



ÖZEL SAYI/SPECIAL ISSUE 34  
MART/MARCH 2022

# EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

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

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- FMikrobiyal olarak indüklenen kalsiyum karbonat çökeltisinin potansiyel kullanımı için Sporosarcina pasteurii' nin üreaz aktivitesinin araştırılması  
Kağan ERYÜRÜK  
Sayfa: 1 - 4
- Geology and Geochemistry of Copper Mineralization of Volcanic Rocks Due to Quartz Veins in Western Part of Almus (TOKAT-TURKEY)  
Cihan YALÇIN, Mustafa KUMRAL, Mustafa KAYA, Muhittin KARAMAN  
Sayfa: 5 - 9
- Aktif Mikroorganizmalar (EM) Kullanılarak İçme Suyundaki Çözünmüş Organik Maddenin Uzaklaştırılması  
Zehra Gulden YALÇIN, Mustafa DAĞ, Ercan AYDOĞMUŞ  
Sayfa: 10 - 13
- Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemini Kullanarak Havacılık Sektörünün Kalite Süreçlerindeki İnsan Faktörü Risklerinin Değerlendirilmesi  
Ebru YAZGAN  
Sayfa: 14 - 18
- Uçağın Kanat Hücum Kenarında Buzdan Arındırma Performansını Etkileyen Parametrelerin Optimizasyonu  
Hayati Kadir PAZARLIOĞLU, Ahmet Ümit TEPE, Kamil ARSLAN  
Sayfa: 19 - 27
- HCl Asit Çözeltisinde Sn-3Ag-0.5Cu Alaşımının Korozyon Kinetiği Üzerine İndiyum İlavesinin Etkisi  
Serkan OGUZ, Ahmet Mustafa ERER, Yunus TÜREN, Hayrettin AHLATCI  
Sayfa: 28 - 33
- Erişte Kurutmasını Etkileyen Parametrelerin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu  
Rana BAŞATAÇ, Zehra Gulden YALÇIN, Mustafa DAĞ, Ercan AYDOĞMUŞ  
Sayfa: 34 - 41
- İnmenin Beyin Radyolojik BT Görüntülerinden Bilgisayar Destekli Derin Öğrenmeye Dayalı Değerlendirilmesi  
Ali Berkan URAL  
Sayfa: 42 - 52
- Cu<sub>2</sub>O ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanopartiküllerin Motor Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi  
Gürsel ÇINAR, Oğuzhan AKYÜZ  
Sayfa: 53 - 61
- Çöp Döngüsünün Etkili Bileşeni: Poşet Çay Atıkları ve Ni<sup>2+</sup> Adsorpsiyonu  
Hakan ÇELEBİ, Tolga BAHADIR, İsmail ŞİMŞEK, Şevket TULUN, Melayib BİLGİN  
Sayfa: 62 - 69
- Farklı Tuz Konsantrasyonlarında Semiz Otu (Portulaca oleracea) ve Kamışsı Yumak (Festuca arundinacea) Bitkileri Uygulanarak Tuzlu Toprakların Fitoremediasyon Yöntemiyle İyileştirilmesi  
Hasan ER, Semih ELİBOL  
Sayfa: 70 - 74
- Kemik Rejenerasyonu için Farklı Gözenek Oranlarındaki Kafes Tabanlı Gözenekli Yapının Geçirgenlik Performansının Değerlendirilmesi  
Derya KARAMAN, Hüccet KAHRAMANZADE  
Sayfa: 75 - 79
- Yakıt Hücreli Araçlarda Enerji Yönetim Stratejileri ve Optimizasyon Hedeflerinin İncelenmesi  
Ceyda KÖK, Süha Orçun MERT  
Sayfa: 80 - 86
- Doğayı Mimarlıkta Kullanmak: Antoni Gaudi'den Bir Perspektif  
Şeyda EMEKÇİ  
Sayfa: 87 - 91

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Lityum sülfür bataryalar için SiO<sub>2</sub> kaplı karbon ara katmanları

Meltem YANILMAZ

Sayfa: 92 - 94

Sentezlenmiş MSG ve Nano-Alümina ile Üretilen Polyester Kompozitlerin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Hakan ŞAHAL, Ercan AYDOĞMUŞ

Sayfa: 95 - 99

Drenaj Alan-Oran Metodu Kullanılarak Nehir Akım Verilerinin Yanlılık Düzeltmesi ile Doğruluğunun İncelenmesi

Serim DEÇERLİ, Evren TURHAN

Sayfa: 100 - 104

Sürdürülebilirliğin Tedarik Zinciri Yönetimi Üzerine Etkileri

Batin Latif AYLAK

Sayfa: 105 - 109

Weak stability of  $\epsilon$ -isometry Mapping on Real Banach Spaces

Minanur ROHMAN, İlker ERYILMAZ

Sayfa: 110 - 114

Öğreniminde Çok Doğrusal Regresyon Kullanarak Araç Yakıt Emisyon Verimliliği Tahmini

Yunus EÇİ

Sayfa: 115 - 120

Alt Yüzeyi Modifiye Edilmiş NACA 63-415 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının Sayısal Analizi

Hakan İNAN, Mahmut KAPLAN

Sayfa: 121 - 125

İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Arıza Bakım Onarım Süreçlerinin İzlenmesi için Performans Göstergeleri

Cansu ORHAN, Mahmut FIRAT, Salih YILMAZ, Abdullah ATEŞ

Sayfa: 126 - 134

A Statistical Study on Some Micromorphological Characters

Alperen ÖZDEMİR, Ali ÖZDEMİR

Sayfa: 135 - 141

SVM, RF ve Naive Bayes'e Dayalı Olarak Zemin Sıvılaşma Veri Setinin Sınıflandırılmasında Aşırı Örneklemeye Yöntemlerinin (OVER, SMOTE ve ROSE) Değerlendirilmesi

Selçuk DEMİR, Emrehan Kutluğ ŞAHİN

Sayfa: 142 - 147

Blokzinciri Teknolojisi Uygulamalarının Lojistik Sektörüne Etkileri

Batin Latif AYLAK

Sayfa: 148 - 152

Mevcut Az Katlı Betonarme Bir Binada Perde Kullanımı ve Yerleşiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi

Muhammed ÖZTEMEL, Merdan Törehan TURAN, Halit Erdem ÇOLAKOĞLU

Sayfa: 153 - 159

Gözenekli Karbon Nanoliflerin Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi

Göktuğ CİHANBEYOĞLU, Meltem YANILMAZ

Sayfa: 160 - 163

[n] Kümesinin Ardışık İki Çift Tamsayı İçermeyen Alt Kümelerinin Sayısını Veren Tamsayı Dizisini Genelleyen Polinom Dizisi

Barış ARSLAN, Kemal USLU

Sayfa: 164 - 169

Çok Amaçlı Optimizasyon Problemleri için Ayrıştırılmaya Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritmada Rastgele Ayrıştırma Yöntemleri

Tolga ALTINOZ

Sayfa: 170 - 174

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Lineer ve Kübik Regresyon Analizleri Kullanılarak OECD Ülkelerinin CO2 Emisyonlarının Tahminlemesi  
Ezgi GÜLER, Suheyla YEREL KANDEMİR  
Sayfa: 175 - 180
- Bir Uzay Eğrisi ve Regle Yüzey Arasında Bishop Çatısına Dayalı Bitişik Yaklaşımı  
Vahide BULUT  
Sayfa: 181 - 192
- Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış  
Sinem IŞIK, Sıraç YAVUZ  
Sayfa: 193 - 201
- Betonarme Kolon Eğrilik Sünekliğinin 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre İncelenmesi  
Abdullah GÜNDOĞAY, Ahmet Kubilay AKSAKAL  
Sayfa: 202 - 210
- Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Yeteneklerine Sahip Akıllı Robot Sisteminin Geliştirilmesi  
Cengiz SERTKAYA  
Sayfa: 211 - 216
- Deniz Lojistiğinde Yapay Zeka Uygulamalarının Etkileri  
Batin Latif AYLAK  
Sayfa: 217 - 225
- Akıllı Evlerde IoT Teknolojileri ve Siber Güvenlik  
İsa AVCI  
Sayfa: 226 - 233
- Çok Amaçlı Kısıtlama Gerçek Dünya Optimizasyon Problemlerini Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritmaları ile Çözme  
Tolga ALTINOZ  
Sayfa: 234 - 238
- Türkçe Metin Madenciliği için Çalışan Bellek Bağlantıları Tabanlı Uzun Kısa Süreli Bellek Mimarisi  
Aytuğ ONAN  
Sayfa: 239 - 246
- Purolite A200 Reçine Kullanılarak İyon Değiştirme Yöntemi ile Sudan Sülfat Giderimi  
Muhammed Bora AKIN, Zülal HOŞAFICIOĞLU KIYISİN, Mehmet Muhtar KOCAKERİM  
Sayfa: 247 - 253
- TurtleBot 3 İle Ros Tabanlı Yol Planlama Uygulaması  
Hazim İŞCAN, Ezgisu TUNCEL  
Sayfa: 254 - 258
- Kütle Düşürmeli Prensibe Dayanan Dinamik Basınç Standardının Tasarımı ve Üretilmesi  
Yasin DURGUT, Ertan AKŞAHİN  
Sayfa: 259 - 266
- Uçucu Kütle Stabilize Edilen Çatalağzı Kili Mühendislik Performansı  
Emrah DAĞLI, Ömer Faruk ÇAPAR  
Sayfa: 267 - 272
- Alternatif Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisini Öngörmek İçin Makine Öğrenme Yöntemlerinin Kullanılması  
Samet BİLBAN, Hasan AYDOĞAN  
Sayfa: 273 - 279
- Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Kümülatif Kurulu Gücünün Yapay Sinir Ağı ve İki Yönlü Uzun-Kısa Vadeli Bellek Kullanılarak Tahmini  
Mehmet Hakan ÖZDEMİR, Batin Latif AYLAK  
Sayfa: 280 - 284
- Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Treyler Ön Panellerine Uygulanabilirliğinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelemesi  
Miraç MUTLU, Ayşegül AKDOĞAN EKER, Emin Emre GÖKTEPE  
Sayfa: 285 - 291

- 
- Akimsız Kaplama Yöntemi ile Üretilen Ni-W-P Çoklu Alaşımların Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Sodyum Tungsten İçeriğinin Etkisi*  
İbrahim USTA, Harun GÜL  
Sayfa: 299 - 304
- İnsansız Hava Araçlarında Gömülü Sistem Üzerinden Derin Öğrenme ile Nesne Tespiti*  
Ziya SAYGILI, Güzin ÖZMEN  
Sayfa: 292 - 298
- Uzamsal Alan Görüntü Steganografisi için Blok Veri Gizlemede Kanal Seçimi*  
Zeynep SARI, Mehmet YILDIRIM  
Sayfa: 305 - 310
- Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilen Inconel 718 Süperalaşımı ve 316L Paslanmaz Çeliğinde Kaynak Parametrelerinin Eksenel Kısalmaya Etkisi*  
Ömer KARABEY, Ahmet AKKUŞ  
Sayfa: 311 - 316
- Taş Kolonlarla İyileştirilen Yumuşak Zeminlerin Deprem Etkisi Altındaki Deplasman Analizi*  
Ferhat ŞAHİNKAYA, Gökhan DEMİR  
Sayfa: 317 - 320
- Yeni Bir Türkçe Sesli Kitap Veri Seti Üzerinde Convolutional RNN+CTC, LSTM+CTC ve GRU+CTC Modellerinin Karşılaştırılması*  
Halil İbrahim YALMAN, Zekeriya TÜFEKÇİ  
Sayfa: 321 - 327
- Kıvrımlı Döngü Rezonatörlü ve Tamamlayıcı Bölünmüş Halka Rezonatörlü (CSRR) Kusurlu Zemin Yapısına Sahip (DGS) Üçgen Şeklinde Bant Geçiren Filtre*  
Mert DEMİREL, Merih PALANDÖKEN, Esra AYGAN  
Sayfa: 328 - 331
- Vardiya Çizelgeleme Optimizasyonu: Gerçek Hayat Yer Altı Taşımacılığı Örneği*  
Hafsa Nur ÖZTÜRK, Ediz ATMACA, Hatice ERDOĞAN AKBULUT, Esra AKTAŞ  
Sayfa: 332 - 335
- Kentsel Dönüşümde İş Sağlığı ve Güvenliği*  
Abdullah GÜNDOĞAY  
Sayfa: 336 - 343
- Otomatik Mango Çeşitlerinin Sınıflandırması İçin Transfer Öğrenme ve İnce Ayarlama Yaklaşımının Etkinliğinin Değerlendirilmesi*  
Nagham ALHAWAS, Zekeriya TÜFEKÇİ  
Sayfa: 344 - 353
- Yakma Alın Kaynağıyla Birleştirilmiş S355JR Yapı Çeliklerinde ITAB'ın Karakterizasyonu*  
Gazi Emre KOCAMANOĞLU, Uğur ARABACI, Uğur ÖZDEMİR  
Sayfa: 354 - 359
- Covid-19 Geçici Aşılama Kliniklerinin Atanmasına Sezgisel Bir Yaklaşım*  
Esra ÇAKIR, Mehmet Ali TAŞ  
Sayfa: 360 - 366
- ZnO Kristalizasyonunun Morfolojisi, Boyut Dağılımı ve Yüzey Alanının Taguchi Deneysel Tasarımı Kullanılarak İncelenmesi*  
Muhammed Bora AKIN, Ömer Faruk DİLMAÇ, Barış ŞİMŞEK  
Sayfa: 367 - 373
- Tek Kanallı Akciğer Seslerinde Süzgeç Tipi Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Solunum Patolojisinin Teşhisi*  
Mustafa Alptekin ENGİN, Latif AKÇAY, Selim ARAS  
Sayfa: 374 - 380
- Baca Gazı Destekli Organik Rankine Çevrimi için Taguchi Analizi*  
Burak TÜRKAN  
Sayfa: 381 - 386

- Karmaşık Jeoloji ve Topografyaya Sahip Alanlarda Sentinel-2A Uydu Görüntülerinin Performansı Üzerine Bir Örnek Çalışma: Koyulhisar (Sivas-Türkiye)*  
Ayşe Betül ÇALIŞKAN, Oktay CANBAZ, Önder GÜRİSOY  
Sayfa: 387 - 395
- Dengesiz Tıbbi Veri Sınıflandırması İçin Salp Sürü Tabanlı Bir Aşağı-Örnekleme Yaklaşımı*  
Mohammed Hussein IBRAHİM  
Sayfa: 396 - 402
- Türkçe Metin Madenciliği için Dikkat Mekanizması Tabanlı Derin Öğrenme Mimarilerinin Değerlendirilmesi*  
Aytuğ ONAN  
Sayfa: 403 - 407
- Sakarya İli Karasu Sahili İçin Kıyı Çizgisi Değişiminin CoastSat Uygulamasıyla İncelenmesi*  
Mazlum KILIÇ, Adem AKPINAR  
Sayfa: 408 - 414
- Çift Beslemeli Endüksiyon Jeneratör Tabanlı Rüzgar Türbini Mevcut Döngü Davranışının Dinamik Analizi*  
Samatar ABDİ YONİS, Ziyodulla YUSUPOV  
Sayfa: 415 - 420
- H-Darrieus Rüzgar Türbininde Simetrik ve Asimetrik Kanat Profili Kullanımının Karşılaştırılması*  
Mehmet Özgün KORUKÇU  
Sayfa: 421 - 427
- Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Çok Amaçlı Genel Değişken Komşuluk Arama Metasezgisel Yaklaşımı*  
Hacer YUMURTACI AYDOĞMUŞ, Yücel ÖZCAN  
Sayfa: 428 - 432
- On The Solutions of Three-Dimensional Difference Equation Systems Via Pell Numbers*  
Necati TAŞKARA, Hüseyin BÜYÜK  
Sayfa: 433 - 440
- Anod Çamurundaki Altının Sulu Ortamda Klorinasyonu Esnasında Çinko Liçinginin Optimizasyonu*  
Bünyamin DÖNMEZ, Cafer CELİK  
Sayfa: 441 - 445
- Polikarbazol ve ZnO Katkılı Polikarbazolün Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Elektrokimyasal Sentezi ve Korozyon Performanslarının Araştırılması*  
Gülten UZUN, Berrin DURAN, Evrim HÜR  
Sayfa: 446 - 452
- Pistia stratoites'in yaprak ve kök özütlerinin hayvansal gıdalardan izole edilen Enterococcus ve Staphylococcus'ların biyofilmleri üzerine anti-biyofilm etkisinin araştırılması*  
Meryem Burcu KÜLAHCI, Ebru BEYZİ, Nebahat Aytuna ÇERÇİ  
Sayfa: 453 - 457
- Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Meteorolojik Parametrelere Dayalı Yol Görünürlüğü Tahmini*  
Tahsin BAYKAL, Fatih ERGEZER, Ekinhan ERİŞKİN, Serdal TERZİ  
Sayfa: 458 - 462
- Kömür Üretim Tesisi Atıksularının İleri Arıtım Prosesleri ile Arıtılarak Tekrar Kullanılabilirliğinin Araştırılması*  
Hatice DEMİREL, Gökhan Ekrem ÜSTÜN  
Sayfa: 463 - 468
- Anod Çamurundaki Bakırın H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Çözeltilerinde Çözündürülmesi Esnasında Nikelin Davranışı*  
Bünyamin DÖNMEZ, Cafer CELİK  
Sayfa: 469 - 473
- Doymuş Kumlu Zeminde Yanal Yüklü Tek Kazık Tasarımı İçin Farklı P-Y Eğrilerinin Etkilerinin Karşılaştırmalı Analitik Olarak İncelenmesi*  
Fatih ÇELİK  
Sayfa: 474 - 478

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Geniş Bantta Düşük Yansıtımlı Kare Örgü Yapılı ve Kuantum Nokta Kaplı Silisyum Nanotüp Kaplı Yüzeyler  
Turgut TUT  
Sayfa: 479 - 484
- Kimyasal Bileşimin Paslanmaz Çelik Kaplamaların Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi  
Fatih Nedim YORULMAZ, Hülya DURMUŞ, Nilay ÇÖMEZ  
Sayfa: 485 - 491
- Öksürük Sesi Kayıtlarından Spektral Özellikler ile Otomatik COVID-19 Tespiti  
Semiye DEMİRCAN  
Sayfa: 492 - 495
- Agar-Kaplı Manyetik Nanopartiküller Üzerine Adsorpsiyon ile Amilaz İmmobilizasyonu  
Nihal YILMAZ, Suzan BİRAN AY  
Sayfa: 496 - 500
- Bir Savunma Sanayi Firmasında Depo Bölgesi Atama Sisteminin Veri Madenciliği ve Makine Öğrenme Yaklaşımlarıyla İyileştirilmesi  
Mehmet ERTEM  
Sayfa: 501 - 506
- Bulanık C - Ortalamalar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelenmesi  
Yeşim OK  
Sayfa: 507 - 512
- ANSI P20 Plastik Kalıp Çeliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Frezelenmesinde Güç Tüketiminin İncelenmesi  
Rüstem BİNALİ, Mücahit COŞKUN, Süleyman NEŞELİ  
Sayfa: 513 - 518
- Boyut İndirgeme Teknikleri ve LSTM Derin Öğrenme Ağı İle BIST100 Endeksi Fiyat Tahmini  
Mehmet SARIKOÇ, Mete ÇELİK  
Sayfa: 519 - 524
- Polimer Esaslı Ayak Ortezlerinin Mekaniksel Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Tahmini  
Mustafa GÜNEŞ, Abdulhamit SEVGİ, CebraİL ÖLMEZ, Zehra SEVER  
Sayfa: 525 - 530
- ADR'li Tankerlerde Kullanılan Kaynaklı ve Kaynaksız Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması  
Furkan Emin BUĞAN, Emin Emre GÖKTEPE, Tufan ALTIPARMAK, Erhan DURU  
Sayfa: 531 - 536
- The Comparison of the Properties of Geopolymer Paste and Ordinary Portland Cement Mortar Produced Using Polycarboxylate Based Admixture  
Evren ARIÖZ, Gamze SARAÇ, Ömer ARIÖZ, Ö. Mete KOÇKAR  
Sayfa: 537 - 540
- Twitter'de Siber Güvenlik Kavramlarının Analizi  
Nazmiye ELİGÜZEL, Lana MANLA ALİ  
Sayfa: 541 - 545
- Dengesiz Kardiyak Aritmi Verilerinin Sınıflandırılması  
Cansu ECEMİŞ, Neslihan AVCU, Zekeriya SARI  
Sayfa: 546 - 552
- Fasulye Genotiplerinde Tuz ve Kuraklık Stresleri Altında VPE Gen Ailesinin Genom Çapında Analizi ve Karakterizasyonu  
Ahmed Sidar AYGÖREN, Selman MUSLU, Murat ISIYEL, Burak Muhammed ÖNER, Ayşe Gül KASAPOĞLU, Recep AYDINYURT, Esra YAPRAK, Sümeyra UÇAR, Emre İLHAN, Murat AYDIN  
Sayfa: 553 - 560
- Çamaşır Makinesinde Çalışma Süresinin Optimizasyonu İçin Bulanık Kontrolör  
Muhammed Ali ÇALMAZ, Neslihan AVCU  
Sayfa: 561 - 567

*Avrupa Yeşil Mutabakatının Lojistik üzerindeki Etkilerini CIMO-Logic ile Analizi*

Mehmet Ali TAŞ, Batin Latif AYLAK

Sayfa: 568 - 572

*Ni-B-CeO<sub>2</sub> Kompozit Akımsız Kaplamanın Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Isıl İşlem ve Yükün Etkisi*

Deniz GÜLTEKİN, Erhan DURU, Hatem AKBULUT

Sayfa: 573 - 578

*Nesnel, Öznel ve Bütünleşik Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması: COVID-19 Uygulaması*

Zeynep Büşra KESKİN, Elif KILIÇ DELİCE

Sayfa: 579 - 584

*Fasulye bitkisinde phospholipase D gen ailesinin tuz ve kuraklık stresi altında genom çaplı karakterizasyonu*

Murat ISIYEL, Burak Muhammed ÖNER, Esra YAPRAK, Sümeyra UÇAR, Ayşe Gül KASAPOĞLU, Ahmed Sidar AYGÖREN, Selman MUSLU, Recep AYDINYURT, Emre İLHAN, Murat AYDIN

Sayfa: 585 - 593

*COVID-19 Sürecinin Su Ayak İzine Etkisinin Değerlendirilmesi*

Sevde USTUN ODABASI

Sayfa: 594 - 600

*Yaşlıları Günlük Yaşamlarında Destekleyici Mobil Sağlık Uygulaması Geliştirilmesi*

Ismael Thomas CISSÉ, Özgün YILMAZ

Sayfa: 601 - 609

*Ni-BW Kaplamalarında W Konsantrasyonun Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi*

Erhan DURU, Abdullah ÖZTÜRK, Mehmet UYSAL, Hatem AKBULUT, Serdar ASLAN

Sayfa: 610 - 616

*Nor-wogonin'in İnsan Rahim Ağzı Kanseri Hücrelerinde Antikanser ve Apoptotik Etkileri*

Ahmet KARAKUŞ, Sevgi ÜNAL KARAKUŞ

Sayfa: 617 - 622

*Baskı Devre Kart Malzemesi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi*

Ahmet CİHAN

Sayfa: 623 - 627

*Önemli Kış Turizm Merkezi Olan Erzurumunda Pasif Kar Örnekleyicisi ile Farklı Yüzey ve Derinliklerdeki Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Konsantrasyon ve Bulk Çökme Akılarının Belirlenmesi*

Cihan PALOLUOĞLU

Sayfa: 628 - 638

*SecureRandom Kütüphanesi Kullanarak Yazılımsal Trivium Oluşturma*

Cemile İNCE, Kenan İNCE, Davut HANBAY

Sayfa: 639 - 644

*Termik Santral Kaynaklı Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Baca Gazı Arıtma Teknolojisi:Örnek Çalışma Seyitömer Termik Santrali Uygulaması*

Şeyma KAÇMAZ, Havva DEMİRPOLAT

Sayfa: 645 - 651

*Hiperlipideminin Neden Olduğu Ana Organ Hasarına Karşı Ceviz Tohumu Kabuğunun Etkisi*

Esra PALABIYIK, Seda AŞKIN, Hakan AŞKIN

Sayfa: 652 - 656

*IEEE 802.11 b/g Uygulamalarına Yönelik Yüksek Kazançlı Dikdörtgen Yama Mikroşerit Anten Tasarımı*

Hilal KURT

Sayfa: 657 - 660

*Wi-Fi Uygulamaları İçin Çift Bant Mikroşerit Anten Tasarımı*

Sezer KÜÇÜKCAN, Adnan KAYA

Sayfa: 661 - 664



İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Lucas Sayı Dizisinin Bilgi Entropisi Yönünden İncelenmesi

Bünyamin ŞAHİN, İhsan TUÇAL

Sayfa: 665 - 671

Kablosuz Wi-Fi Uygulaması için 2.4GHz'de Çalışan Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Yorumlanması

Gökçen DEMİRBAS, Ekrem AKAR

Sayfa: 672 - 675

PvTLP genlerinin genom çaplı tespit ve karakterizasyonu

Ayşe Gül KASAPOĞLU, Ahmed Sidar AYGÖREN, Selman MUSLU, Burak Muhammed ÖNER, Murat İSİYEL, Esra YAPRAK, Sümeyra UÇAR, Recep AYDINYURT, Büşra UZUN, Emre İLHAN, Murat AYDIN

Sayfa: 676 - 684

2.4 GHz ve 5 GHz Wi-Fi Uygulamaları için Çift Band Anten Tasarımı

Yaşar KAPLAN, Cem GÖÇEN

Sayfa: 685 - 688

Akıllı Fabrika Uygulamaları için Yüksek Kazançlı Dairesel Polarize Kare Yama UHF RFID Okuyucu Anten Tasarımı

Gülbahar GÜVEN, İsmail AKDAG

Sayfa: 689 - 692

Makine Öğrenmesi ile Hedefe Yönelik Nanoterapötiklerin Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu

Naim KARASEKRETER, Şeyda GÜNDÜZ, Sadık KAÇA, Süleyman YAMAN

Sayfa: 693 - 700

Optimization of Dry-Type Transformer Parameters with Different Methods and FEA Analysis

Seda KÜL, Suleyman Sungur TEZCAN, Huseyin DUYSAK, Seyit Alperen CELTEK

Sayfa: 701 - 704

Etilen Glikol ve Gliserol Konsantrasyonlarının Çavdar Esaslı Filmlerin Özelliklerine Etkisi

Nurcennet ERTÜRK, Suzan BİRAN AY

Sayfa: 705 - 710

Türkiye'de Trafik Sigorta Primlerinin Harris Şahinleri Algoritması ile Tahmini

Mehmet Fatih TEFEK, Muhammed ARSLAN

Sayfa: 711 - 715

Yeşil Mutabakat Çağında Büyük Veri Planlama Politikaları

Aziz Cumhur KOCALAR

Sayfa: 716 - 719

Veli Yaklaşımlarının Öğretmenlerin Mesleki Yeterlilik Algısı ve Tükenmişlik Düzeyleri Arasındaki İlişki

Ayşegül YILMAZ, Serdar YILMAZ

Sayfa: 720 - 723

Asimetrik Eşdüzlemsel Vivaldi Anten Tasarımı

Recep BAŞ, Ahmet KIZILAY

Sayfa: 724 - 728

Ti-6Al-4V Alaşımının Şekillendirilmesi için Kalıp Malzemesi Seçimi

Kerim Mert YÜKSEL, Ayşegül AKDOĞAN EKER, Ali AVCI, Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

Sayfa: 729 - 732

Şeker Pancarı Posasının Bantlı Kurutucuda Kuruma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi

Emel ÇELİK, Nezaket PARLAK

Sayfa: 733 - 738

Çok Yönlü Dövme İşleminin AA5083 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Erkin AKDOĞAN, Mehmet ŞAHBAZ

Sayfa: 739 - 744

Srophoidal Yüzeyler

Erhan GÜLER, Ömer KİŞİ

Sayfa: 745 - 749

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Orlicz Fonksiyonu Tarafından Belirlenen Karmaşık Belirsiz Üç İndisli Dizilerin Lacunary Yakınsaklığı Üzerine*  
Ömer KİŞİ, Erhan GÜLER  
Sayfa: 750 - 756
- Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemelerde Termal Yaşlandırmanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*  
Mehmet ŞAHBAZ, Erkin AKDOĞAN  
Sayfa: 757 - 762
- Kare Desenli Soğurucu Yüzeyin Güneş Hava Kollektör Verimine Etkisinin Sayısal Analizi*  
Sharif EYYUBLU, Mahmut Sami BÜKER  
Sayfa: 763 - 768
- 4-Boyutta Epitrokhoidal Hiperyüzeyler*  
Erhan GÜLER, Ömer KİŞİ  
Sayfa: 769 - 772
- X Band Uygulamaları için Metasurface Tabanlı Yansıma Tipi Lineer Polarizasyon Dönüşümü*  
Gökhan ÖZTÜRK  
Sayfa: 773 - 777
- Bulanık Yıldız-Şekilli Sayıların I-İstatistiksel Yakınsak Dizi Uzayları*  
Ömer KİŞİ, Erhan GÜLER  
Sayfa: 778 - 782
- Sonlu Eleman Lomber Omurga Modelinin PEEK-Çubuk Sabitleme Sistemleri Üzerindeki Etkisi*  
Saliha Zeyneb AKINCI, Derya KARABULUT, Hasan Kemal SÜRMEN, Onur YAMAN, Yunus Ziya ARSLAN  
Sayfa: 783 - 786
- Hemzemin Geçitlerin Geometrik Tasarım Açısından Risk Değerlendirme Modeli*  
Cevat ÖZARPA, Bahadır Furkan KINACI, İsa AVCI  
Sayfa: 787 - 792
- Effects of Pulsatile Flow on Phosphorylcholine Coated Oxygenator and Arterial Filter*  
Gökhan KESKİN, A. Tulga ULUS, Tuna GÜRAY, Ece ÜRPERMEZ, Sertan ÖZYALÇIN, Orhan Erdem HABERAL, Mustafa KOCAKULAK  
Sayfa: 793 - 799
- Evaluation of the Pressure and Wall Shear Stress on the Aneurysm Wall According to the Growth Position of a Femoral Artery Pseudoaneurysm by Numerical Analysis*  
Gökhan KESKİN, Ahmet Turan KAYA  
Sayfa: 800 - 804
- Kalp Cerrahisi Geçiren Kronik Böbrek Hastalığı Hastalarında Levosimendan ve Milrinon Kombinasyonunun Etkisi*  
Gökhan KESKİN, Ahmet Feyzi ABACILAR  
Sayfa: 805 - 811
- Metanolün Elektrokimyasal Yükseltgenmesi İçin Pt katalizör Destek Malzemesi Olarak Tiyofen Kullanımı*  
Sadaf ADHAMİ, Evrim HÜR  
Sayfa: 812 - 818
- The Effect of Cylindrical Twisting Process on Material in Transition Cone Manufacturing Used in Aluminum Fuel Tankers*  
Furkan SALMAN, Emin Emre GÖKTEPE, Erhan DURU  
Sayfa: 819 - 823
- DÜZELTME-Review on the Opinions of College Students Raised in Divorced and Intact Families in Germany Regarding Starting a Family*  
Besra TAŞ  
Sayfa: 824 - 824
- DÜZELTME-Gözlük Çerçevesi Üretimi İçin Otomatik Bir Sistem Geliştirme*  
Rıza İLHAN  
Sayfa: 825 - 825



# Investigating the Urease Activity of *Sporosarcina pasteurii* for Potential Usage of Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation

Kağan Eryürük\*

\* Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3993-839X), kaganeryuruk@gmail.com

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1061497)

**ATIF/REFERENCE:** Eryürük, K. (2022). Investigating the urease activity of *Sporosarcina pasteurii* for potential usage of microbially induced calcium carbonate precipitation. *European Journal of Science and Technology*, (34), 1-4.

## Abstract

The urease activity of *Sporosarcina pasteurii* was investigated using different number of bacterial cells. Resting *Sporosarcina pasteurii* cells and 500 mM urea solution were placed into the beakers to measure the change in electrical conductivity of the solution. The electrical conductivity values were varied between 0.382 mS/m and 6.224 mS/m for 10 min. The highest electrical conductivity was measured for addition of the largest number of cells ( $10 \times 10^9$ ) to the solution. Resting *Sporosarcina pasteurii* cells and 500 mM urea and 500 mM  $\text{CaCl}_2$  solution were also placed into the beakers to observe and evaluate microbially induced  $\text{CaCO}_3$  precipitation. The amount of microbially induced  $\text{CaCO}_3$  precipitation was changed between 4 mg and 28 mg in the experiments for ten minutes. The highest amount of  $\text{CaCO}_3$  precipitation was observed in beaker with the highest number of cells (28 mg) than in those with the smallest number of cells (4 mg). Hence, the amount of microbially induced  $\text{CaCO}_3$  precipitation was increased in direct proportion to the cell number in the beakers. The experiments suggest that the urease activity *S. pasteurii* is depended on the number of cells and more cells of *S. pasteurii* leads more microbially induced  $\text{CaCO}_3$  precipitation in a short time period.

**Keywords:** Electrical conductivity, Microbially induced calcium carbonate precipitation, Number of cells, *Sporosarcina pasteurii*, Urease activity.

## Mikrobiyal Olarak İndüklenen Kalsiyum Karbonat Çökeltisinin Potansiyel Kullanımı için *Sporosarcina pasteurii*' nin Üreaz Aktivitesinin Araştırılması

### Öz

*Sporosarcina pasteurii*'nin üreaz aktivitesi, farklı sayıda bakteri hücresi kullanılarak araştırıldı. Çözeltinin elektriksel iletkenliğindeki değişimi ölçmek için dinlenme halindeki *Sporosarcina pasteurii* hücreleri ve 500 mM üre çözeltisi beherlere eklendi. Elektriksel iletkenlik değerleri 10 dakika süreyle 0.382 mS/m ile 6.224 mS/m arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek elektriksel iletkenlik, çözeltiliye en fazla sayıda hücrenin ( $10 \times 10^9$ ) eklenmesi için ölçülmüştür. Dinlenme halindeki *Sporosarcina pasteurii* hücreleri ve 500 mM üre ve 500 mM  $\text{CaCl}_2$  çözeltisi de mikrobiyal olarak indüklenen  $\text{CaCO}_3$  çökeltisini gözlemlemek ve değerlendirmek için beherlere yerleştirildi. On dakikalık deneylerde mikrobiyal olarak indüklenen  $\text{CaCO}_3$  çökeltisi miktarı 4 mg ile 28 mg arasında ölçülmüştür. En yüksek  $\text{CaCO}_3$  çökeltisi miktarı, en az hücre sayısına (4 mg) kıyasla en fazla hücre sayısına sahip beherde (28 mg) gözlemlendi. Bu nedenle, mikrobiyal olarak indüklenen  $\text{CaCO}_3$  çökeltisi miktarının, beherlerdeki hücre sayısıyla doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir. Deneyler, *S. pasteurii*'nin üreaz aktivitesinin hücre sayısına bağlı olduğunu ve daha fazla *S. pasteurii* hücresinin kısa bir süre içinde daha fazla mikrobiyal olarak indüklenen  $\text{CaCO}_3$  çökeltisine yol açabileceğini göstermektedir.

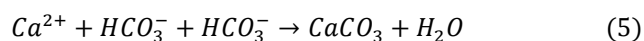
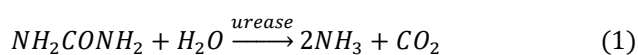
**Anahtar Kelimeler:** Elektriksel iletkenlik, Hücre sayısı, Mikrobiyal olarak indüklenen  $\text{CaCO}_3$  çökeltisi, *Sporosarcina pasteurii*, Üreaz aktivitesi.

\* Corresponding Author: [kaganeryuruk@gmail.com](mailto:kaganeryuruk@gmail.com)

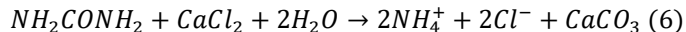
## 1. Introduction

Microbially induced calcium carbonate has been studied by many researchers to develop biotechnology methods such as improving construction materials [1], decreasing hydraulic conductivity of porous media [2], changing soil properties [3-5] increasing oil recovery [6] because of widespread presence of ureolytic bacteria in the environment. Although there are a number of species which produce  $\text{CaCO}_3$  minerals, *Sporosarcina pasteurii* was used by many researchers widely and there are numerous reports on bacterial  $\text{CaCO}_3$  precipitation by *S. pasteurii* [7-12] because *S. pasteurii* is not a pathogenic bacterium, it is not suppressed by ammonium, and it provides high urease [2].

*S. pasteurii* produces urease which result in urea hydrolysis and this hydrolysis causes ammonia and carbon dioxide [2]. The ammonia gives rise increasing pH of the ambience and, which in turn induces calcite precipitation in calcium rich environment. The hydrolysis of urea in a solution with calcium chloride was used in the researches mostly [13-14]. The reaction steps and overall reaction can be identified as [4];



Overall reaction:



To understand the potential usage of microbially induced calcium carbonate precipitation (MICCP), urease activity of *S. pasteurii* needs to be identified. Therefore, the amount of MICCP was measured and the relationship between cell concentration and change in electrical conductivity of urea solution was investigated using different number of cells of *S. pasteurii* in present study.

## 2. Material and Method

### 2.1. Microorganism used in the experiments and culturing

*S. pasteurii* [American Type Culture Collection (ATCC) 11859] was used as microorganism to evaluate urease activity of cells. The medium (Tris-YE) for cultures consisted of Tris buffer, 130 mM (pH 9.0);  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 10 g; and yeast extract, 20 g; to which 2% agar per liter of pure water was used for solid medium which was used for culturing. Autoclave at 121°C for 15 min was used for sterilization of medium elements [2].

1 L Tris-YE medium was used to obtain culture of *S. pasteurii* [2]. 30°C and 120 rpm shaking were employed for overnight for the culture. The bacterial cells were harvested using centrifuge at 10000\*g for 10 min and rinsed with pure water two times [2]. Eventually, *S. pasteurii* cells were dissolved again into 100 mL

pure water to obtain an optical density of 2.25 (abbreviated as  $\text{OD}_{600}$  2.25) at 600 nm.  $\text{OD}_{600}$  2.25 was corresponded  $10^9$  cells/mL. Resting *S. pasteurii* cells were used in the experiments.

### 2.2. Experimental setup and conditions

Batch experiments were carried out at 22°C as constant temperature. The electrical conductivity of the solution was measured because the amount of urea hydrolyzed can be related to the production of ammonium. Two moles of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) is released while the hydrolysis of 1 mole of urea occurs. The electrical conductivity of the solution was increased because of the hydrolysis reaction. The concentration of urea hydrolyzed and change in electrical conductivity of the solution was identified as [15]:

$$\text{Urea (mM)} = \Delta \text{Electrical conductivity} \left( \frac{\text{mS}}{\text{m}} \right) * 0.1111 \quad (7)$$

50 mL of urea solution (500 mM) was filtered using a 0.22  $\mu\text{m}$  filter for sterilization and poured into 100 mL beakers. 1 mL, 2 mL, 4 mL, 8 mL, and 10 mL cell suspensions, which were corresponded to  $10^9$  cells,  $2*10^9$  cells,  $4*10^9$  cells,  $8*10^9$  cells, and  $10*10^9$  cells of *S. pasteurii*, respectively, were added to the beakers. Finally, the bacterial cells were added to the beakers.

A magnetic stirrer was employed to provide the homogen cell suspension in the beakers. The initial electrical conductivity of all solutions was measured using conductivity meter and noted. Then, the change in electrical conductivity of all solutions was measured for each minute for 10 minutes. The electrical conductivity value for each experiment was calculated by subtracting the initial value from the final value.

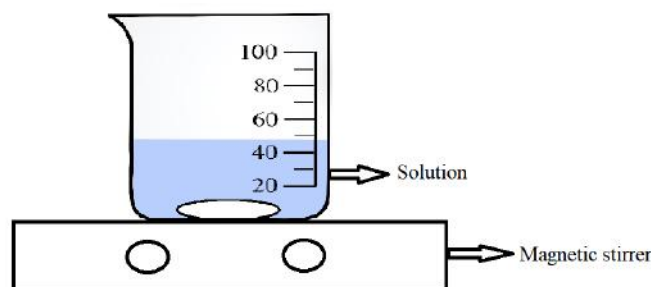


Figure 1. Experimental setup

To obtain MICCP, 50 mL of 500 mM urea and 500 mM  $\text{CaCl}_2$  solution (precipitation solution) was also filtered using a 0.22  $\mu\text{m}$  filter for sterilization and poured into 100 mL beaker. 1 mL, 2 mL, 4 mL, 8 mL, and 10 mL cell suspensions were added to the precipitation solution for 10 minutes. After 10 min, the reaction was stopped using N-(n-butyl) thiophosphoric triamide as inhibitor. After that, 0.1 N  $\text{HNO}_3$  was used to dissolve  $\text{CaCO}_3$  formed in the beakers. The specimens were prepared to measure calcium concentration using ICP-AES (inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy). When the measurements were completed using ICP-AES, the amount of  $\text{CaCO}_3$  which had formed into the beakers was computed.

### 3. Results and Discussion

The initial electrical conductivity value was measured as 0.253 mS/m. After adding different number of cells to the solutions, the urease activity was observed beginning from the first minute to the tenth minute.

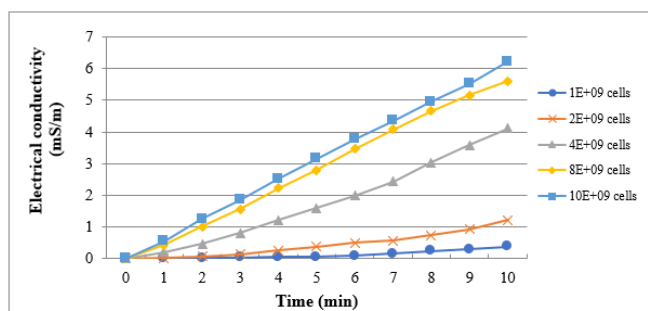


Figure 2. The change in electrical conductivity for different number of cells in time

The electrical conductivity values were changed between 0.07 mS/m and 0.547 mS/m for the range of  $10^9$  cells and  $10 \times 10^9$  cells, respectively, in the first minute (Fig. 2). The electrical conductivity values were increased in time for all conditions. The highest electrical conductivity was measured as 6.224 mS/m for addition of  $10 \times 10^9$  cells to the solution for 10 min. As indicated figure 2, the electrical conductivity had closer values for  $10^9$  cells and  $2 \times 10^9$  cells, and for  $8 \times 10^9$  cells and  $10 \times 10^9$  cells for 10 min. The increase in number of cells in the solution was resulted in high rate of hydrolysis. Hence, it can be said that the electrical conductivity was increased depending on cell numbers added to the solution.

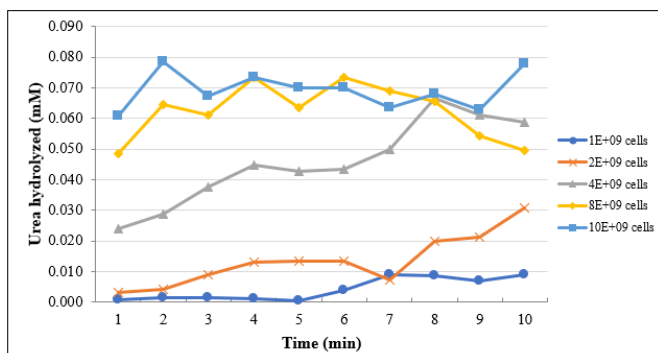


Figure 3. The change in concentration of urea hydrolyzed for different number of cells in time

In the presence of  $10 \times 10^9$  cells, the concentration of urea hydrolyzed, which was the highest value, was 0.078 mM urea after ten minutes. The lowest concentration of urea hydrolyzed for ten minutes was measured as 0.009 mM for  $10^9$  cells added to the solution. As indicated in figure 3, all conditions have urease activity from the first minute of the experiment. However, the urease activity was reduced when  $10^9$  cells was added to the solution. As shown in figure 3, increase in number of cells was resulted in rise of the concentration of urea hydrolyzed. Thus, it can be said that when there is no nutrient to enhance the number

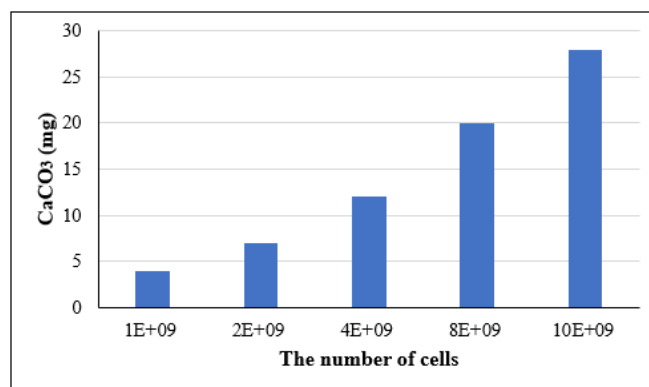


Figure 4. The amount of  $\text{CaCO}_3$  precipitated

The range of the amount of  $\text{CaCO}_3$  precipitation was calculated between 4 mg and 28 mg as shown in figure 4. The greatest amount of  $\text{CaCO}_3$  for *S. pasteurii* was achieved (28 mg) when the bacteria concentration of  $10 \times 10^9$  cells was added to the precipitation solution. Previous studies agreed producing large amounts of urease enzyme in the presence of urea [16-17] and, ultimately, the higher concentration of  $\text{CO}_3^{2-}$  were released and bound to the more concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  to form MICCP.

### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, urease activity of resting *S. pasteurii* cells was investigated. The results were indicated that highest urease activity was achieved when the number of cells was  $10 \times 10^9$ , which was 10 times larger than the lowest number of cells used in the experiments. It should be noted that the urease activity *S. pasteurii* is depended on the number of cells.

The resting cells of *S. pasteurii* without nutrients to simulate the case of lack of nutrient in the environment. The effect of bacterial growth using nutrient sources such as yeast extract etc. should be examined to understand the potential usage of *S. pasteurii* for microbially induced calcium carbonate precipitation.

In summary, *S. pasteurii* has higher potential to precipitate amount of  $\text{CaCO}_3$ . More cells of *S. pasteurii* leads more MICCP in a short time period. Therefore, time should be taking in consideration to apply MICCP technology.

of cells in the environment, high number of *S. pasteurii* cells could be used to get higher urease activity.

## References

- [1] Ramachandran SK, Ramakrishnan V, Bang SS. Remediation of concrete using micro-organisms. *ACI Mater J.* 98(1):3–9, 2001.
- [2] Eryürük, K., Yang, S., Suzuki, D., Sakaguchi, I., Akatsuka, T., Tsuchiya, T., and Katayama, A., Reducing hydraulic conductivity of porous media using CaCO<sub>3</sub> precipitation induced by *Sporosarcina pasteurii*, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 119, 331–336, 2015.
- [3] Whiffin VS, Van Paassen LA, Harkes MP. Microbial Carbonate Precipitation as a Soil Improvement Technique. *Geomicrobiol J.*, 24:417–23, 2007.
- [4] DeJong J. T., Mortensen B. M., Martinez B. C. and Nelson D. C. Bio-mediated soil improvement, *Ecological Engineering*, 36, 197-210, 2010.
- [5] Chou C.-W., Seagren E. A., ASCE A. M., Aydilek A. H., ASCE M. and Lai M. Biocalcification of sand through ureolysis, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.137, No.12, 1179-1189, 2011.
- [6] Wu J, Wang XB, Wang HF, Zeng RJ. Microbially induced calcium carbonate precipitation driven by ureolysis to enhance oil recovery. *RSC Adv.*, 7(59):37382–91, 2017.
- [7] Ivanov Volodymyr and Chu Jian. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 7, 139-153, 2008.
- [8] Mitchell A. C. and Ferris F. G. The Influence of *Bacillus pasteurii* on the nucleation and growth of calcium carbonate, *Geomicrobiology Journal*, 23, 213-226, 2006.
- [9] Tobler D. J., Cuthbert M. O., Greswell R. B., Siley M. S., Renshaw J. C., Handley-Sidhu S. and Phoenix V. R. Comparison of rates of ureolysis between *S. pasteurii* and an indigenous groundwater community under conditions required to precipitate large volumes of calcite, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, 3290-3301, 2011.
- [10] Stocks-Fischer S., Galinat J. K. and Bang S. S. Microbial precipitation of CaCO<sub>3</sub>, *Soil Biology and Biochemistry*, (31), 1563-1571, 1999.
- [11] Al-Thawadi S. and Cord-Ruwisch R. (2012) Calcium carbonate crystals formation by ureolytic bacteria isolated from Australian soil and sludge, *Journal of Advanced Science and Engineering*, 2, 12-26, 2012.
- [12] Mortensen B. M., Haber M. J., DeJong J. T., Caslake L. F. and Nelson D. C. Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation, *Journal of Applied Microbiology*, 111, 338-349, 2011.
- [13] Harkes M. P., Van Paassen L. A., Booster J. L., Whiffin V. S. and Van Loosdrecht M. C. M. Fixation and distribution of bacterial activity in sand to induce carbonate precipitation for ground reinforcement, *Ecological Engineering*, 36, 112-117, 2010.
- [14] Okwadha G. D. O. and Li J. Optimum conditions for microbial carbonate precipitation, *Chemosphere*, 81, 1143-1148, 2010.
- [15] Terzis, D., Laloui, L. 3-D micro-architecture and mechanical response of soil cemented via microbial-induced calcite precipitation. *Sci Rep* 8, 1416, 2018.
- [16] Kaltwasser H., Kramer J., Conger W.R. Control of urease formation in certain aerobic bacteria. *Arch. Microbiology*, 81: 178–196, 1972.
- [17] Friedrich B., Magasanik B. Urease of *Klebsiella aerogenes*: control of its synthesis by glutamine synthetase. *J. Bacteriol*, 8: 313–322, 1977.



# **Geology and Geochemistry of Copper Mineralization of Volcanic Rocks Due to Quartz Veins in Western Part of Almus (Tokat-Turkey)**

Cihan Yalçın<sup>1\*</sup>, Mustafa Kumral<sup>2</sup>, Mustafa Kaya<sup>3</sup>, Muhittin Karaman<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Ministry of Industry and Technology, General Directorate of Industrial Zones, World Bank Project Implementation Unit, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0510-2992), [cihanyalcinjeo@gmail.com](mailto:cihanyalcinjeo@gmail.com)

<sup>2</sup> İstanbul Technical University, Faculty of Mine, Department of Geological Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7827-8721), [kumral@itu.edu.tr](mailto:kumral@itu.edu.tr)

<sup>3</sup> İstanbul Technical University, Faculty of Mine, Department of Geological Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0694-9754), [kayamusta@itu.edu.tr](mailto:kayamusta@itu.edu.tr)

<sup>4</sup> İstanbul Technical University, Faculty of Mine, Department of Geological Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8971-010X), [mkaraman@itu.edu.tr](mailto:mkaraman@itu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1062226)

**ATIF/REFERENCE:** Yalçın, C., Kumral, M., Kaya, M. & Karaman, M. (2022). Geology and Geochemistry of Copper Mineralization of Volcanic Rocks Due to Quartz Veins in Western Part of Almus (Tokat-Turkey). *European Journal of Science and Technology*, (34), 5-9.

## **Abstract**

It is recognized that magmatic activities have occurred along the Izmir Erzincan suture due to the closure of the Tethyan ocean. In the western part of Almus (Tokat), which is situated around this suture zone, quartz veins along the fracture lines are observed in the volcanics owing to the magmatism. There are copper enrichments along the quartz veins with an average thickness of 70 cm in volcanic rocks. Mineralization occurred as vein type and epigenetic formation. Paragenesis consists of bornite, covellite, pyrite, magnetite in ore forming phase and goethite, malachite and azurite in supergene phase. In geochemical analyzes, the CuO value near the surface reaches 23% due to the presence of malachite and azurites also 0.03% in non-oxidized zones. This enrichment along the secondary quartz veins in the fracture lines of Eocene volcanic rocks is associated to the effect of the extension regime in the region.

**Keywords:** Quartz veins, Volcanics, Copper, Supergene phase, Extension regime, Almus (Tokat).

## **Almus Batısındaki Volkanik Kayaçlarda Kuvars Damarları ile İlişkili Bakır Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Jeokimyası (Tokat-Türkiye)**

### **Öz**

Tetis okyanusunun kapanması nedeniyle İzmir Erzincan kenet zonu boyunca magmatik faaliyetlerin meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu kenet zonu çevresinde yer alan Almus (Tokat) batısında magmatizma ile ilişkili olan volkanik kayaçlardaki kırık hatları boyunca kuvars damarları gözlenir. Volkanik kayaçlarda ortalama 70 cm kalınlığında olan kuvars damarları boyunca da bakır zenginleşmeleri bulunur. Cevherleşme damar tipi ve epigenetik oluşumdur. Parajenez, cevher oluşum fazında bornit, kovellin, pirit, manyetitten ve süperjen evrede ise götit, malakit ve azuritten oluşur. Jeokimyasal analizlerde, malakit ve azuritlerin varlığından dolayı yüzeye yakın CuO değeri %23'e ulaşır, ayrıca oksitlenmemiş bölgelerde de %0.03'e ulaşır. Eosen yaşlı volkanik kayaçların kırık hatlarındaki ikincil kuvars damarları boyunca meydana gelen bu zenginleşme, bölgedeki açılma rejiminin etkisiyle ilişkilidir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuvars damarları, Volkanik kayaçlar, Bakır, Süperjen evre, Açılma rejimi, Almus (Tokat).

\* Corresponding Author: [cihanyalcinjeo@gmail.com](mailto:cihanyalcinjeo@gmail.com)

## 1. Introduction

There are many sutures in the Anatolian plate. Many continental collisions occurred due to the closure of different portions of the Tethyan ocean and magmatic events occurred during and after this collision [1-3]. The northern branch of Neotethys was closed with the collision of the Pontides and the Anatolian plate and as a result of the Izmir-Ankara-Erzincan suture zone was revealed [1,3] (Fig 1a). Magmatism took place with the effect of tension tectonic regime around these suture zones [4]. This magmatism was defined as middle Eocene volcanosedimentary rocks in and around the west of Almus (Tokat) [5] and additionally 45 Ma age from basalt and andesites [6] and 40-41 Ma ages from trachytic lavas were obtained [4].

The metamorphic rocks of the Mesozoic Tokat massif and the ophiolitic rocks of the Bakımlıdağ Complex are basement rocks in and around Almus (Tokat) [7-12] (Fig 1b).

Eocene volcanics and sedimentary rocks are unconformably overlain by these units. Secondary quartz veins are observed in

the fracture zones of these units which are spread in wide area. There are Cu enrichments along the fracture zones. Neogene and Quaternary sediments cover all units as angular unconformities (Fig. 1b).

## 2. Material and Method

Vein type epigenetic Cu deposits are observed along the faults developed with-in the Eocene volcanics in the western Almus.

Supergene alterations are also observed in large areas on the surface (Fig 2). In these fault zones, secondary quartz veins (average 70 cm) cut off volcanics and volcanic breccias (Fig. 3). In these regions, while the ore samples are found deep (Fig 4a), malachite and azurite minerals are observed intensely in the hand specimen (Fig 4b).

In the study area, systematic sampling was performed in such a way as to be perpendicular to the veins. Microscopic study of ore samples with XRF analysis of these samples was performed in ITU-JAL laboratory.

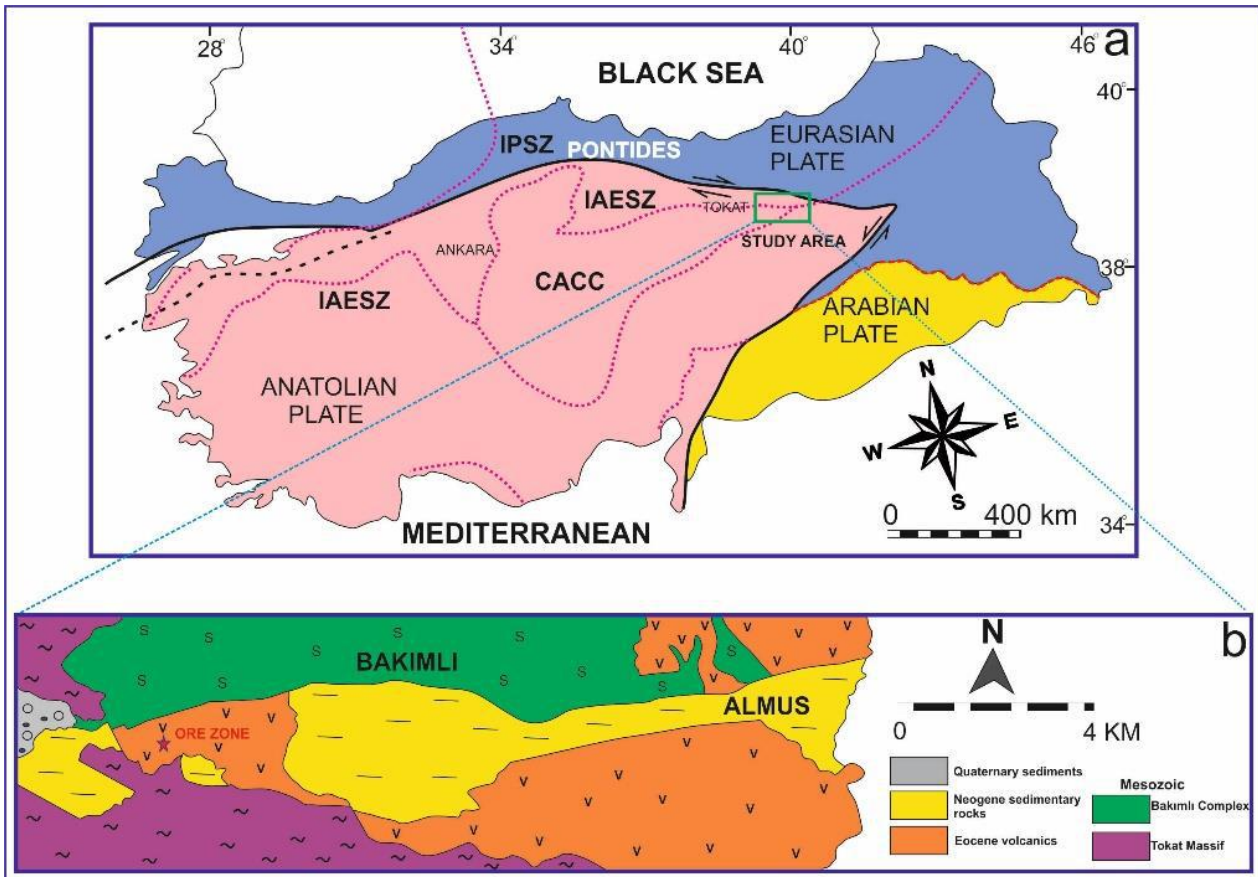


Fig. 1 a. Tectonic location of the study area (Modified from Işık [13], b. Geological map of the area (simplified from Bozkurt and Koçyiğit [8]; Sümengen et al., [11-12]).

## 3. Results and Discussion

In geochemical analyzes, the CuO value near the surface reaches 23% due to the presence of malachite and azurites also 0.03% in non-oxidized zones (Table 1). In ore microscopy studies, magnetite inclusions in pyrite (Fig 5a-b) and bornite covellite transformations (Fig 5c-d) are observed. Pyrites are generally subhedral and irregular. Copper minerals are also generally

anhedral. Iron oxides are commonly observed in fractures and cracks.

After the field and laboratory studies; mineralization occurred as vein type and epigenetic formation. Paragenesis consists of bornite, covellite, pyrite, magnetite in ore forming phase and goethite, malachite and azurite in supergene phase (Figure 6).



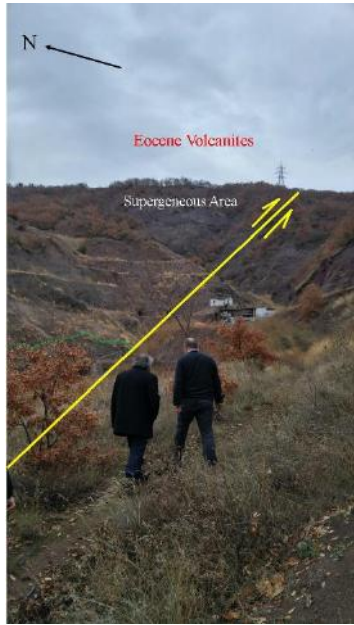


Fig. 2 General view of ore zone

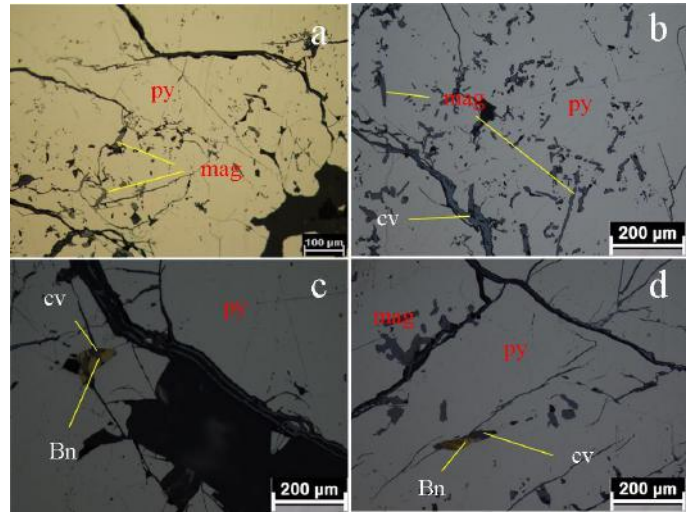


Fig. 5 Ore microscopy; a-b: Magnetite inclusions, c-d; Bornite-Covellite transformations, py: pyrite, mag: magnetite, cv: covellite, Bn: bornite

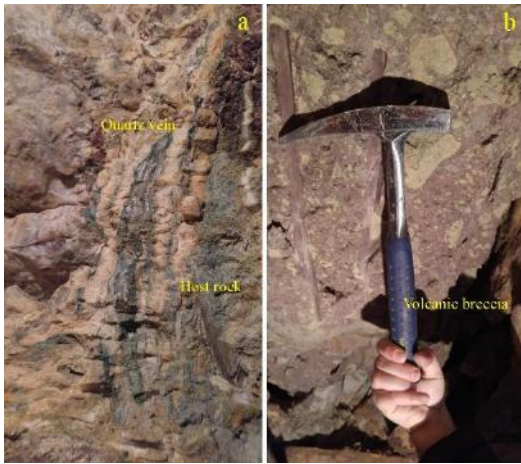


Fig. 3 a. General view of quartz vein and host rock, b. Volcanic breccia

In geochemical analyzes, the CuO value near the surface reaches 23% due to the presence of malachite and azurites also 0.03% in non-oxidized zones (Table 1). In ore microscopy studies, magnetite inclusions in Pyrite (Fig 5a-b) and bornite covellite transformations (Fig 5c-d) are observed.



Fig. 4 a. General view of ore sample, b. supergene mineral

Table 1. Table of chemical analysis results

Formula	T1	T2	T3	T4	T5
MgO	0,05%	8,07%	6,41%	5,83%	6,03%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07%	4,39%	6,69%	12,02%	11,82%
SiO <sub>2</sub>	2,97%	23,42%	37,07%	37,48%	27,08%
CaO	0,17%	18,69%	19,14%	15,85%	16,25%
MnO	0,01%	0,44%	0,42%	0,29%	0,40%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,09%	6,83%	8,73%	6,00%	16,00%
SO <sub>3</sub>	43,38%	4,19%	3,43%	1,96%	1,85%
CuO	0,03%	23,02%	1,42%	1,10%	5,10%
K <sub>2</sub> O	0,01%	0,10%	0,22%	0,37%	0,37%
LOI	31,14%	10,35%	14,72%	15,91%	11,91%
<b>TOTAL</b>	<b>99,92%</b>	<b>99,76%</b>	<b>99,87%</b>	<b>99,76%</b>	<b>99,78%</b>

After the field and laboratory studies; mineralization occurred as vein type and epigenetic formation. Paragenesis consists of bornite, covellite, pyrite, magnetite in ore forming phase and goethite, malachite and azurite in supergene phase (Figure 6).

Mineral	Ore Formation Phase	Supergene Phase
Pyrite	████████████████████	
Bornite	████████████	
Covellite		████████
Magnetite	████████	
Azurite		████████████████████
Malachite		████████████████████
Goethite		████████████████████

Fig. 6 The paragenesis and succession of the ore zone

Various important mineralizations can form in fault zones that evolve in extensive tectonic situations. Marchev et al., [14] declared that there are vein type and carbonate substitution Pb-Zn

mineralizations linked with the ignimbrites in the Rhodope massif and fault zones are competent in the mineralization.

Esmaeli et al., [15] set forth that there is Khalyfehlou Cu mineralization in the southeast of the Zenzan region in Iran and that this vein-type mineralization is situated within the volcano-sedimentary succession of the Eocene period. The paragenesis of the Khalyfehlou Cu mineralization is in the form of chalcopyrite, bornite, chalcocite, covellite, quartz, sericite and calcite respectively. As a proceeding of fluid inclusions and isotope studies, it was given that this deposit was established by a Cordilleran type mesothermal system [15].

Rajabpour et al., [16] mentioned that fault-controlled Cu mineralization with stratabound character exists within the Eocene-Oligocene volcanic units in the Urmia-Dokhtar region in northwest Iran. In the mineral assemblage study, it was stated that arsenopyrite geothermometer ranged between 250 and 370 oC and these data show medium-high sulphidation [16].

Shahbazi et al., [17] affirmed that the Zehabad Pb-Zn-Au-Ag (Cu) deposit formed in fault zones correlated with Eocene tuffs and mineralization took place in five stages. It has been revealed that quartz and calcite gangue minerals in the paragenesis are closely related to mineralization and hydrothermal alterations form around the ore vein [17].

Yalçın et al., [18] explained that the Hasenekevleri (Maden-Elazığ) Cu mineralization is epigenetic and vein type. It was expressed that the mineralization was associated with quartz veins in the fracture lines in the diabases and it was suggested that hydrothermal alterations were observed. Yalçın et al., [19] presented that there is epigenetic Cu-Zn mineralization associated with fault zones in the Kuzuluk region, which is a volcanic district, and that the hydrothermal activity in the region as well as the faults are effective in the mineralization.

Yalçın et al., [20] performed  $\delta^{34}\text{S}$  isotope analysis from primary pyrites directly related to copper mineralization in the Almus region. The isotope results are between 3.6-4.00 ‰, and exhibit that the sulfur that provides the formation of the mineralization indicates magmatic origin.

The Almus mineralization, which is similar to the mineralizations in the above-mentioned provinces, is still a structurally controlled mineralization.

## 4. Conclusion

Magmatic events occurred during and after the closure of different portions of the Tethyan ocean. The Cu enrichment along the secondary quartz veins in the fracture lines of Eocene volcanic rocks is related to the effect of the extension regime in district.

## References

- [1] A.M.C. Şengör, Y. Yılmaz, *Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach*, Tectonophysics, 75(3-4), 181193203-190199241, 1981.
- [2] Y. Yılmaz, O. Tüysüz, E. Yigitbas, S.C. Genç, A.M.C. Şengör, *Geology and tectonic evolution of the Pontides*, In: A.G. Robinson (Ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir, 68, 1997a.
- [3] A. I. Okay, O. Tüysüz, *Tethyan sutures of northern Turkey*, Geological Society, London, Special Publications, 156 (1) , 475 515, 1999.
- [4] G. Göçmengil, Z. Karacık, Ş. C. Genç, *Volcano Stratigraphic Investigation of the Post-Collisional Middle Eocene Magmatism Around İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (NE, Turkey)*, Geological Bulletin of Turkey, 61 (2018), 131-162 doi: 10.25288/tjb.414013, 2018.
- [5] M. Keskin, Ş.C. Genç, O. Tüysüz, *Petrology and geochemistry of post-collisional Middle Eocene volcanic units in North-Central Turkey: evidence for magma generation by slab breakoff following the closure of the Northern Neotethys Ocean*, Lithos, 104 (1), 267-305, 2008.
- [6] E. S. Platzman, J. P. Platt, G. Tapirdamaz, M. Sanver, C.C. Rundle, *Why are there no clockwise rotations along the North Anatolian Fault Zone?*, Journal of Geophysical Research All Series, 99, (B11), 21705-21715, 1994.
- [7] A. Yılmaz, T. Ercan, *Tokat ile Sivas Arasında Yer Alan Yıldızdağı Gabrosu'nun Petrokimyasal Özellikleri*, Jeoloji Mühendisliği, 20, 11-16, 1984.
- [8] E. Bozkurt, A. Koçyiğit, *The Kazova basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey*, Tectonophysics, 265(3-4), 239-254. 1996.
- [9] A. Özcan, A. Aksay, *Tokat-Turhal-Almus-Çamlıbel Dolayının Jeolojisi*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9972, 1996.
- [10] Y. Yılmaz, H.S. Serdar, C. Genç, E. Yigitbaş, Ö.F. Gürer, A. Elmas, M. Yildirim, O. Gürpınar, *The geology and evolution of the Tokat Massif, south-central Pontides, Turkey*, International Geology Review, 39(4), 365-382, 1997b.
- [11] M. Sümengen, *1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No.188, Tokat- H37 paftası*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2013a.
- [12] M. Sümengen, *1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No.188, Tokat- H38 paftası*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2013b.
- [13] V. Işık, *Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu*, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2016.
- [14] P. Marchev, M. Kaiser-Rohrmeier, C. Heinrich, M. Ovtcharova, A. von Quadt, R. Raicheva, *2: Hydrothermal Ore Deposits Related to Post-Orogenic Extensional Magmatism and Core Complex Formation: The Rhodope Massif of Bulgaria And Greece*, Ore Geol Rev 27:53–89. doi:10.1016/j.oregeorev.2005.07.027, 2005.
- [15] M. Esmaeli, M. Lotfi, N. Nezafati, *Fluid Inclusion and Stable Isotope Study of the Khalyfehlou Copper Deposit, Southeast Zanjan, Iran*, Arabian Journal of Geosciences 8 (11): 9625- 9633, 2015.
- [16] S. Rajabpour, M. Behzadi, S.Y. Jiang, I. Rasa, B. Lehmann et al., *Sulfide Chemistry and Sulfur Isotope Characteristics of the Cenozoic Volcanic-Hosted Kuh-Pang Copper Deposit, Saveh County, Northwestern Central Iran*, Ore Geology Reviews 86:563-583, 2017.
- [17] S. Shahbazi, M. Ghaderi, P. Alfonso, *Mineralogy, Alteration, and Sulfur Isotope Geochemistry of the Zehabad Intermediate-Sulfidation Epithermal Deposit. NW Iran*, Tur. J. Earth Sci. 28, 882–901, 2019.

- [18] C. Yalçın, M. Kumral, M. Kaya, M. Karaman, *Hasanekevleri (Maden-Elazığ) Güneyindeki Diyabazlarda Gelişen Hidrotermal Cu Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Alterasyon Jeokimyası*, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(3), 1282-1296. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.630452>, 2020.
- [19] C. Yalçın, M. Kumral, Z.B. Aydın, C. Korkmaz, A. Gürsoy, O. Aksoy, “Kuzuluk (Sakarya) Bölgesindeki Eosen Yaşlı Tüflerde Gözlenen Cu-Zn Cevherleşmesinin Jeokimyası ve CBS Ortamında Analizi”, *1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS 2021)*, Proceeding Book, p. 1066-1071, ISBN: 978-625-00-0389-3, November 1-3, Konya, Turkey, 2021.
- [20] C. Yalçın, M. Kaya, M. Karaman, M. Kumral, “Almus (Tokat) Bölgesindeki Eosen Yaşlı Volkano-sedimanter Kayaçlar İçinde Gözlenen Damar Tipi Cu Cevherleşmesinin Mineralojik–Kimyasal ve Kükürt İzotopları Bileşimi Özellikleri”, *Uluslararası Çevrimiçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı (IOCENS' 21)*, Abstract Book, s. 177, 5-7 Temmuz 2021, Gümüşhane Üniversitesi Yayınları No: 47, ISBN: 978-605-4838-27-1, Gümüşhane, Türkiye, 2021.



# Removal of Dissolved Organic Matter in Drinking Water Using Active Microorganisms (EM)

Ercan Aydoğmuş<sup>1\*</sup>, Zehra Gülten Yalçın<sup>2</sup>, Mustafa Dağ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Firat University, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1643-2487), [ercanaydogmus@firat.edu.tr](mailto:ercanaydogmus@firat.edu.tr)

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin University, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5460-289X), [zaltin@karatekin.edu.tr](mailto:zaltin@karatekin.edu.tr)

<sup>3</sup> Çankırı Karatekin University, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9540-3475), [mudag@karatekin.edu.tr](mailto:mudag@karatekin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1062252)

**ATIF/REFERENCE:** Yalçın, Z. G., Dağ, M. & Aydoğmuş, E. (2022). Removal of Dissolved Organic Matter in Drinking Water Using Active Microorganisms (EM). *European Journal of Science and Technology*, (34), 10-13.

## Abstract

Conventional treatment methods are used in the treatment of drinking water to protect human and environmental health. These methods can be named aeration to increase the amount of oxygen, precipitation, chemical treatment, filtration, chlorination for disinfection. Besides, iron and manganese removal operations are performed in places where the hardness is very high depending on the geographical location, iron and manganese removal operations are performed in cases where the iron and manganese content is high. Drinking, and drinking water treatment technologies in Turkey are generally the same. The conventional methods used are briefly described as ventilation, coagulation, flocculation, precipitation, sand filtration, and chlorination. In recent years, it has been observed that in addition to these methods, ozone has been used for primary disinfection purposes, activated carbon adsorption for advanced purification purposes, reverse osmosis studies have been performed. Conventional treatment plants are usually built when there is the use of superficial water sources. In settlements where spring or well water is used in a certain area, the water is only available by the chlorination process. The purpose of drinking water treatment is to be clear, colorless, odorless, disease-causing organism-free, free of chemicals harmful to health, and suitable for domestic use. The treatment technologies used in drinking water treatment plants vary depending on the properties that are desired to be found in purified water, as well as the properties of raw water. Physical, chemical, and biological purification, which is one of the classical methods used in the purification process, may be insufficient in the face of dissolved organic matter. This encourages us to look for new methods of combating dissolved organic matter.

**Keywords:** Active microorganism, Purification, Drinking water, Water treatment.

## Aktif Mikroorganizmalar (EM) Kullanılarak İçme Suyundaki Çözünmüş Organik Maddenin Uzaklaştırılması

### Öz

İçme sularının arıtılmasında insan ve çevre sağlığını korumak için geleneksel arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler oksijen miktarını artırmak için havalandırma, çöktürme, kimyasal arıtma, filtrasyon, dezenfeksiyon için klorlama olarak adlandırılabilir. Ayrıca coğrafi konuma bağlı olarak sertliğin çok yüksek olduğu yerlerde demir ve mangan giderme işlemleri, demir ve mangan içeriğinin yüksek olduğu durumlarda ise demir ve mangan giderme işlemleri yapılmaktadır. Türkiye'de içme ve içme suyu arıtma teknolojileri genel olarak aynıdır. Kullanılan geleneksel yöntemler kısaca havalandırma, pıhtılaşma, flokülasyon, çökeltme, kum filtrasyonu ve klorlama olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda bu yöntemlere ek olarak birincil dezenfeksiyon amacıyla ozonun kullanıldığı, ileri saflaştırma amaçlı aktif karbon adsorpsiyonunun kullanıldığı, ters ozmoz çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Konvansiyonel arıtma tesisleri genellikle yüzeysel su kaynaklarının kullanıldığı durumlarda kurulur. Kaynak veya kuyu suyunun belirli bir bölgede kullanıldığı yerleşim yerlerinde, su sadece klorlama işlemi ile elde edilmektedir. İçme suyu arıtımının amacı; berrak, renksiz, kokusuz, hastalık yapıcı organizmalardan arınmış, sağlığa zararlı kimyasallardan arındırılmış ve ev içi kullanıma uygun olmasıdır. İçme suyu arıtma

\* Corresponding Author: [ercanaydogmus@firat.edu.tr](mailto:ercanaydogmus@firat.edu.tr)

tesislerinde kullanılan arıtma teknolojileri, ham suyun özelliklerinin yanı sıra arıtılmış suda bulunması istenen özelliklere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Safılaştırma işleminde kullanılan klasik yöntemlerden biri olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik safılaştırma, çözülmüş organik madde karşısında yetersiz kalabilmektedir. Bu, bizi çözülmüş organik maddelerle mücadele için yeni yöntemler aramaya teşvik ediyor.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif mikroorganizma, Arıtma, İçme suyu, Su arıtma.

## 1. Introduction

EM technology means the technology in which active microorganisms are used. EM is not a single type of microorganism, but a mixture consisting of a combination of various groups of microorganisms. It has a good and healthy effect on the entire environment live. When these microorganisms are examined, it is found that many of them are used primarily in food and health fields. It has been proven that the use of EM is safe for health in Japan and other countries within the framework of the conducted research. It is noted that it does not have a harmful effect even if it is drunk. In many countries, EM has a permit as a beverage. It is informed that it is also used in places requiring hygiene other than agricultural applications. EM Technology is applied in the fields of agriculture, livestock, fisheries, environment, and medicine. Active Microorganisms consist of groups of microorganisms that can live in both aerobic (oxygen-containing) and anaerobic (oxygen-free) environments.

EM is the abbreviated form of the term "Active Microorganism". EM consists of various types of microorganisms and is produced in its unique conditions by collecting from nature. It is a cocktail of microorganisms available on the market in the form of a brownish liquid. EM was developed by Teruo Higa is a Professor at Ryukyus University in Okinawa in Japan, at the end of the last century. The use of EM, which has been perfected by conducting intensive research on it, has become extremely widespread in the fields of agriculture, livestock, and the environment all over the world over the past 20 years [12].

Microorganisms on Earth are divided into three: Destructive (Degenerating) microorganisms, Constructive (Regenerating) microorganisms, and Opportunistic (Neutral or Opportunistic) microorganisms. Effective Microorganisms are, in general, constructive it belongs to the class of microorganisms. They prevent the decomposition (putrefaction or oxidation) of organic substances and cause fermentation. Thus, there is information that they make nature healthy and ensure the formation of many biologically active substances and antioxidant substances. It seems that incentives have been made for the technological use of EM to become widespread. Some claims about EM applications; include sustainable agricultural, industrial, health (farm animals, pets, and humans), odor control, waste management, recycling, environmental remediation, and eco-friendly cleaning [9, 15].

From the past to the present, the existing water resources are of great importance in the life cycle of both people and plants as living beings. To meet the demand for needed water, purification is especially important from a health point of view. In addition to conventional methods of purification for clean drinking water, various new methods are being studied. For this reason, water quality is important in the supply of drinking water to protect the ecosystem. Sustainability in water quality is important and studies are continuing. The use of biological treatment, especially microorganisms, to improve the quality of contaminated water is effective and is widespread, as it causes lower capital and cost compared to chemical treatments. That is why in recent years,

there has been an increasing interest in the use of biological purification techniques for water as the best alternative option environmentally and economically. EM technology is a low-cost alternative to improving water quality and has a very high potential to improve the chemical and physical properties of water. Through this technology, the improvement of contaminated and degraded water structures that revitalize aquatic life and ecosystems will certainly result in sustainable water resource management in the region concerned. In addition, the potential of EM to compose agricultural, livestock, natural agriculture, environmental management, construction, human health and hygiene, industrial and social activities have also been very well realized [1, 12].

EM was tested in wastewater treatment by mixing it with some types of fungus in a certain proportion. Different types of composted sawdust have been used as a microbial carrier, food, and enzyme source and support to improve the wastewater treatment process. It is aimed to improve the quality of treated wastewater and the resulting sludge here. The parameters of treated wastewater in terms of BOI, KOI, O&G, Total organic matter, and suspended solids have been greatly improved by 85.0 %, 79.0 %, 82.7 %, 74.6 %, and 87.7 %, respectively, according to the retention time and the type of materials tested [8]. Another study shows that EM technology has been applied in Vietnam to convert waste into organic fertilizer for the treatment of garbage and waste in landfills and to treat water with a high concentration of organic substances. In this study, the results of garbage analysis in the Thai Mo landfill and analysis of liquid waste from the garbage in the collection tank were investigated. A comparison of the components of the inlet and outlet water of the pollutant concentrations of activated sludge (with and without the addition of EM) before and after treatment was carried out. The conducted analyzes have shown that EM technology is very effective in environmental management in landfills. In another study, it is seen that good results have been obtained in the treatment time and efficiency by using EM in wastewater treatment that produces lincomycin [7].

Turkey has an important potential with its 8333 km coastline, 80791 km<sup>2</sup> sea area, 10000 km<sup>2</sup> natural lake, 15000 ha pond, 342377 ha dam lake, and 177714 km long streams surrounded by seas on three sides [11].

In our country, which has a rich water potential with streams, lakes, and dam lakes, the Çankırı province, the Kızılırmak Delta, and the Devrez Stream are important. Devrez Stream, formed by streams coming from Işık Mountain and Aydos Mountain, forms a long valley (Northern Anatolian Fault Line) that can be considered deep, continues its way from west to east and reaches Kızılırmak River at the end of its 211 km journey, emptying its waters into this largest river within the borders of Turkey. Devrez valley is divided into 3 parts, from west to east (in the direction of flow), Upper, Middle, and Lower Devrez. The flow regime of the Devrez Stream is quite irregular, in which the snow melts its flow rate exceeds 600 cubic meters/second in spring and can drop to 3 cubic meters/second in summer [6].

Water quality affects the composition, productivity, abundance conditions of species, and the physiological conditions of aquatic species. Dam lakes are affected by environmental pollution in the first degree because they show a constant receptive environment feature. This contamination not only negatively affects the living creatures living in it, but this negative effect affects every living species up to humans through the food chain [13]. Pollutants from domestic, industrial, and agricultural activities are first mixed into streams and again reach lakes and seas through streams. Therefore, the properties of waters obtained from natural sources and used in the production of aquaculture should be very well known and the balance should be maintained [11]. Water resources in the world are rapidly decreasing. Among these resources, water resources of drinkable quality have also decreased and come to the point of depletion. The problem of freshwater scarcity and pollution has been escalating globally for the past few years.

According to the data of the State Institute of Statistics, it has been informed that our population will reach about 84 million in 2025. In this case, it is said that the amount of available water per capita will decrease to 1300 m3 by 2025. Due to this situation, the importance of the right approaches in terms of water use and water resources is increasing more than once [2].

It has been estimated that two-thirds of the world's population may experience difficulties in accessing healthy water by 2025 [14]. In addition to its natural flora, water can also contain microorganisms found in soils and plants, and in case of contamination, microorganisms are found in feces and sewage waters. No matter for what purpose the water is used, it should not contain pathogenic microorganisms [5]. For this reason, it is necessary to treat the existing water resources so that they are not polluted and the water resources are used more efficiently [3].

## 2. Material and Method

Below are the analyzes working with raw water and EM and the devices used.

- ✓ pH, Conductivity, Dissolved Oxygen
- ✓ Turbidity analyzer NTU ( Hach 2100 Q)
- ✓ NS. Hach lico 150 colorimetric colors (Pt-Co) analyzer
- ✓ D. Alkalinity (Titration)
- ✓ to. Mn, Fe, TC, TIC, TOC (Spectrophotometer)
- ✓ Phosphanate analyzer DRB 2800 Hach analysis spectrophotometer
- ✓ Total nitrogen analyzer DRB 2800 Hach analysis spectrophotometer

EM-5 (Microorganisms in it: Lactobacillus Plantarum, Lactobacillus Rhamnous, Lactobacillus Casei, Lactobacillus Delbrueckii, Figure 1).



Fig. 1. Example of EM Samples

In this study, EM was prepared with pure water in a ratio of 0.001. 5 mL of the prepared solution was taken and dosed into 500 mL of raw water taken from Güldürcek Dam. Every four days, 5 mL of the solution prepared with pure water is dosed into 500 mL of raw water. After 12 days, both physical and chemical analyzes consisting of 13 parameters were performed by taking the water remaining on the surface of the studied sample (Fig. 2).

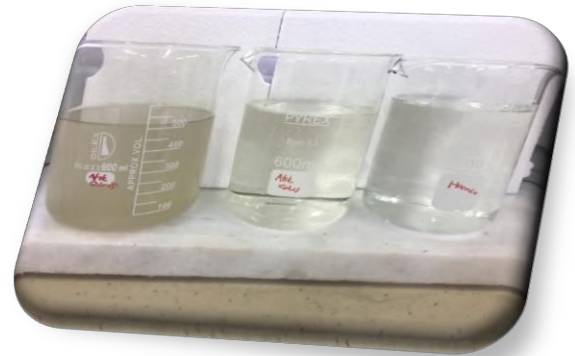


Fig. 1. Raw water from Güldürcek Dam after addition EM

## 3. Results and Discussion

Analysis results of raw water and EM added to water are given in Table 1. Measurement results have been compared by the standards.

Table 1. Properties of silica nanoparticles

Parameter	Standart	Raw Water	Raw water with EM*5
Temperature (°C)		18.3	17.0
pH	6.8-8.5	7.6	9.0
Conductivity (µmhos/cm)	<2500	206.3	220
Dissolved O <sub>2</sub> (mg/L)		8.23	10.5
Blur (NTU)	0.4-1.0	3.1	

Color (Pt-Co)	1-20	11.0	9.0
Mn (mg/L)	0.02-0.05	0.09	0.03
Iron (mg/L)	0.05-0.2	0.10	0.05
PO <sub>4</sub> (mg/L)	2-20	0.09	0.0
Total Nitrogen (mg/L)	20-100	3.1	3.0
TC (mg/L)	12-75	129	111
TIC (mg/L)	10-73	42.1	47
TOC (mg/L)	2-65	87	64.2
Parameter	Standart	Raw Water	Raw water with EM*5
Temperature (°C)		18.3	17

When the use of EM is evaluated according to the results given in the table; If we consider the temperature, since the working period is winter, the dam temperature is normally measured between 5-8 °C. However, the water taken from the dam and brought to the facility has reached room temperature of 18.3 °C. It has been observed that the temperature after adding EM decreases by one parameter, although it is kept under room conditions. It was found that the pH was low in the dam in recent months due to dissolved organic matter. The sample taken from the dam has a pH of 7.62 in the water. The pH measured in water with EM is 9.01. It has been found that pH increases in water with EM. It is seen that it slightly exceeds the specified range for Güldürcek Dam. Conductivity is an indicator of dissolved substances. In this study, the conductivity measured in raw water is 206.3. The conductivity measured in EM water was 220, an increase of 6.3 % was observed. Dissolved oxygen creates an anaerobic environment when it is low, and an anaerobic environment at normal values.

In the data obtained in this study, dissolved O<sub>2</sub> is 8.23 in raw water. It was measured as 10.48 in water with EM, and an increase of 21.5 % was detected. This shows the way to the aerobic environment. It is undesirable to have it in drinking water since turbidity is an indicator of AKM. When looking at raw water, it was found that the turbidity was at 3.12, and when looking at the water with EM, it was found that this decreased to 0.99. This indicates a 70 % improvement in turbidity. Color is an indicator of contaminants. The color in raw water was found to be 11, and in EM water it was found to be 9, and an improvement of 18 % was observed. EM suppliers also argue that EM also reduces the value of heavy metals.

For this reason, a study of manganese and iron was conducted, and manganese was found to be 0.092 in raw water and 0.030 in water with EM, and an improvement of 67.4 % was found. If we look at the iron analysis result, it was 0.10 in raw water and 0.05 in EM water, and an improvement of 50 % was detected. Phosphonate is an agent that limits the population of phosphorus-deficient algae. In raw water, the phosphate was measured as 0.091, and in EM water it was determined as 0.075, a decrease of 17.6 % was observed. Nitrogen in raw water is an indicator of organic pollutants. The TOC in raw water is 128.8. It was 111.2 in EM water and a 14 % reduction was observed.

#### 4. Conclusions and Recommendations

As a result, it has been proved that EM can be used as an auxiliary element in the fight against the dissolved organic matter. Also, when EM is evaluated in terms of cost and characteristics

since oxygen consumption can be reduced, the operating cost will decrease, and since the water still contains EM microorganisms after purification, a great improvement in vegetation and the environment will be observed wherever it is discharged from the facility to nature. This improvement is the result of an improvement in the biological quality of water. The use of EM in water treatment comes across as an inexpensive technology that gives good and effective results.

#### References

- Ö. Akgiray, *İçme suyu arıtma teknolojileri*, T. Tesisat Dergisi, 2003.
- M. Asaroğlu, and A. Akman, *Çevre 'de EM teknolojisi*, EM agriton. Eko-zon Halk Sağlığı ve Çevre Danışmanlığı, 2017.
- D. Dölgen, H. Sarptaş, and M. N. Alpaslan, *Merkezi İçme ve Kullanma Suyu Arıtma Sistemlerinde Uygulanan Yöntemlerin Değerlendirilmesi*, İzmir Örneği, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, 2014.
- M. Işık, *Ötrofikasyon ve Su Kalitesi Problemleri*, Aksaray Örneği, İklim Değişikliği ve Çevre, 3, (6) 37–44, 2018.
- M. O. Fufä, M. R. C. Popescu, A. M. Grumezescu, and A. M. Holban, *In Water Purification*, Ed.: A. M. Grumezescu, Academic Press, 263-288, 2014.
- M. M. Köle, *Devrez çayı vadisinin tektonik özelliklerinin morfolojik indisler ile araştırılması*, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi, 33, 2016.
- L. K. Quang, *Utilization of EM Technology for Overcoming some Environmental Problems in Vietnam*, 7th International Conference on Kyusei Nature Farming, Proceedings of the Conference held at Christchurch, New Zealand, 220-225, 2003
- S. A. Mohamed, *Waste-waste treatment technology and environmental management using sawdust bio-mixture*, JTUSCI 1: 12-23, ISSN: 1658-3655, 2008.
- S. D. Nader, A. G. Mahmoud, H. A. Mohamed, A. E. K. M. Mohamed, and O. M. Ahmed. *Sludge Reduction in Wastewater of Beet Sugar Industry Using the Effective Microorganisms*, In Abu Qurqas Sugar Factory, Egyptian Sugar Journal, 10: 63–82, 2018.
- Ö. Özdemir, *Çankırı İli 2016 yılı çevre durum raporu*, TC Çankırı Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2017.
- T. Beyhan, *Derbent Baraj Gölü (Samsun) Su Kalitesinin İncelenmesi*, Ekoloji, 15, 6-15, 2006.
- K. Yalçı, and A. Akman, *Etkin Mikroorganizmalar Teknolojisi Tarım*, El Kitabı, 2017.
- F. Yılmaz, *Mumcular Barajı (Muğla-Bodrum)'nın fiziko-kimyasal özellikleri*, Ekoloji 13, 50,10-17, 2004.
- Y. Ying, W. Ying, Q. Li, D. Meng, G. Ren, R. Yan, and X. Peng, *Recent advances of nanomaterial-based membrane for water purification*. Applied Materials Today 7, 144-158, 2017.
- Z. Zuraini, G. Sanjay, and M. S. Norezah, *Su Kalitesinin İyileştirilmesi için Etkin Mikroorganizmalar (EM) Teknolojisi ve Sürdürülebilir Su Kaynakları ve Yönetimi Potansiyeli*, Biyoloji Programı, Universiti Sains Malaysia.



# **Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemini Kullanarak Havacılık Sektörünün Kalite Süreçlerindeki İnsan Faktörü Risklerinin Değerlendirilmesi**

Ebru Yazgan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6545-8536), [eyazgan@eskisehir.edu.tr](mailto:eyazgan@eskisehir.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1062485)

**ATIF/REFERENCE:** Yazgan, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemini Kullanarak Havacılık Sektörünün Kalite Süreçlerindeki İnsan Faktörü Risklerinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 14-18.

## **Öz**

Havacılık operasyonlarının sürdürülebilirliği için onaylı havacılık kuruluşlarında kalite yönetimi sisteminin kurulması gereklidir. Kalite yönetim sistemi, ilgili havacılık işletme yönetmeliklerine uygun ve kuruluşun stratejik hedeflerini başarmak için kalite yöneticisi tarafından yürütülmektedir. Havacılık operasyonlarındaki hataların ve uçuş emniyet riskleri son derece önemli olmasından dolayı, yönetmeliklere ve insana dayalı risklerin kalite yönetimi tarafından doğru şekilde yönetilmesi hayati önem taşımaktadır. Kalite yöneticisi, havacılık operasyonlarındaki en küçük hatanın bile ölümcül olabileceği için operasyonel ortamda yasal ve mevzuata dayalı riskleri yönettiği için çok kritik bir göreve sahiptir. Bu çalışmada, havacılık ortamında kalite süreçlerindeki özellikle kalite yöneticisi için öncelikle insan risk faktörleri kategorize edilerek ve bu riskler çoklu karar verme tekniği olan, nitel faktörleri de dikkate alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemini belirlenen riskler ağırlıklandırılmıştır. Çalışma ile geliştirilen AHS modelinde kalite yöneticisi için araştırılan en önemli risk faktörleri sırasıyla zaman baskısı, yönetim desteği eksikliği ve güncel havacılık mevzuatlarının takip edilmemesi olarak belirlenmiştir. İnsan faktörleri risklerini sıralamak, üst yönetime proaktif bir yaklaşımla ilgili risklerin yönetilmesi için fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada elde edilecek sonuçlar sayesinde kalite süreçlerindeki gelişimin, iyileşmenin ve kalite süreçlerinin kurumun stratejik amaçlarının başarılmasına katkısının büyük olması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Havacılık Sektörü, Kalite Yönetim, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), İnsan Faktörü.

## **Evaluation of Human Factor Risks in Quality Processes of the Aviation Sector Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method**

### **Abstract**

For the sustainability of aviation operations, it is necessary to establish a quality management system in approved aviation organizations. The quality management system is carried out by the quality manager to comply with the relevant aviation operating regulations and to achieve the strategic objectives of the organization. Since errors and flight safety risks in aviation operations are of the utmost importance, it is vital that regulatory and human-based risks are properly managed by quality management. The quality manager has a critical role as he manages legal and regulatory risks in the operational environment as even the smallest mistake in aviation operations can be fatal. In this study, the risks determined by the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which is a multiple decision-making technique and also considers qualitative factors, are weighted by categorizing the human risk factors, especially for the quality manager in the quality processes in the aviation environment. In the AHP model developed by the study, the most important risk factors investigated for the quality manager were determined as time pressure, lack of management support and not following the current aviation regulations, respectively. Ranking human factors risks will benefit senior management with a proactive approach to managing the risks involved. Thanks to the results to be obtained in this study, it is aimed that the development, improvement and quality processes in quality processes will contribute to the achievement of the strategic goals of the institution.

**Keywords:** Aviation Sector, Quality Management, Analytical Hierarchy Process (AHP), Human Factor.

\* Sorumlu Yazar: [eyazgan@eskisehir.edu.tr](mailto:eyazgan@eskisehir.edu.tr)



## 1. Giriş

Havayolları, Havalimanları, Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcıları ve Bakım Kuruluşları vb. gibi havacılık kuruluşları, uçuş emniyeti, uçuşa elverişlilik vb. amaçlarını uygun teknik standartlara ve havacılık yönetmeliklerine uygun olarak tamamen operasyonlarla ilgili olarak maliyet etkin bir şekilde gerçekleştirmek için kalite yönetim sistemi kurarlar [1]. Havalimanları gibi kuruluşlar, kurumsal strateji amaçları için kalite hedeflerini karşılayacak, havacılık mevzuatını uygulayacak ve belgelendirme şartlarını yerine getirecek ve Türkiye'de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) gibi düzenleyici kurumlar tarafından gerekli olan Hava alanı El Kitabı kılavuzları, prosedürlerini hazırlayacaklardır. Uçağın uçuşa elverişli olması veya havalimanının emniyetli olarak çalışması havacılık faaliyetlerinin tamamen havacılık kurallarına göre doğru şekilde yönetilmesi ile sağlanmaktadır. Kalite Yöneticisi, havacılık örgütlerinde kritik bir görev yürütmekte ve mevzuat gerekliliklerini göz önünde bulundurarak havacılık kuruluşun genel kalite faaliyetlerinin koordinasyonundan sorumlu olmakta ve havacılık operasyonlarının durumu hakkında geribildirim mekanizması sağlayan denetim sürecini gerçekleştirmektedir. Ayrıca denetleme sürecinin sonunda hangi konularda iyileştirmelerin yapılacağını tespit etmektedir. Kalite güvencesi, kalite gereksinimlerinin yerine getirileceğine dair güven sağlamaya odaklanan kalite yönetimi aracıdır [2]. Bu çalışmada, havacılık ortamında özellikle kalite yöneticisi için öncelikle insan risk faktörleri kategorize edilerek ve bu riskler çoklu karar verme tekniği olan, nitel faktörleri de dikkate alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemini kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. İnsan faktörleri risklerini sıralamak, üst yönetime proaktif bir yaklaşımla ilgili risklerin yönetilmesi için fayda sağlayacaktır. Farklı kuruluşlar için AHS modelinin geliştirilmesinin benzer uygulamalar için farkındalığın artmasına yol açacağı da son derece önemlidir. Projede geliştirilen AHS modeliyle hem literatüre ve hem de insan faktörleri alanına katkıda bulunacağı hedeflenmiştir.

## 2. Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Saaty tarafından geliştirilen yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir. AHS'de karar vericinin amacı doğrultusunda kriterler ve ona ait alt kriterler ile alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir model kullanılır. AHS yöntemi karar vermede uzman görüşlerini dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir [3,4,5,6]. Literatürde AHS yaklaşımı iş değerlendirme süreci [3] havayolları pilot adaylarının seçiminin [7], yer seçiminde [8], makine seçiminde [9], banka performans değerlendirme [10], enerji [11], tedarikçi seçimi [12] ve kalite kontrol [13] gibi çok farklı alanlarda yaygın olarak uygulandığı görülmüştür.

AHS yönteminde ikili karşılaştırmalar temel yapı taşlarıdır. Kriterler arası ikili karşılaştırmalar yapılırken, Tablo 1'de görülen ve Saaty tarafından önerilen 1'den 9'a kadar değerler içeren temel karşılaştırma skalası kullanılmaktadır [3, 14].

Tablo 1. Önem skala değerleri ve tanımları

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenekte eşit derecede öneme sahip
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

AHS'de öncelikle problemin tanımlanması yapılır ve amaç belirlenir. Daha sonra kriterler ve varsa alt kriterler saptanır. En alt seviyede ise bu kriterleri sağlayan alternatifler yer almaktadır. Bu aşamada karar sürecini etkileyen tüm kriterlerin belirlenebilmesi için anket çalışmasına veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurulmaktadır. Daha sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak karar vericiden kriterleri ikili karşılaştırmaları yapması istenmektedir. Bu karşılaştırmalarda bulunan değer 0,10'un altında çıkmışsa oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karşılaştırma matrisi tutarsızdır ve karar vericiden kararını gözden geçirerek düzeltilmesi istenmektedir. Daha sonra ikili karşılaştırma matrislerinden görelî ağırlıklar (özevktör değerleri) hesaplanmaktadır [3,14].

## 3. Havacılık Sektörünün Kalite Süreçlerindeki İnsan Faktörü Risklerinin Ağırlıklandırılmasında AHS Yönteminin Uygulaması

Çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yaklaşımı kullanılarak kalite süreçlerindeki özellikle kalite müdüründen kaynaklı insan faktörü riskleri öncelikle belirlenerek ve daha sonrada geliştirilen AHS modelinde havacılık sektöründeki uzmanların düşünceleri alınarak belirlenen riskler sıralanmıştır. Bu çalışmadaki havacılık ortamında özellikle kalite yöneticisi için öncelikle insan risk faktörleri; güncel olmayan havacılık mevzuatlarının takip edilmemesi, uzmanlık (teknik bilgi), tecrübe, sosyal uyumsuzluk, saldırganlık, disiplinsizlik, yorgunluk gibi "kişiyeye ilişkin faktörler" ve zaman baskısı, yönetim desteği eksikliği, kalite yönetimi/denetçi eğitimi vb. gibi uygun olmayan personel eğitimi almak, kurumsal değişim / yeniden yapılanma ve motivasyon (ödül, ceza vb.) gibi "organizasyonla ilgili faktörler" şeklinde kategorize edilerek

AHS modeli geliştirilmiştir. “Super Decision” yazılımı yardımıyla elde edilen AHS modelinin hiyerarşik program görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.

Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu AHS modelinde yer alan havacılık sektöründe kalite müdüründen kaynaklı insan faktörü kriterlerinin normalize edilmiş ve limiti alınmış ağırlıkları Tablo 2’de verilmiştir.

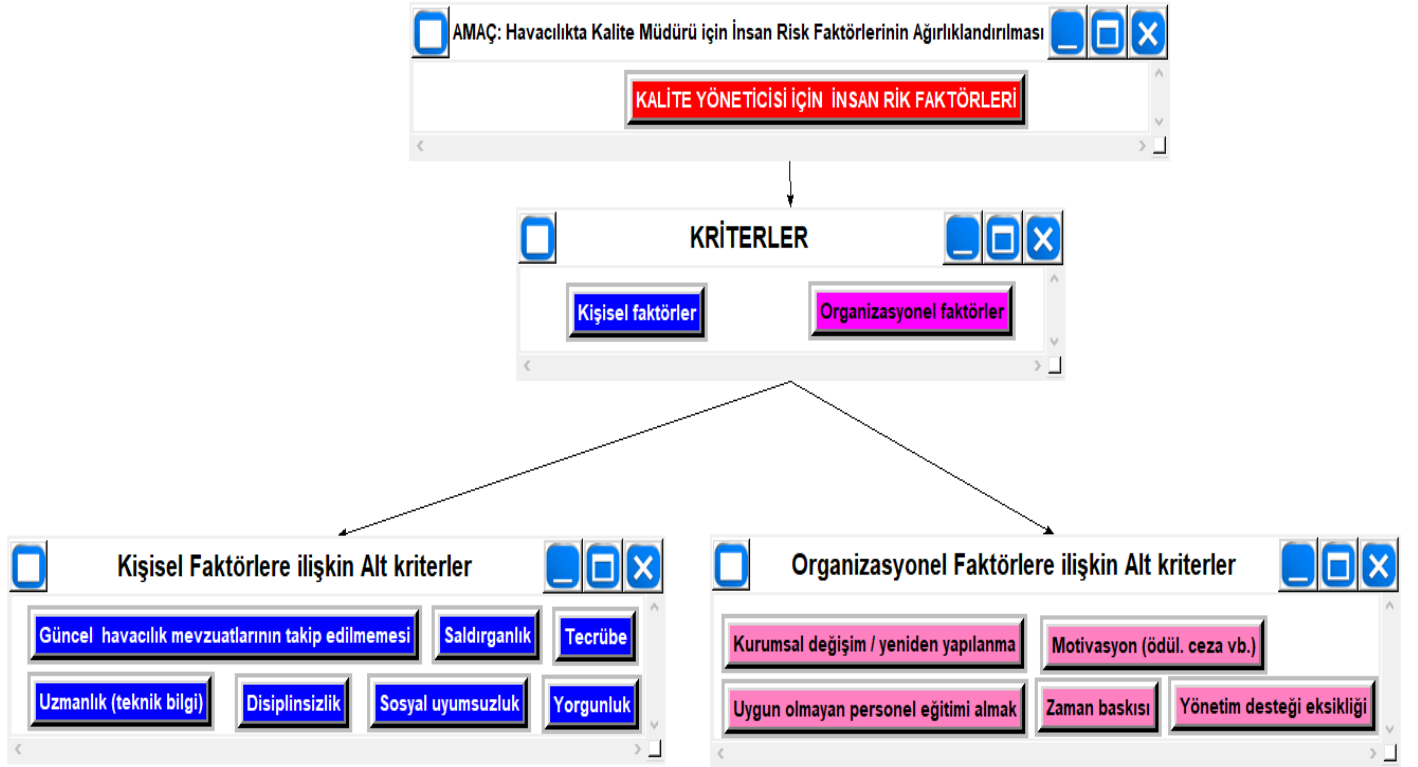
#### **4. Tartışma ve Sonuçlar**

AHS modeli yardımıyla havacılıkta kalite yöneticisi için araştırılan en önemli risk kriterleri Tablo 2’den de görüldüğü üzere sırasıyla zaman baskısı, yönetim desteği eksikliği ve güncel havacılık mevzuatlarının takip edilmemesidir. Zaman baskısı havacılıktaki tüm birimler için majör bir faktör olup zaman baskısı gibi bir riski yönetmek için kalite yöneticisi yaptığı işleri önceliklendirmesi, ekipteki arkadaşlarına işleri paylaşması, işleri bitirme için bir son tarih belirleme vb. göz önünde bulundurabilir. Kalite Yöneticisi havacılık işletmelerinde doğrudan genel müdüre bağlı olarak ve diğer birimlerden bağımsız olarak çalışmaktadır. Kurum içindeki denetlemelerde tespit edeceği havacılık mevzuatlarına uygun olmayan bulguların birim amirleri tarafından düzeltilmesinde yönetimin desteği çok kritiktir. Bu nedenle çalışmada yönetim desteğine ilişkin risk faktörü uçuş emniyeti ve havacılık operasyonlarının en etkin ve verimli şekilde yönetilmesinde dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri olduğu görülmüştür. En önemli 3. faktör güncel havacılık mevzuatlarının takip edilmemesi olarak belirlenmiştir. Kalite yöneticisi tarafından operasyonlarının havacılık mevzuatlarına uygunluğunun belirlenmesi için yapılan denetlemelerde gerek ulusal gerek uluslararası mevzuatlarının güncelliğini düzenli olarak takip edilmesi çok önemlidir aksi halde işletmenin sahip olduğu yetkiler riske girecektir. Böylece bu çalışmada geliştirilen AHP modeli sayesinde elde edilen sıralama da öncelikli riskler tespit edilerek üst yönetime riskleri yönetebilmek için proaktif bir yaklaşımla gerekli önlemleri alması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, havacılık endüstrisinde çalışan diğer çalışanlara örnek teşkil edebilir ve yöneticiler için birçok benzer riske karar vermede kullanılabilir. Bu çalışmada elde edilecek sonuçlar sayesinde kalite süreçlerindeki gelişimin, iyileşmenin ve kalite süreçlerinin kurumun stratejik amaçlarının başarılmasına katkısının büyük olması amaçlanmıştır.

AHS modelinin sonuçları ile risk değerlendirmelerinin risk faktörlerini doğru tespit ederek ve sıralayarak gerçekleştirildiğinde ilgili havacılık kuruluşlarına rehberlik edeceği amaçlanmaktadır. Bu çalışma, kuruluşlarda risk azaltma planlarını yapacak üst yönetim düzeyini dikkate alarak yürütülecektir. Kalite biriminde insan faktörü riskinin, özellikle de kalite yöneticisi ile ilgili olarak havalimanının veya diğer havacılık operasyonlarının kalite sürdürülebilirliği için yönetilmesi esastır. Bununla birlikte Projede geliştirilen AHS modeliyle hem literatüre ve hem de insan faktörleri alanına katkıda bulunacağı hedeflenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, havacılık endüstrisinde çalışan diğer çalışanlara örnek teşkil edebilir ve yöneticiler için birçok benzer riske karar vermede kullanılabilir.

#### **5. Teşekkür**

Bu çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (Proje Numarası: 19ADP116) tarafından desteklenmiştir.



Şekil 1. AHS Modelinin Hiyerarşik Görüntüsü

Tablo 2. Havacılık Sektöründe Kalite Müdüründen Kaynaklı İnsan Faktörü Kriterlerinin Ağırlıkları

Kriter Adı	Kümeye göre Normalize edilmiş ağırlıklar	Limiti alınmış ağırlıklar
Kişisel faktörler	0.50000	0.250000
Organizasyonel faktörler	0.50000	0.250000
KALİTE YÖNETİCİSİ İÇİN İNSAN RİK FAKTÖRLERİ	0.00000	0.000000
Yorgunluk	0.21992	0.054981
Güncel havacılık mevzuatlarının takip edilmemesi	0.22829	0.057073
Disiplinsizlik	0.18698	0.046744
Saldırganlık	0.11974	0.029935
Sosyal uyumsuzluk	0.07959	0.019897
Tecrübe	0.09846	0.024615
Uzmanlık (teknik bilgi)	0.06702	0.016755
Kurumsal değişim / yeniden yapılanma	0.09622	0.024055
Yönetim desteği eksikliği	0.24535	0.061337
Motivasyon (ödül. ceza vb.)	0.15797	0.039492
Uygun olmayan personel eğitimi almak	0.09766	0.024415
Zaman baskısı	0.40280	0.100700

## Kaynakça

- [1] Joint Aviation Authorities (JAA), (2013). Quality management – principles & practice in an aviation environment..
- [2] ISO 9000:2005, Clause 3.2.11.
- [3] Dağdeviren, M., Akay, D. ve Kurt, M. (2004). İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması. Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19 (2), 131–138
- [4] Saaty, T.(1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill International Book Company, USA.
- [5] Topçu, Y.İ. (2007). Karar verme ve destek sistemleri. 15 Temmuz 2009, <http://www.isl.itu.edu.tr/ya/KDS2.ppt>.
- [6] Çanlı, H. ve Kandakoğlu, A. (2007). Hava gücü mukayesesi için bulanık AHP modeli. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3 (1), 71–82.
- [7] Oktal, H. ve Onrat, A. (2020). Analytic Hierarchy Process–Based Selection Method for Airline Pilot Candidates, The International Journal of Aerospace Psychology, 30:3-4, 268-281, DOI: [10.1080/24721840.2020.1816469](https://doi.org/10.1080/24721840.2020.1816469)
- [8] Badri, M. A. (1999). Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem, International Journal of Production Economics, 62(3), 237- 248, 1999.
- [9] Myint, S. ve Tabucanon, M.T., (1994). A multiplecriteria approach to machine selection for flexible manufacturing systems, International Journal of Production Economics, 33(1-3), 121-131.
- [10] Albayrak, Y. E. ve Erkut, H. (2005), Banka Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Süreç Yaklaşımı, İTÜ Dergisi, Cilt :4, Sayı:6, ss 47-58.
- [11] Ramanathan, R. ve Ganesh, L. S. (1995). Energy alternatives for lighting in households: an evaluation using an integrated goal programming AHP model, Energy, 20(1), 63-72.
- [12] Özyörük, Y. ve Özcan, E. C. (2008). Analitik Hiyerarşi Sürecinin Tedarikçi Seçiminde Uygulanması: Otomotiv Sektöründen Bir Örnek. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13 (1 , 133-144 . <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduibfd/issue/20834/223215>
- [13] Badri, M. A. (2001). A combined AHP–GP model for quality control systems, International Journal of Production Economics, 72(1), 27-40.
- [14] Ömürbek, N., Üstündağ, S. & Helvacıoğlu, Ö. C. (2013). Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesinde Bir Uygulama. Yönetim Bilimleri Dergisi, 11 (21), 101-116. <https://dergipark.org.tr/en/pub/comuybd/issue/4102/54042>



# Optimization of Parameters Affecting Anti-Icing Performance on Wing Leading Edge of Aircraft

Hayati Kadir Pazarlıoğlu<sup>1\*</sup>, Ahmet Ümit Tepe<sup>2</sup>, Kamil Arslan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9365-9431)

[hayatikadirpazarlioglu@gmail.com](mailto:hayatikadirpazarlioglu@gmail.com)

<sup>2</sup>Sinop University, Department of Energy Systems Engineering, Sinop, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7626-6348)

[kamilarslan@karabuk.edu.tr](mailto:kamilarslan@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup>Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1216-6812)

[autepe@sinop.edu.tr](mailto:autepe@sinop.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1062495)

**ATIF/REFERENCE:** Pazarlıoğlu, H. K., Tepe, A. Ü. & Arslan, K. (2022). Optimization of Parameters Affecting Anti-Icing Performance on Wing Leading Edge of Aircraft. *European Journal of Science and Technology*, (34), 19-27.

## Abstract

In this article, one of the hazardous trouble in-flight situations called ice accumulation on wing leading edge of aircraft has been numerically investigated. While the target surface is kept constant temperature at  $T_w=263.15 K$ , the inlet temperature is taken constant at  $T_{in}=473.15 K$  and it enters to the system with  $\dot{m} = 0.004 kg/s$ . The investigation starts with validation of numerical study utilizing airfoil type of NACA 0015 using constant piccolo tube dimensions, jet angle, distance among jets and distance between jet-to-target positions. The second and third stages are to analyze the anti-icing performance of changing positions of piccolo tube on X ( $4 \leq H/d \leq 8$ ) and Y ( $-1.25 \leq L/d \leq 1.25$ ) directions under different jet angles ( $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ ). The fourth stage is to determine the optimum  $H/d$ ,  $L/d$ , and  $\alpha$  ratios to increase anti-icing performance with maximum convective heat transfer and minimum pressure drop condition. The optimization study has been done using Response Surface Methodology (RSM). Finally, while the best anti-icing performance proposed design is achieved using  $\alpha=90^\circ$ ,  $L/d=0.0$ , and  $H/d=4.0$ , the optimization results show that the  $\alpha$ ,  $L/d$ , and  $H/d$  values should be 55.45°, 0.0, and 4.0, respectively to achieve maximum heat transfer rate with minimum pressure drop value.

**Keywords:** Optimization, Anti-Icing, NACA 0015, Response Surface Methodology (RSM), CFD.

## Uçağın Kanat Hücum Kenarında Buzdan Arındırma Performansını Etkileyen Parameterlerin Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada, uçuş esnasında tehlikeli durumlardan biri olan uçak kanat hücum kenarı üzerinde buz birikimi sayısal olarak araştırılmıştır. Hedef yüzey  $T_w=263.15 K$  derecede sabit tutulurken, giriş sıcaklığı  $T_{in}=473.15 K$  olarak  $\dot{m} = 0.004 kg/s$  ile sisteme iletilmiştir. Araştırma NACA 0015 kullanarak sayısal çalışmanın sabit piccolo tüp ölçüleri, jet açısı ve jetler ve jet-hedef yüzey mesafeleri için doğrulama çalışması ile başlamıştır. İkinci ve üçüncü aşamada farklı jet açıları ( $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ ) altında X ( $4 \leq H/d \leq 8$ ) ve Y ( $-1.25 \leq L/d \leq 1.25$ ) yönünde değişen piccolo tüp pozisyonlarının buzdan arındırma performansını incelemektedir. Dördüncü aşama buzdan arındırma sisteminin performansını maksimum taşınım ısı transfer ve minimum basınç azalımı durumu ile arttırmak için optimum  $H/d$ ,  $L/d$  ve  $\alpha$  oranlarını belirlemektir. Optimizasyon çalışması Yüzey Cevap Metodolojisi kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak, teklif edilen tasarımda en yüksek buzdan arındırma performansı  $\alpha=90^\circ$ ,  $L/d=0.0$  ve  $H/d=4.0$  kullanılarak başarılırken, optimizasyon çalışmaları maksimum ısı transfer oranı ve minimum basınç düşüşü değerini başarmak için  $\alpha$ ,  $L/d$  ve  $H/d$  değerlerinin sırasıyla 55.45°, 0.0 ve 4.0 olması gerektiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, Buzdan Arındırma, NACA 0015, Yüzey Cevap Metodolojisi, HAD

\* Corresponding Author: [hayatikadirpazarlioglu@gmail.com](mailto:hayatikadirpazarlioglu@gmail.com)

## 1. Introduction

With the developing operating temperature of newly designed devices, the more cooling or heating performance is needed more than conventional devices. For this purpose, the active and passive heat transfer techniques have been taken into consideration to achieve more convective heat transfer rate. To obtain higher heat removal on the surfaces, the jet impingement method, which is one of the most important active heat transfer techniques, is often utilized in several industrial areas such as electronic equipment cooling [1], micro or nano-scale cooling [2], increase of effect of nanofluid's cooling performance [3], gas turbine blade cooling [4], and solar air heater's absorber surface cooling [5]. On the other hand, the use of air jet impingement method is usually preferred for anti-icing application of aircraft [6]. Besides, the anti-icing application can be applied for wind turbine's blade due to high velocity fluctuations on the leading edge of it [7]. The ice shape, mass, droplet shape, and prediction of accumulation of it using numerical methods are the most important parameters in flight industries to minimize in-flight accidents [8]. Özgen and Cambek [9] studied to determine ice shape and mass on NACA profile using extended Messinger model. The ice shape has been investigated using single and two-element configurations. While lower liquid water content with low temperature leads to occurring rime ice shape, higher liquid water content with higher temperature causes to creating glaze ice forms. It is also reported that two-element configuration has presented well prediction in comparison with single-layer configuration. Myers [10] investigated ice accumulation on the surface impacting supercooled droplets. Single layer theoretical model is used to predict icing situation. The extended Messinger model has been used to predict ice growth. It is reported that the extended Messinger model showed better prediction than convectional Messinger model. Mingione and Brandi [11] presented performance of Italian Icing Computational Environment Code (I<sup>2</sup>CE) coded by CIRA. The code is tried on single and multi-element wings. It is determined that the I<sup>2</sup>CE developed by Italian researchers can predict ice growth. Myers et al. [12] performed a theoretical study to predict ice growth occurred due to impact of droplet trajectories to the surface. While the rime ice accumulations are solved using mass balance, the glaze ice accumulations are determined using mass and energy balances. To predict ice growth, ICECREMO code has been developed. The program presented very well approximation for ice growth. Cebeci et al. [13] discussed ice shapes, accumulations and their effects on the aircraft's wing in terms of lift and drag coefficients. The interactive boundary-layer method has been developed by Cebeci to predict very well ice accumulation happened in multiple stagnation points. When the developed code compared to LEWICE code used previously in ice prediction application, the Cebeci's code can estimate ice shape and performance of iced aircraft wing well than LEWICE code. Ayan and Özgen [14] developed a hand-made code to predict solid and mixed phase icing situation occurred on the aircraft wing in-flight condition. The numerical code developed by researchers is checked with experimental data for both solid and mixed conditions. It is conducted that the code developed can estimate icing situation satisfactorily.

In the present study, the ice accumulation on the NACA 0015 at 263.15 K (-10°C) has been minimized using different configurations. The findings are elucidated in terms of average Nusselt number, local Nusselt number, and pressure drop

associated with anti-icing performance of newly proposed design. Also, the flow characteristics taken place in NACA 0015 have been assessed using different contours.

## 2. Material and Method

The model is constructed two different sections: curved surface of NACA 0015 and piccolo tube. The configurations of NACA 0015 can be seen in Fig. 1. The length of NACA 0015 on X direction is kept as 300 mm. The maximum height of NACA 0015 on Y direction is applied as 150 mm. The piccolo tube position between target surface and it on X direction has been changed with dimensionless parameters ( $4 \leq H/d \leq 8$ ). Then, the piccolo tube position on Y direction has been arranged with dimensionless parameters ( $-1.25 \leq L/d \leq 1.25$ ). Also, the circular jet has been designed with different jet angles ( $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ ). The jet diameter is kept as 4 mm. The outlet hole diameter is considered as 3 mm. The piccolo tube diameter ( $D_{piccolo}$ ) is selected as 36 mm. The mass flux rate at inlet section is taken constant as  $\dot{m} = 0.004$  kg/s. The fluid domain and boundary conditions can be seen in Fig. 3a.

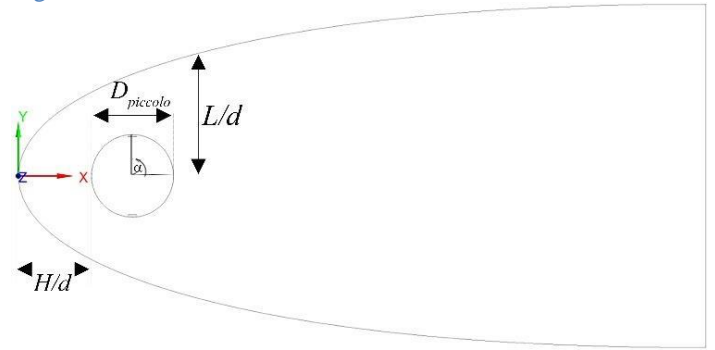


Fig. 1. Fundamental parameters of present study.

The computational model has been solved using ANSYS Fluent 2020R2 software. The RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) equations has been solved iteratively. The governing equations used in these calculations are showed as following:

Continuity equation [15]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentum equation [15]:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + i \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j}) \quad (2)$$

Energy equation [15]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ u_i (\rho E + Pr) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( k + \frac{C \mu_i}{Pr_i} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + \mu_i (\tau_{ij})_{eff} \quad (3)$$

Then, to explain anti-icing performance of proposed design, the dimensionless numbers are utilized in this study as below:

Reynolds number and mass flux equations [15]:

$$Re = \frac{\rho V_{avg} D_h}{\mu} \quad (4)$$

where,  $\rho$  defines density of working fluid [ $kg/m^3$ ],  $V_{avg}$  defines average velocity of working fluid [ $m/s$ ],  $D_h$  explains hydraulic diameter of circular jet hole [ $m$ ],  $\mu$  expresses dynamic viscosity value of working fluid [ $Pa.s$ ].

Nusselt number equation [15]:

$$Nu = \frac{\bar{h} D_h}{k} \quad (5)$$

where,  $\bar{h}$  defines average convection heat transfer coefficient [ $W/m^2K$ ],  $k$  is the thermal conductivity of working fluid [ $W/mK$ ].

The turbulent intensity is defined as follow [16]:

$$I = 0.16 Re^{(-1/8)} \quad (6)$$

Also, the symmetric NACA profile can be designed in 2D design as follow [17]:

$$y_t = 5t \left[ \begin{array}{l} 0.2969\sqrt{x} - 0.1260x - 0.3516x^2 \\ +0.2843x^3 - 0.1015x^4 \end{array} \right] \quad (7)$$

where,  $t$  describes height of NACA profile [ $m$ ],  $x$  defines location of X direction [ $m$ ].

Once the 2D model of NACA 0015 is created in Ansys Design modeler, the model has been converted to the 3D model. This model can be seen in Fig. 3a.

The working fluid is blown to the system from piccolo tube at  $T_{inlet}=473.15$  K. The constant surface temperature is also addicted to the target surface at  $T_w=263.15$  K. No-slip boundary conditions are applied all the domain wall, but adiabatic boundary conditions are also applied for piccolo tube, periodic walls, and rear wall of domain. The pressure outlet condition is applied for outlet section. The mass flux inlet boundary condition is also defined at inlet as  $\dot{m} = 0.004$  kg/s. The pressure-velocity scheme is selected as COUPLED method. Then the equations are updated as second-order upwind scheme. The residual values are reached until  $10^{-4}$  as a convergency criteria. The thermo-physical properties of working fluid can be seen in Table 1.

**Table 1.** Thermo-physical properties of working fluid at  $T_{inlet}=473.15$  K.

Fluid	Density [ $kg / m^3$ ]	Dynamic Viscosity [ $Pa.s$ ]	Specific Heat [ $J / kgK$ ]	Thermal Conductivity [ $W / mK$ ]
Air	0.7459	2.58e-05	1023	0.03779

On the other hand, the mesh structure is the most important issue on finite volume method application. Nevertheless, the denser mesh does not good every time so the denser mesh type should be applied to the important zone in the analyses. Besides, doing denser mesh structure in important zones apart from other zones provide less mesh element number than doing denser mesh

type everywhere. For this way, the computational time can be decreased. To decide feasible mesh structure and mesh element number, several numerical analyses have been done.

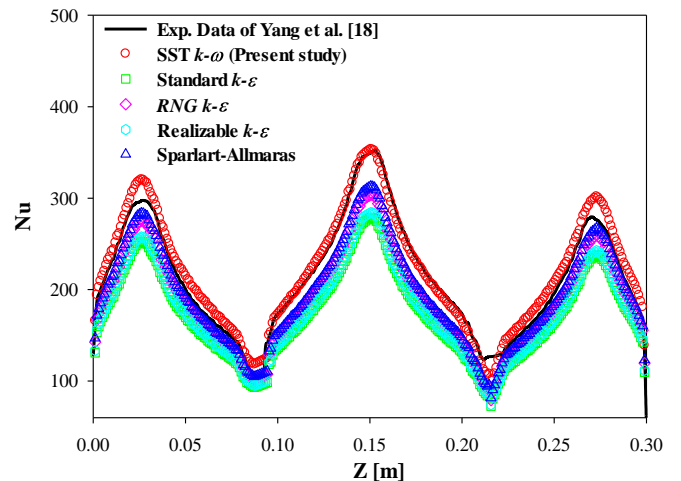
As seen from Table 2, there is not any considerable changing between M3 and M4 in terms of average Nusselt number value. The  $y^+$  value is the most important value in numerical calculations to well approximate boundaries of fluid domain. In this study, since the SST  $k-\omega$  with low-Re correction wall model has been used, the  $y^+$  value should be lower than 1. For this purpose, the value is kept lower than 1. Therefore, the M3 mesh type has been chosen for optimum mesh number.

**Table 2.** Mesh independency study.

	M1	M2	M3	M4
Elements No.	962584	1521455	4121777	5182744
Nu	178.27	210.24	262.45	270.55
$y^+$	1.02	0.98	0.87	0.87

As can be examined in Fig. 3b, the denser mesh type is conducted to jet flow way, jet impingement zone, and outlet section of NACA 0015.

Once determining the optimum mesh structure, the optimum turbulence model should be spotted to achieve better validation and findings. To determine optimum situation and validation parameters, experimental study of Yang et al. [18] is created on ANSYS Fluent. In their study, the three circular jet holes placed on piccolo tube has been used and the inlet temperature is kept as 300 K. The constant and uniform heat flux ( $1500$   $W/m^2$ ) is applied to the NACA 0015's surface. The Reynolds number is chosen as 47367. The piccolo tube position to the target surface ( $H/d$ ) is selected as 10 and the jet-to-jet distance ( $S/d$ ) is chosen as 25. In this section of the study, the five different turbulence model, which is the most preferred in the impinging jets and aerospace application, are tried to determine optimum turbulence model. While the standard and realizable  $k-\varepsilon$  models present the hugest error rate compared to experimental data, the RNG  $k-\varepsilon$  and Spalart-Allmaras turbulence models show better approximation in comparison with experimental data. Nonetheless, the SST  $k-\omega$  model consists of experimental data of Yang et al. (see Fig. 2.) The first and third jet is approximate a bit far, but middle jet catches it very well. The turbulence formulation of SST  $k-\omega$  can be seen in Menter's study [19].



**Fig. 2.** Literature validation and selection of turbulence model.

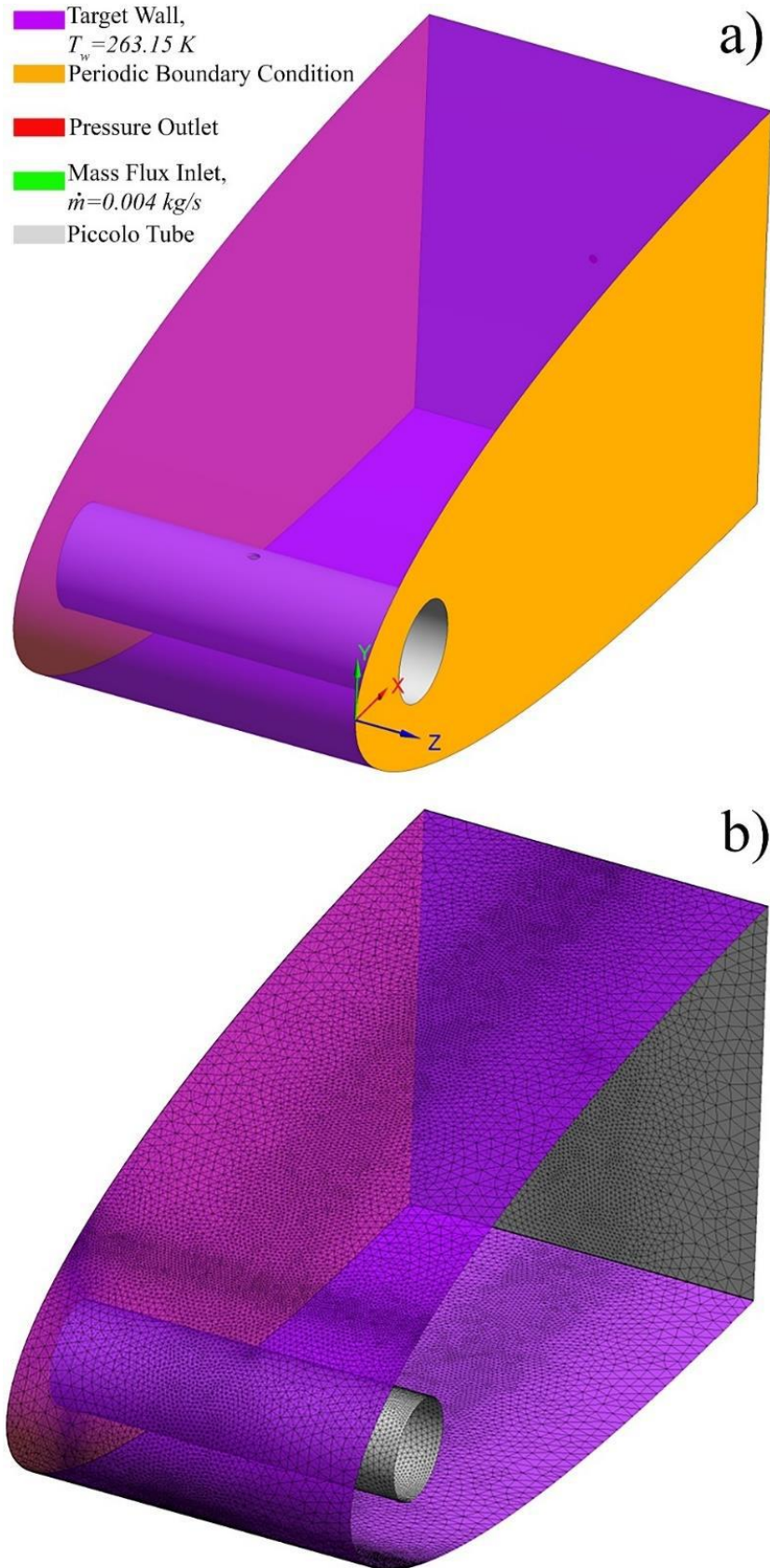


Fig. 3. NACA 0015 a) fluid domain with boundary conditions, b) mesh structure.



## 2.2. Response Surface Methodology (RSM)

In the engineering or industrial problems, finding of the best values does not sufficient results to decide the finding can be used in these problems. To handle this problem, the optimum parameters should be found to arrange better budget plan. In the literature, the RSM is generally used to determine optimum parameters investigated. Using RSM model provides multi-layer optimization compared to other optimization method. The easiest model used in RSM optimization can be presented as follow:

$$y = \beta_0 + \sum_i^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (8)$$

$$y = \beta_0 + \sum_i^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j \geq i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (9)$$

To understand quality of optimization and experiment values, the  $R^2$ ,  $Adj. R^2$ , and  $Pred. R^2$  is the essential values. The  $R^2$  value generally should be higher than 95% but the finding of it higher than 90% can be acceptable condition as said in the literature.

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{SS_{residual}}{SS_{residual} + SS_{model}} \right] \quad (10)$$

$$Adj.R^2 = 1 - \left[ \left( \frac{SS_{residual}}{df_{residual}} \right) / \left( \frac{SS_{residual} + SS_{model}}{df_{residual} + df_{model}} \right) \right] \quad (11)$$

$$Pred.R^2 = 1 - \left[ \frac{PRESS}{SS_{residual} + SS_{model}} \right] \quad (12)$$

Using of Analysis of Variance (ANOVA) shows the contribution of input parameters in terms of statistically. In this table, while the contribution ratio shows to effect of input parameters to understand which input parameter mor effective, the p-value presents again effective parameter statically. When the p-value lower than 0.005 for a parameter, it means that the parameters is the effective parameter statistically.

## 3. Results and Discussions

### 3.1. Anti-Icing Performance

The effect of changing of piccolo tube parameters is elucidated in terms of average Nusselt number value. The average Nusselt number values are presented in the range of  $H/d$  ratios. As seen in Fig. 4 (a, b, c), increase in average Nusselt number defines the enhancement in anti-icing performance of parameter analysed.

It is noted that the increase in  $H/d$  ratio leads to decrease in average Nusselt number value and so anti-icing performance of design. Therefore, the maximum anti-icing performance obtained using  $H/d=4$ . Then, doing a nonconcentric design for piccolo tube leads to decrease in average Nusselt number value. Hence, the changing of  $L/d$  ratios cause to decrease in that value. So, the maximum enhancement in anti-icing performance is obtained using  $L/d=0$  called concentric design. Also, the design of different  $\alpha$  shows the most effective changing in average Nusselt number. As seen, the increase in average Nusselt number is achieved until  $\alpha=90^\circ$ . Once the use of  $120^\circ$  and  $150^\circ$  cause decrease effect for every  $H/d$  and  $L/d$  ratios. So, the maximum average Nusselt number value is gotten using  $\alpha=90^\circ$ .

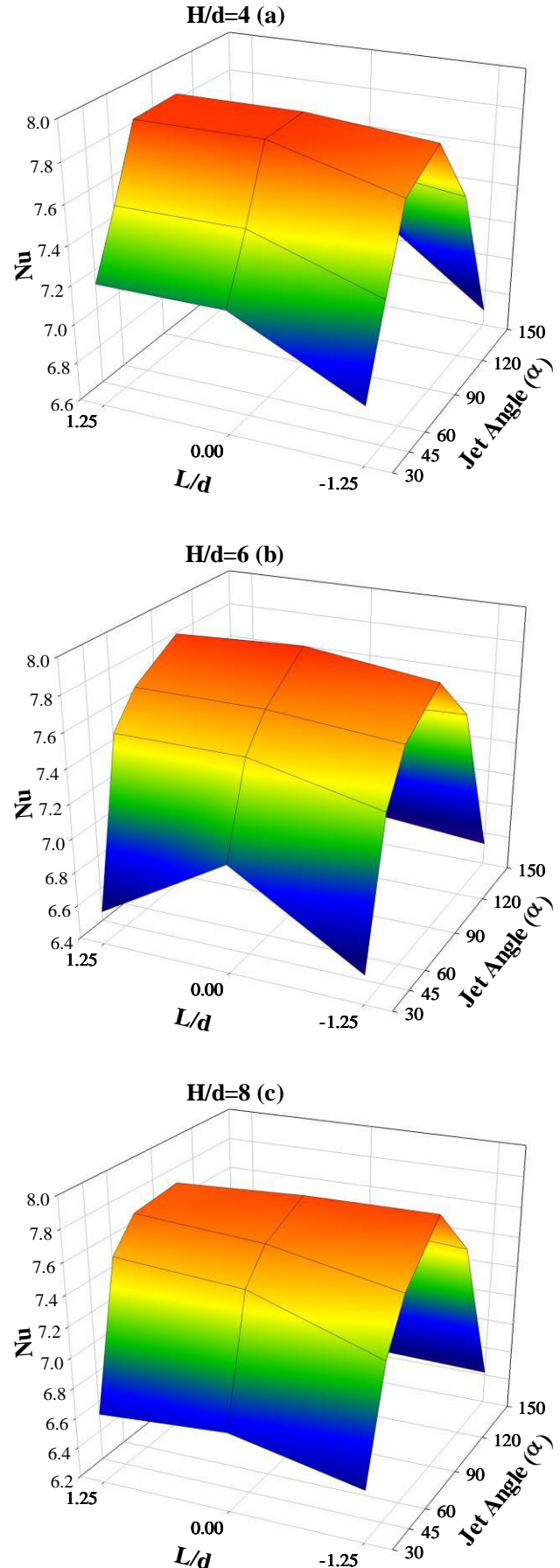


Fig. 4. Average Nusselt number value under different  $L/d$  and  $\alpha$  values for a)  $H/d=4$ , b)  $H/d=6$ , c)  $H/d=8$ .

The local Nusselt number distribution on chord-wise direction of NACA 0015 is presented in Fig. 5. The maximum and minimum local Nusselt number distribution is obtained using 90° and 150°, respectively. The use of  $\alpha$  between 30° and 90° leads to increase in local heat transfer significantly but after 90°, the local Nusselt number value decreasing dramatically.

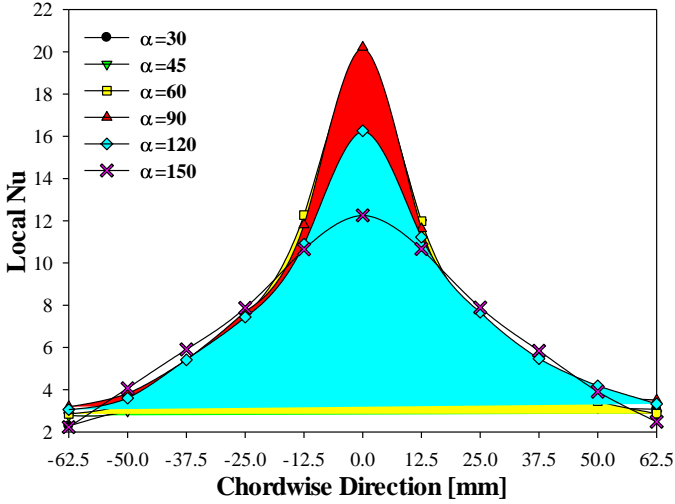


Fig. 5. Local Nusselt number distribution on chord-wise direction of NACA 0015 under different jet angle for  $H/d=4$  and  $L/d=0$ .

The pressure drop value is the most essential in an investigation due to effecting cost and design parameters drastically. It is realised that the closer piccolo tube position to target surface leads to increase in pressure drop value due to more impact power to the surface. So, the higher  $H/d$  ratio causes to decrease in pressure drop value. By the way, the  $L/d$  ratio does not affect to pressure drop value significantly. Generally, the use of  $L/d$  as -1.25 or 1.25 leads to more pressure drop due to closer to the upper or lower target surface of NACA 0015 compared to concentric one. The concentric position of piccolo tube presents good performance in terms of pressure drop value.

The pressure drop value is affected to much both  $L/d$  and  $\alpha$ . If it is spoken for  $L/d=0$  and  $H/d=4$ , the increase of  $\alpha$  leads to increase pressure drop. So, the highest pressure drop value is obtained using 150°. However, it is examined that increase in  $H/d$  ratio changes the results in terms of  $L/d$  ratio (Fig. 6).

The effect of  $\alpha$  with the use of  $H/d=4$  and  $L/d=0$  is presented in Fig. 7 in terms of temperature distribution in NACA 0015. The melting of icing accumulation on the surface is significantly enhanced until 90° but there is going on ice accumulation on the rear surface of NACA 0015 called run-back effect. With the use of 120° and 150°, the ice accumulation on the rear surface of NACA 0015 is hugely decreased but the icing on the wing leading edge is still going on due to jet positions. For this reason, the most effective one in terms of anti-icing application can be selected as 90° due to more icing defrosting performance both wing leading edge and rear surface of NACA 0015.

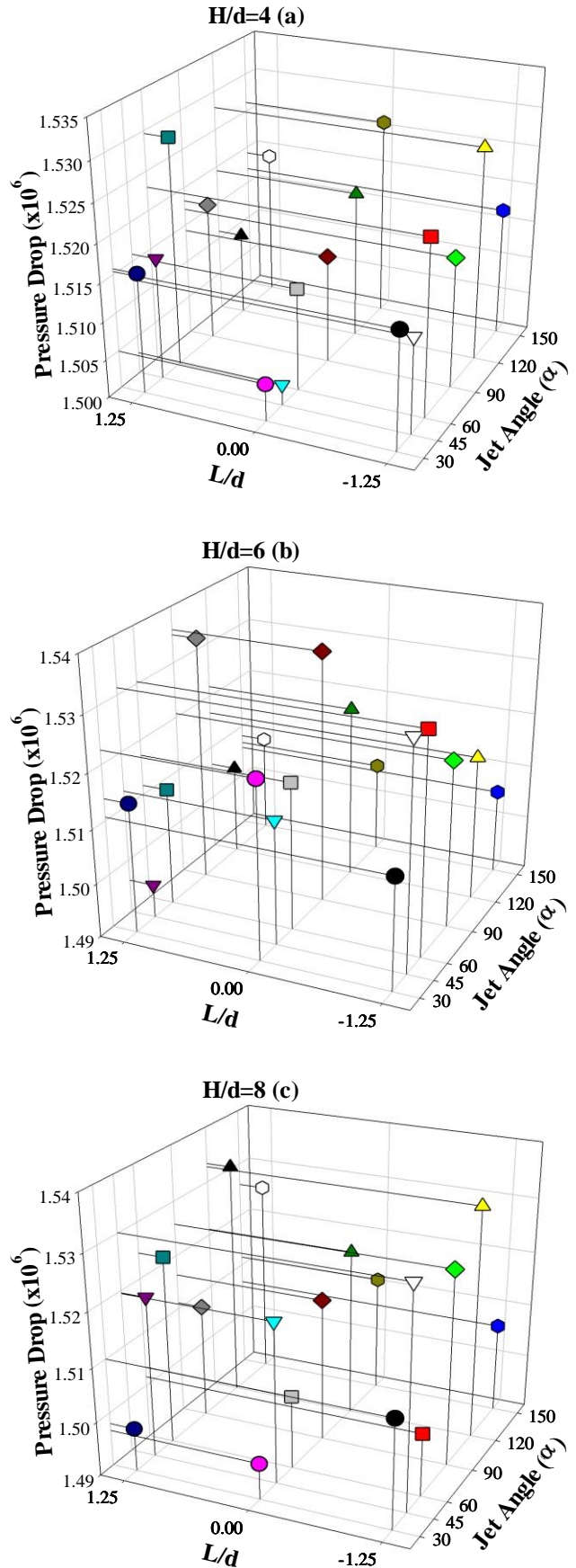


Fig. 6. Pressure drop value under different  $L/d$  and  $\alpha$  values for a)  $H/d=4$ , b)  $H/d=6$ , c)  $H/d=8$ .

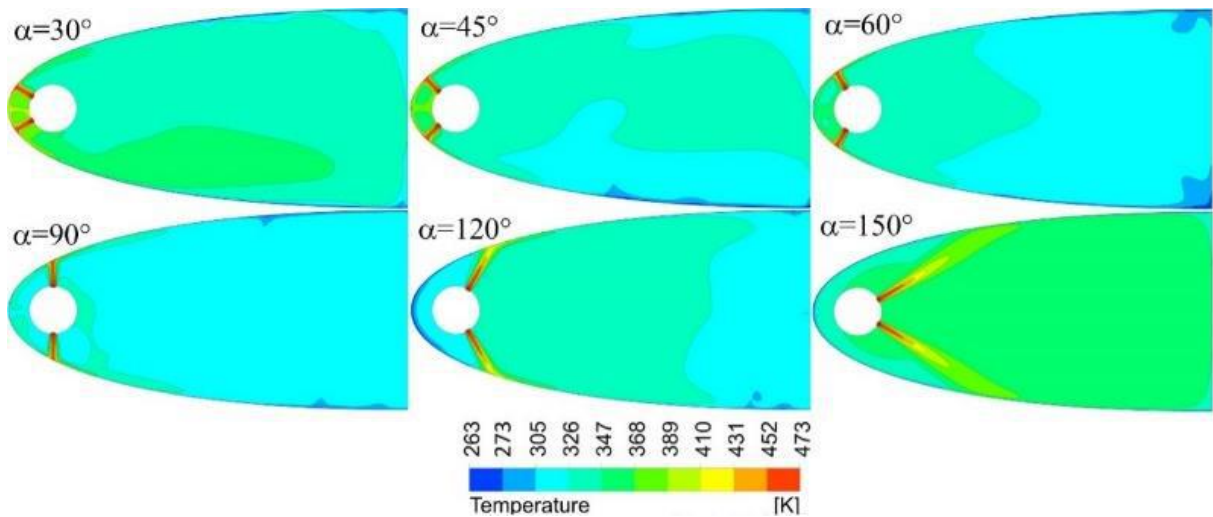


Fig. 7. Temperature distribution in NACA 0015 for different jet angles ( $\alpha$ ) at  $L/d=0$  and  $H/d=4$ .

### 3.2. Optimization Results

In this section of the study, the optimum  $H/d$ ,  $L/d$  and  $\alpha$  values is determined for circular jet hole. The determine optimum values for anti-icing application provides more effective use in terms of convective heat transfer.

The  $R^2$  value can be seen in Table 3 both average Nusselt number and pressure drop value. As seen from table,  $R^2$  values are higher than 95%, so the optimization is well planned, and the analyses is well done.

The ANOVA values can be seen in Table 5 both average Nusselt number and pressure drop value. While the highest contribution ratio in terms of average Nusselt number is obtained as jet angle by 5.13%, the highest contribution ratio in terms of Pressure drop is seen as jet angle by 89.32%. Also, while the lowest p-value is gotten as 0.007 in terms of average Nusselt number and it means that the jet angle is not effective parameter statistically in average Nusselt number, the lowest p-value is obtained as 0 in terms of Pressure drop and it means that the jet angle is effective parameter statistically in pressure drop.

Table 3. Model summary of average Nusselt number and pressure drop ( $\Delta P$ ) values in RSM.

Model Summary							
	<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq(adj)</i>	<i>PRESS</i>	<i>R-sq(pred)</i>	<i>AICc</i>	<i>BIC</i>
<i>Nu</i>	0.147586	96.12%	91.75%	0.878210	80.43%	33.60	-0.60
$\Delta P$	2595.85	96.49%	92.55%	381750016	75.16%	385.51	351.30

Finally, the optimization results are presented in Fig. 8. As seen from figure, the optimum  $\alpha$ ,  $L/d$  and  $H/d$  ratios is obtained as 55.45, 0.0, 4.0, respectively. The desirability value is gotten as  $D=0.7556$ .

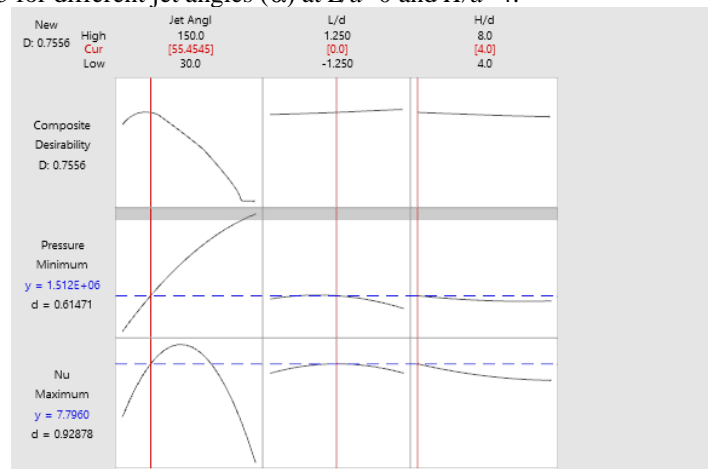


Fig. 8. Optimization chart of circular jet hole about effective parameter on anti-icing performance.

The verification study with optimized and analysed values can be seen in Table 4. In this study, when the error rate is being less than 10%, the results can be considered as acceptable. It is understood that the optimization study is constructed very well and so the error rate is low and under acceptable condition.

Table 4. Verification with optimization and analyses results.

$\alpha$	$L/d$	$H/d$	Value	<i>Nu</i>	$\Delta P$
55.45	0.0	4.0	Optimized	7.7960	$1.512 \times 10^6$
			Analyse	7.9121	$1.554 \times 10^6$
			Error (%)	1.49	2.27

The correlations obtained in RSM studies both average Nusselt number and Pressure drop value can be seen from following equations:

$$Nu = 6.556 + 0.05106\alpha - 0.019\frac{L}{d} - 0.2329\frac{H}{d} - 0.000329\alpha^2 - 0.0752\frac{L^2}{d} + 0.0116\frac{H^2}{d} - 0.00042\alpha\frac{L}{d} + 0.000874\alpha\frac{H}{d} + 0.0112\frac{L}{d}\frac{H}{d} \quad (13)$$

$$\Delta P = 1492826 + 504\alpha - 2161\frac{L}{d} - 947\frac{H}{d} - 1.098\alpha^2 - 1239\frac{L^2}{d} + 131\frac{H^2}{d} - 12.4\alpha\frac{L}{d} - 17.0\alpha\frac{H}{d} + 487\frac{L}{d}\frac{H}{d} \quad (14)$$

These equations can be utilized in range of  $30 \leq \alpha \leq 150$ ,  $1.25 \leq L/d \leq 1.25$ ,  $4 \leq H/d \leq 8$  at  $\dot{m}=0.004$  kg/s. When these formulations can be compared to numerical results, it is obtained

that the error rate both average Nusselt number and pressure drop is gotten as 1.04% and 0.097%, respectively.

**Table 5.** Analysis of Variance (ANOVA) values of average Nusselt number and pressure drop ( $\Delta P$ ) values in RSM.

**a) Analysis of Variance of average Nusselt Number**

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	4.31299	96.12%	4.31299	0.47922	22	0
Linear	3	0.27804	6.20%	0.30041	0.10014	4.6	0.038
Jet Angle	1	0.23038	5.13%	0.28105	0.28105	12.9	0.007
L/d	1	0.00608	0.14%	0.0016	0.0016	0.07	0.793
H/d	1	0.04158	0.93%	0.02139	0.02139	0.98	0.351
Square	3	3.95121	88.05%	3.20703	1.06901	49.08	0
Jet Angle*Jet Angle	1	3.80498	84.80%	3.0399	3.0399	139.56	0
L/d*L/d	1	0.14385	3.21%	0.03342	0.03342	1.53	0.251
H/d*H/d	1	0.00238	0.05%	0.00518	0.00518	0.24	0.639
2-Way Interaction	3	0.08373	1.87%	0.08373	0.02791	1.28	0.345
Jet Angle*L/d	1	0.03034	0.68%	0.00293	0.00293	0.13	0.723
Jet Angle*H/d	1	0.0501	1.12%	0.03182	0.03182	1.46	0.261
L/d*H/d	1	0.00329	0.07%	0.00329	0.00329	0.15	0.708
Error	8	0.17425	3.88%	0.17425	0.02178		
Total	17	4.48724	100.00%				

**b) Analysis of Variance of Pressure drop**

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	1482779994	96.49%	1482779994	164753333	24.45	0
Linear	3	1406358138	91.52%	1367628377	455876126	67.65	0
Jet Angle	1	1372613654	89.32%	1321530688	1321530688	196.12	0
L/d	1	2426401	0.16%	2145073	2145073	0.32	0.588
H/d	1	31318083	2.04%	36672228	36672228	5.44	0.048
Square	3	58621064	3.81%	47389265	15796422	2.34	0.149
Jet Angle*Jet Angle	1	57415147	3.74%	33769538	33769538	5.01	0.056
L/d*L/d	1	1153476	0.08%	9069517	9069517	1.35	0.279
H/d*H/d	1	52441	0.00%	660003	660003	0.1	0.762
2-Way Interaction	3	17800792	1.16%	17800792	5933597	0.88	0.491
Jet Angle*L/d	1	4526256	0.29%	2482043	2482043	0.37	0.561
Jet Angle*H/d	1	7036989	0.46%	11983336	11983336	1.78	0.219
L/d*H/d	1	6237546	0.41%	6237546	6237546	0.93	0.364
Error	8	53907490	3.51%	53907490	6738436		
Total	17	1536687484	100.00%				

**4. Conclusions**

In the present study, the optimization of parameters affecting anti-icing performance on wing leading edge of aircraft is numerically studied. The following findings is found out from this study:

- Changing of  $L/d$  ratio relatively affects average Nusselt number and pressure drop value and the best position of  $L/d$  is obtained as  $L/d=0.0$  called concentric position.
- Increase in  $H/d$  ratio decreases average Nusselt number. The best one can be expressed as  $H/d=4.0$ , since it

provides the highest average Nusselt number as well as pressure drop.

- The changing in  $\alpha$  cause to both increase and decrease in average Nusselt number. The average Nusselt number can be increased until  $\alpha=90^\circ$ .
- The optimum  $\alpha$ ,  $L/d$  and  $H/d$  value is obtained by RSM as 55.45, 0.0, and 4.0, respectively.
- The correlations developed by RSM establish good agreement with numerical results by 1.04% and 0.097% for average Nusselt number and pressure drop, respectively.

## References

- [1] L. Yi, H. Hu, C. li, Y. Zhang, S. Yang, M. Pan, Experimental investigation on enhanced flow and heat transfer performance of micro-jet impingement vapor chamber for high power electronics, *Int. J. Therm. Sci.* 173 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107380>.
- [2] F. Selimefendigil, H.F. Öztop, Nanojet impingement cooling of an isothermal surface in a partially porous medium under the impact of an inclined magnetic field, *J. Therm. Anal. Calorim.* 141 (2020) 1875–1888. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08839-9>.
- [3] R. Ekiciler, M.S.A. Çetinkaya, K. Arslan, Effect of shape of nanoparticle on heat transfer and entropy generation of nanofluid-jet impingement cooling, *Int. J. Green Energy.* 17 (2020) 555–567. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1739692>.
- [4] A.Ü. Tepe, Numerical investigation of a novel jet hole design for staggered array jet impingement cooling on a semicircular concave surface, *Int. J. Therm. Sci.* 162 (2021) 106792. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106792>.
- [5] H.K. Pazarlıoğlu, R. Ekiciler, K. Arslan, Numerical Analysis of Effect of Impinging Jet on Cooling of Solar Air Heater with Longitudinal Fins, *Heat Transf. Res.* 52 (2021). <https://doi.org/10.1615/heattransres.2021037251>.
- [6] E. Ayan, S. Özgen, In-Flight Mixed Phase Ice Accretion Prediction on Finite Wings with TAICE-3D, (2017) 3–10. <https://doi.org/10.13009/EUCASS2017-339>.
- [7] O. Yirtici, K. Cengiz, S. Ozgen, I.H. Tuncer, Aerodynamic validation studies on the performance analysis of iced wind turbine blades, *Comput. Fluids.* 192 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2019.104271>.
- [8] T. Hikmet Karakoc, M. Baris Ozerdem, M. Ziya Sogut, C.O. Colpan, O. Altuntas, E. Açikkalp, In-Flight Icing Simulations on Airfoils, *Sustain. Aviat. Energy Environ. Issues.* (2016) 279–289. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-34181-1>.
- [9] S. Özgen, M. Canİbek, Ice accretion simulation on multi-element airfoils using extended Messinger model, *Heat Mass Transf. Und Stoffuebertragung.* 45 (2009) 305–322. <https://doi.org/10.1007/s00231-008-0430-4>.
- [10] T.G. Myers, Extension to the Messinger model for aircraft icing, *AIAA J.* 39 (2001) 211–218. <https://doi.org/10.2514/2.1312>.
- [11] G. Mingione, V. Brandi, B. Esposito, Ice accretion prediction on multi-element airfoils, *35th Aerosp. Sci. Meet. Exhib.* 35 (1997). <https://doi.org/10.2514/6.1997-177>.
- [12] T.G. Myers, J.P.F. Charpin, C.P. Thompson, Slowly accreting ice due to supercooled water impacting on a cold surface, *Phys. Fluids.* 14 (2002) 240–256. <https://doi.org/10.1063/1.1416186>.
- [13] T. Cebeci, H.H. Chen, N. Alemdaroglu, Fortified LEWICE with viscous effects, *28th Aerosp. Sci. Meet.* 1990. 28 (1990) 564–571. <https://doi.org/10.2514/6.1990-754>.
- [14] E. Ayan, S. Özgen, In-flight ice accretion simulation in mixed-phase conditions, *Aeronaut. J.* 122 (2018) 409–441. <https://doi.org/10.1017/aer.2017.127>.
- [15] L.M. Jiji, *Heat convection: Second edition*, Heat Convect. Second Ed. (2009) 1–543. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02971-4>.
- [16] N.İ.H. ALGBURI, H.K. PAZARLIOĞLU, K. ARSLAN, Effect of Pitch Ratio and Diagonal Length of Pin Fin of Heat Sink on Convective Heat Transfer for Turbulent Flow Condition, *Eur. J. Sci. Technol.* (2021) 643–652. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1009980>.
- [17] Aerospaceweb.org | Ask Us - NACA Airfoil Series, (n.d.). <http://www.aerospaceweb.org/question/airfoils/q0041.shtml> (accessed November 28, 2021).
- [18] B. Yang, S. Chang, H. Wu, Y. Zhao, M. Leng, Experimental and numerical investigation of heat transfer in an array of impingement jets on a concave surface, *Appl. Therm. Eng.* 127 (2017) 473–483. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.190>.
- [19] F.R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry, Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model, (2003).



# The Effect of Indium Addition on the Corrosion Kinetics of Sn–3Ag–0.5Cu Alloy in HCl Acid Solution

Serkan Oguz<sup>1\*</sup>, Ahmet Mustafa Erer<sup>2</sup>, Yunus Türen<sup>3</sup>, Hayrettin Ahlatçı<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük University, Faculty of Science, Department of Physics, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6315-8970), [soguz78@gmail.com](mailto:soguz78@gmail.com)

<sup>2</sup> Karabük University, Faculty of Science, Department of Physics, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4358-4010), [mustafaer@karabuk.edu.tr](mailto:mustafaer@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup> Karabük University, Faculty of Metallurgical and Materials Engineering, Department of Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8755-1865), [ytüren@karabuk.edu.tr](mailto:ytüren@karabuk.edu.tr)

<sup>4</sup> Karabük University, Faculty of Metallurgical and Materials Engineering, Department of Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6766-4974), [hahlatci@karabuk.edu.tr](mailto:hahlatci@karabuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1062757)

**ATIF/REFERENCE:** Oguz, S., Erer, A. M., Türen, Y. & Ahlatçı, H. (2022). The Effect of Indium Addition on the Corrosion Kinetics of Sn–3Ag–0.5Cu Alloy in HCl Acid Solution. *European Journal of Science and Technology*, (34), 28-33.

## Abstract

The aim of this study is to investigate the corrosion behavior of potentiodynamic polarization indium added Sn-3Ag-0.5Cu alloy in 1M HCl solution. SEM and EDX analyses were examined the properties of the alloy samples. Polarization analyses showed by the addition of 0.5, 1, and 2 wt.% indium to the SAC305 solder alloy does not lead to notably different corrosion potentials. The pseudo-passivation region is observed instead of a true passivation region that currents are nearly constant. By the scanning interval, this pseudo-passive region does not have a reactivation point. On the other hand, corrosion rates follow a pattern in which 0.5% wt of indium substitution of silver causes the corrosion rate to decrease. However, with further silver replacement by indium, the rate of corrosion increases. According to the results of microstructure analysis, the formation of corrosion products and the existence of voids and porous structures limit their stability.

**Keywords:** In-addition, corrosion, microstructure, Pb-free solder alloy, HCl.

## HCl Asit Çözeltisinde Sn-3Ag-0.5Cu Alaşımının Korozyon Kinetiği Üzerine İndiyum İlavesinin Etkisi

### Öz

Bu çalışmanın amacı potansiyodinamik polarizasyon indiyum ilaveli Sn-3Ag-0.5Cu alaşımının 1M HCl çözeltisinde korozyon davranışını araştırmaktır. Alaşım numunelerinin özellikleri SEM ve EDX analizleri ile incelenmiştir. SAC305 lehim alaşımına ağırlıkça % 0,5, 1 ve 2 ağırlıkça indiyum eklenmesiyle gösterilen polarizasyon analizleri, belirgin şekilde farklı korozyon potansiyellerine yol açmaz. Akımların neredeyse sabit olduğu gerçek bir pasivasyon bölgesi yerine yalancı pasifleştirme bölgesi gözlemlenir. Tarama aralığına göre, bu sözde pasif bölge bir yeniden etkinleştirme noktasına sahip değildir. Öte yandan, korozyon hızları, gümüşün ağırlıkça %0.5'lik indiyum ikamesinin korozyon hızının düşmesine neden olduğu bir model izler. Bununla birlikte, gümüşün indiyumla daha fazla değiştirilmesiyle korozyon hızı artar. Mikroyapı analiz sonuçlarına göre korozyon ürünlerinin oluşması ve kararlılıklarına sınırlar getiren boşluk ve gözenekli yapıların varlığını ortaya koyar.

**Anahtar Kelimeler:** In-ilavesi, korozyon, mikroyapı, kurşunsuz lehim alaşımı, HCl.

\* Corresponding Author: [soguz78@gmail.com](mailto:soguz78@gmail.com)

## 1. Introduction

Soldering technology is one of the most affected areas in science and technology-based industries, especially in electronics, with rapid growth (Jumali, 2018). Undertaking the task of an environment that provides the distribution of the heat produced by the semiconductor conductors, soldering technology is used to provide thermal, electrical, and mechanical continuity in electronic devices (Abtey, 2000). In the electrical and electrical industry, lead-based solder alloys have been used on electronic devices for a long time (Wang, 2015). The widely used solder alloy is Sn-Pb alloy due to its good wettability with copper pad, easy handling, and other advantages (Han, 2020). With the development of alternative lead-free solder alloys within the scope of RoHS and WEEE directives that prohibit the use of lead-based solder in terms of environment and human health, a significant improvement has been achieved in new soldering technology (Jumali, 2018). As an alternative to the traditional Sn-Pb solder alloy, the new lead-free solder alloys should have almost similar properties. Sn-Ag (Kang, 2015), Sn-Cu (Maeshima, 2016), Sn-Bi (Silva, 2015), Sn-Zn (Nazeri, 2014), Sn-Zn-Bi (El-Daly, 2009), Sn-Zn-Ag (Luo, 2012), and Sn-Ag-Cu (SAC) (Hah, 2019) such as diverse types of lead-free solder alloys have been developed. The most preferred solder alloy is the SAC family and has been widely used due to its optimized performance in terms of wetting properties (Xu, 2018; Yang, 2016; Yoon, 2009). In addition, it has been found that SAC solder alloys have some disadvantages such as high melting temperature, thick inter-metallic compounds, and this may cause problems in solder joints (Sayyadi, 2018; El-Daly, 2012; Han, 2020). The most important factor with SAC family solder alloys is the formation of undesirable intermetallic compounds (IMCs) such as  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  and  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . These IMCs layers adversely solder alloys affect corrosion resistance and mechanical properties (Kaushik, 2018).

Considering the mobility of electronic devices, it may be faced with factors such as atmospheric conditions, humidity, properties of the physical environment, chemicals containing hydroxide and chloride. Although many measures have been taken for the corrosion resistance of solder joints under normal operating conditions, full protection from the aggressive environment has not always been achieved (Liu, 2015a; Liu, 2015b). Proper product life can be predicted if the corrosion behavior of Pb-free solders is properly investigated and understood (Nazeri, 2019). Therefore, information about the microstructural changes, morphology, and growth behavior of the layers of IMCs and their effects on corrosion resistance is crucial to understanding the reliability of SAC-based soldering (Kaushik, 2018). Numerous studies have been conducted on the corrosion behavior of SAC305 solder alloy in solutions (such as NaCl solution) (Mohanty, 2008; Rosalbino, 2009; Osorio, 2011). However, Solder alloys commonly used in electronic devices tend to undergo atmospheric corrosion. In weather conditions such as humidity, rain, and snow, abrasions occur on the solder surface (Zou, 2013; Liao, 2018). During the corrosion of the alloy depending on the environmental change, there may be situations such as the transfer process of the dissolved oxygen amount, the hydrolytic behavior of dissolved metal, and the process of accumulating corrosion products accordingly (Cheng, 2004). For the solder alloy to be considered reliable, it must have excellent corrosion resistance to certain electrolytes. For many metals and alloys, Hydrochloric acid (HCl) is considered one of the most corrosive solutions (Jumali, 2017). The junction points of solder alloys must exhibit

good corrosion behavior when are directly exposed to an aggressive environment in an industrial environment (Azis, 2020).

There is a marked lack of studies on lead-free solder alloys the electrochemical corrosion behavior in hydrochloric acid (HCl) solution. Thus, in this work, the effect of In on corrosion dynamics of Sn-(3-x)Ag-0.5Cu-xIn (where x=0, 0.5, 1, and 2) in 1 M HCl acid solution was investigated. Corrosion tests have been performed in HCl solution by potentiodynamic polarization and scanning electron microscope (SEM) coupled with energy dispersive X-ray analysis (EDX) were used to determine compositions of the corrosion products.

## 2. Experimental Procedure

We produced in our previous studies were investigated in corrosion properties of new low Ag-containing Sn-(3-x)Ag-0.5Cu-xIn quaternary Pb-free alloys (Erer, 2019), investigated in 1M HCL solution. Microstructure analyzes of SAC305 and SAC-xIn lead-free solder alloys were separately measured before and after corrosion, using the "CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM" and "Q150R ROTARY-PUMPED SPUTTER COATER / CARBON COATER" model SEM device. The samples of the working electrodes are polished with SiC papers with mesh size starting with 400 and ending with 1200. The polishing process is completed with an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  microparticle solution on a smooth cloth. Prepared samples are cleaned with alcohol and dried. To provide potentiostatic stabilization of the working electrode surfaces, open circuit monitoring is performed for 10 minutes before the polarization process. An Ag/AgCl reference electrode with a pair of graphite rods is used as the counter electrode, and samples are used as the working electrodes of the normal three-electrode setup. The acid solution, which is a very aggressive and corrosive medium, is used for solder alloy samples (1M HCl). Potentials between -1.0V - Ag/AgCl and +1.0V - Ag/AgCl are scanned to ensure possible passivation and depassivation sites are found. The scanning rate is 1 mV/s (Erer, 2021).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Solder Characterization

Fig. 1 represents the microstructures of SAC305 and SAC-xIn (0.5%, 1, and 2 wt%) lead-free solder alloys. In the displayed SEM analysis, the porous structures show the  $\beta$ -Sn matrix showing the Sn-rich area, the  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  phase with large particles called Sn-Cu intermetallic, and the small particles  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  intermetallic particles. Meanwhile,  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  and  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  phases dispersed in the  $\beta$ -Sn matrix also appear to contain a complete eutectic structure (El-Taher, 2021; Subri, 2020). Forms up to 2% In solid solution at room temperature. Therefore, secondary phases associated with In do not occur.

In Fig. 2, the XRD analysis results of the samples of the examined lead-free solder alloys. According to the microstructure results, the peaks for all samples are associated with the Sn-rich phase, with the presence of  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  and  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  intermetallics for Sn-Ag and Sn-Cu alloys, respectively.

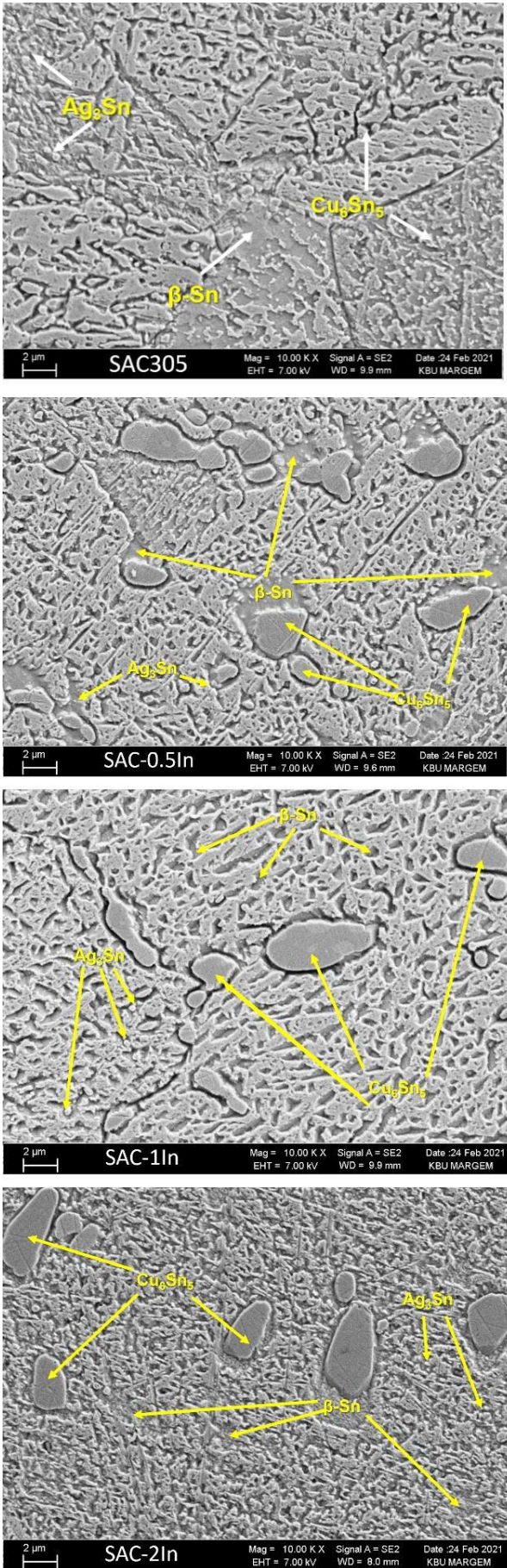


Figure 1: SEM images for the as-prepared SAC305 and SAC- xIn (0.5, 1 and 2 wt. %).

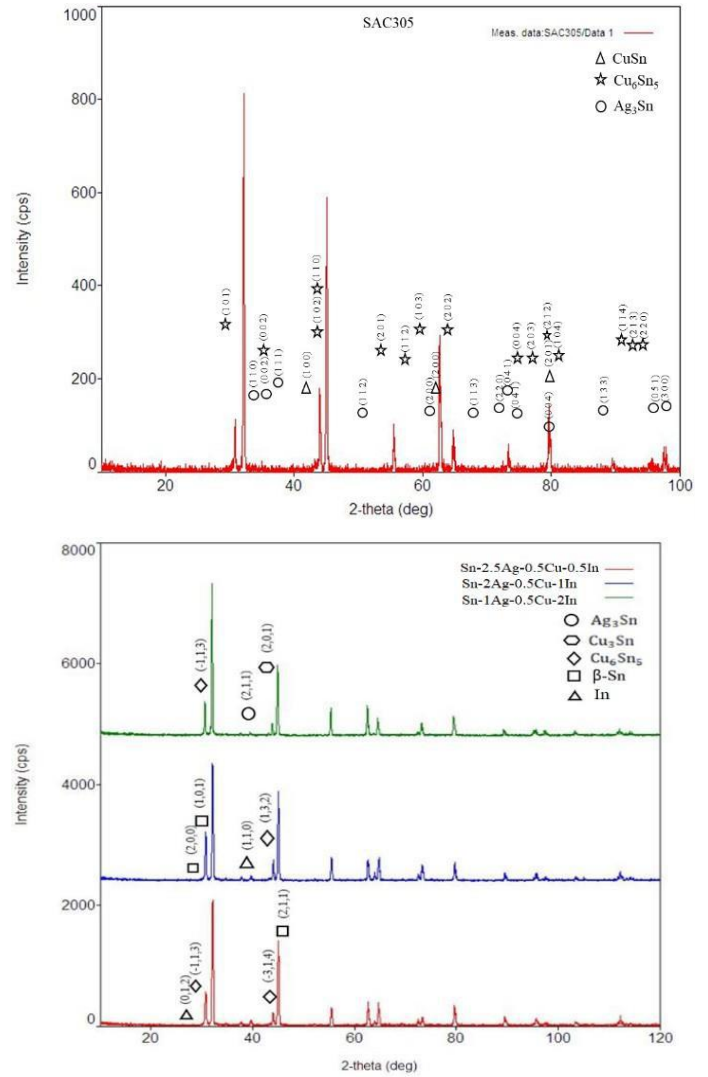


Figure 2: XRD analysis of SAC305 and SAC-xIn (0.5, 1, and 2 wt. %). (Uyanik, 2019).

### 3.2. Potenciodynamic Polarization Analysis

Plots of potentiodynamic polarization scanings are given in Fig. 3. The absence of passivation regions is clear. In a passivation region, the current density should change its course at some specific potential of anodic polarization and accept very low values compared to values observed just before entering the region. Instead, SAC305 and SAC-xIn (0.5, 1 and 2 wt.%) have only a pseudo-passivation region in which current densities are constant and don't react to changes in scanning potentials from about +0.1 V to the end of the scanning region (+1.0 V). All indium-containing sub-alloys enter this pseudo-passivation region slightly later (with 0.1 V difference) than SAC305. Note that current density in pseudo-passivation regions is much higher than one can have with NaCl solution (Nordin, 2014). This should be expected because of the extreme acidity of the 1M HCl environment. Another interesting point is that of lack of a reactivation point at which the pseudo-passivation region ends. As one can easily see from Fig. 3, even at the end of the scanning region (+1.0 V) pseudo-passivation region holds. This is different from the observed behavior reported by other studies which mainly used NaCl-based solutions (El-Taher, 2021; Subri, 2020). The quantitative results of potentiodynamic polarization measurements are given in Table 1. We observed similar corrosion potentials for all of the alloys within this study. This is expected



as the ratios of indium within these alloys are not high enough o trigger a significant change. Using Tafel extrapolations, we obtain corrosion current den- sities with corresponding corrosion rates of each alloy. It seems that the whole corrosion rates follow a type with the 1.0% indium substitution of silver causing the corrosion rate to decrease. However, with further replacement of silver by indium, the rate of corrosion increases.

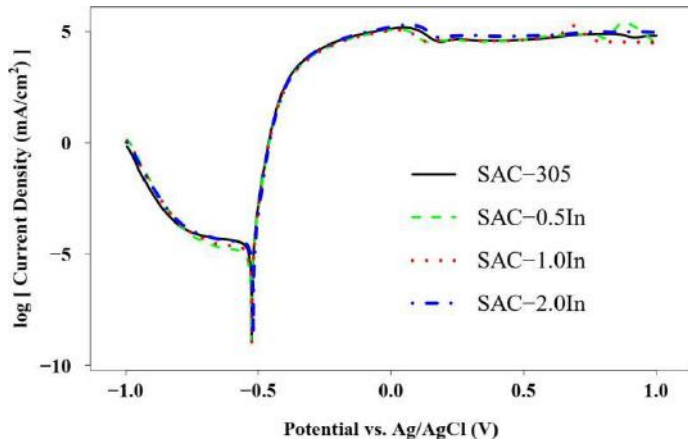


Figure 3: Potentiodynamic polarization curves of SAC305 and SAC-xIn (0.5, 1 and 2 wt. %).

A low Corrosion Current Density ( $i_{corr}$ ) value means hat the corrosion rate is low. The higher the corrosion rate, he higher the corrosion rate. Adding the indium element o the SAC305 solder alloy and reducing the silver element reduces the  $i_{corr}$  values. The lowest corrosion rate belongs to SAC-0.5In, and the highest corrosion rate belongs to SAC305 solder alloy. In this case, the rate of corrosion was reduced by replacing 0.5% indium element with silver. It is seen that the rate of corrosion increases as the ratio of indium element is replaced by silver at 1% and 2% ratios. However, the results show that the corrosion rate is reduced compared to the SAC305 solder alloy. When the corrosion rate is examined, it can be said that the SAC-0.5In alloy, which has the lowest rate, is more resistant to corrosion than the SAC305 alloy.

Table 1. Corrosion parameters of SAC305 and SAC-xIn (0.5, 1 and 2 wt. %).

Specimen	$i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	CR (mm/year)	$E_{corr}$ (V)
SAC-0.5In	9.246	0.249	-0.529
SAC-1In	10.571	0.285	-0.528
SAC-2In	15.730	0.424	-0.520
SAC305	18.095	0.488	-0.525

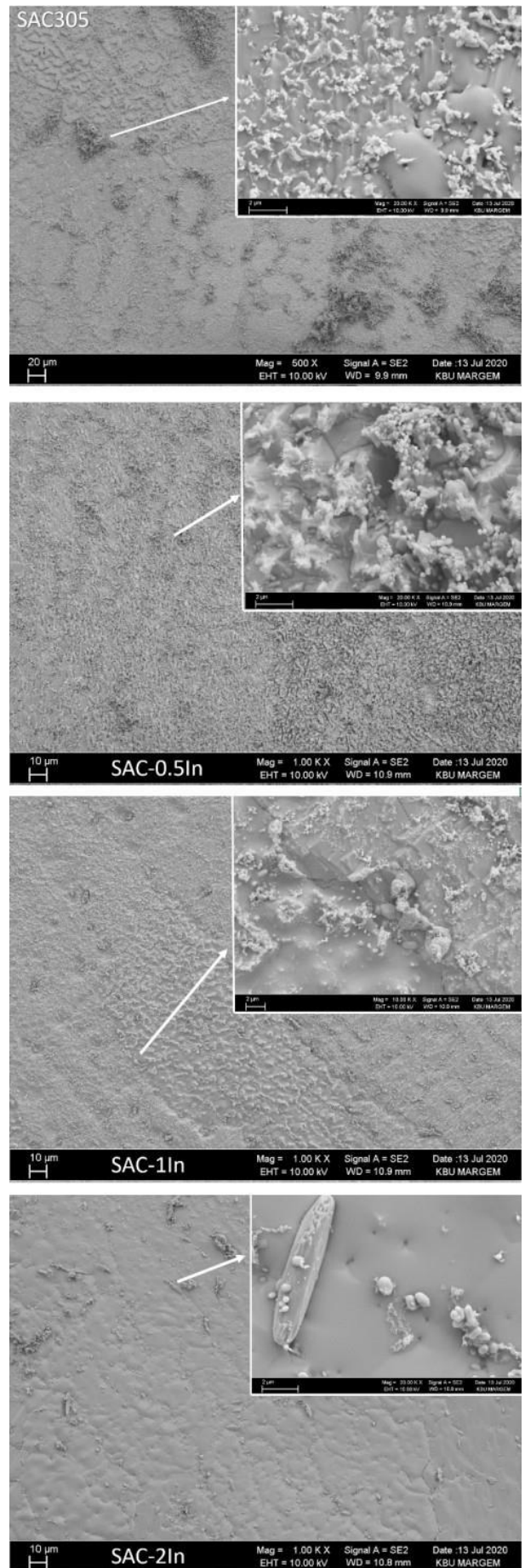


Figure 4: SEM surface morphologies of SAC305 and SAC-xIn (0.5, 1, and 2 wt. %) solder alloys after immersion in 1M HCl solution.

### 3.3. Post-Corrosion Characterizations

In Fig. 4, the views of the analyzed lead-free solder alloys after the potentiodynamic tests are given. It is seen that the oxide film formed as a corrosion product with the increase of "In" addition to the SAC305 solder alloy gradually coarsens and becomes coarse spherical at the addition of 2% In. As can be seen from the EDX analysis of corrosion products, it has been observed that corrosion products have Ag content by weight up to 0.5% wt In addition, and larger spherical Cu-containing regions increase with the addition of more.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, the corrosion behavior of SAC305 and SAC-xIn (0.5 wt%, 1 and 2 wt%) lead-free solder alloys was investigated under the influence of 1 M HCl (pH =0). Similar  $E_{corr}$  and  $i_{corr}$  were found for all alloys. This is to be expected as the proportions of indium in these alloys are not high enough to trigger a significant change. As a result of the examination, the overall corrosion rates follow a situation where the 0.5% indium replacement of silver causes the corrosion rate to decrease significantly. However, the corrosion rate appears to increase with the greater displacement of silver by indium. However, the corrosion rate increases with the further displacement of silver by indium.

## References

- Abteu, M., & Selvaduray, G. (2000). Lead-free Solders in Microelectronics. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 27(5-6), 95-141. [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(00\)00010-3](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(00)00010-3)
- Aziz, M. Z. H., Zainon, N., Mohamad, A. A., & Nazeri, M. F. M. (2020). Corrosion Investigation of Sn-0.7Cu Pb-Free Solder in Open-Circuit and Polarized Conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 957, 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/957/1/012012>
- Cheng, Y. L., Zhang, Z., Cao, F. H., Li, J. F., Zhang, J. Q., Wang, J. M., & Cao, C. N. (2004). A study of the corrosion of aluminum alloy 2024-T3 under thin electrolyte layers. *Corrosion Science*, 46(7), 1649-1667. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2003.10.005>
- El-Daly, A. A., & Hammad, A. E. (2012). Enhancement of creep resistance and thermal behavior of eutectic Sn-Cu lead-free solder alloy by Ag and In-additions. *Materials & Design*, 40, 292-298. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.04.007>
- El-Daly, A. A., Swilem, Y., Makled, M. H., El-Shaarawy, M. G., & Abdraboh, A. M. (2009). Thermal and mechanical properties of Sn-Zn-Bi lead-free solder alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 484(1-2), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.04.108>
- El-Taher, A. M., & Razzk, A. F. (2021). Controlling Ag<sub>3</sub>Sn Plate Formation and Its Effect on the Creep Resistance of Sn-3.0Ag-0.7Cu Lead-Free Solder by Adding Minor Alloying Elements Fe, Co, Te and Bi. *Metals and Materials International*, 27(10), 4294-4305. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00856-w>
- Erer, A. M., & Uyanik, O. (2019). Influence of Indium Content on the Wetting Behaviours of Sn-(3-x)Ag-0.5Cu-xIn Alloy Systems. *Acta Physica Polonica A*. <https://doi.org/10.12963/APhysPolA.135.766>
- Erer, A.M. (2021). Effect of bismuth addition on the corrosion dynamics of Sn-3Ag-0.5Cu solder alloy in Hydrochloric Acid e-ISSN: 2148-2683
- Solution. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5 (1), 40-44. <https://doi.org/10.46460/ijiea.911862>
- Hah, J., Kim, Y., Fernandez-Zelaia, P., Hwang, S., Lee, S., Christie, L., Houston, P., Melkote, S., Moon, K.-S., & Wong, C.-P. (2019). Comprehensive comparative analysis of microstructure of Sn-Ag-Cu (SAC) solder joints by traditional reflow and thermo-compression bonding (TCB) processes. *Materialia*, 6, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2019.100327>
- Han, Y. D., Gao, Y., Jing, H. Y., Wei, J., Zhao, L., & Xu, L. Y. (2020). A modified constitutive model of Ag nanoparticle-modified graphene/Sn-Ag-Cu/Cu solder joints. *Materials Science and Engineering: A*, 777, 139080. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139080>
- Jumali, N., Mohamad, A. A., & Mohd Nazeri, M. F. (2017). Corrosion Properties of Sn-9Zn Solder in Acidic Solution. *Materials Science Forum*, 888, 365-372. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.888.365>
- Jumali, N., Zainol, M. H., Mohamad, A. A., & Nazeri, M. F. M. (t.y.). *Effect of Al Additions on Corrosion Performance of Sn-9Zn Solder in Acidic Solution*. 273, 5.
- Kang, H., Lee, M., Sun, D., Pae, S., & Park, J. (2015). Formation of octahedral corrosion products in Sn-Ag flip chip solder bump. *Scripta Materialia*, 108, 126-129. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2015.06.034>
- Kaushik, R. K., Batra, U., & Sharma, J. D. (2018). Aging induced structural and electrochemical corrosion behaviour of Sn-1.0Ag-0.5Cu and Sn-3.8Ag-0.7Cu solder alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 745, 446-454. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.292>
- Liao, B., Cen, H., Chen, Z., & Guo, X. (2018). Corrosion behavior of Sn-3.0Ag-0.5Cu alloy under chlorine-containing thin electrolyte layers. *Corrosion Science*, 143, 347-361. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.041>
- Liu, J.-C., Park, S., Nagao, S., Nogi, M., Koga, H., Ma, J.-S., Zhang, G., & Sukanuma, K. (2015a). The role of Zn precipitates and Cl<sup>-</sup> anions in pitting corrosion of Sn-Zn solder alloys. *Corrosion Science*, 92, 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.12.014>
- Liu, J.-C., Zhang, G., Ma, J.-S., & Sukanuma, K. (2015b). Ti addition to enhance corrosion resistance of Sn-Zn solder alloy by tailoring microstructure. *Journal of Alloys and Compounds*, 644, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.04.168>
- Luo, T., Chen, Z., Hu, A., & Li, M. (2012). Study on melt properties, microstructure, tensile properties of low Ag content Sn-Ag-Zn Lead-free solders. *Materials Science and Engineering: A*, 556, 885-890. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.07.086>
- Maeshima, T., Ikehata, H., Terui, K., & Sakamoto, Y. (2016). Effect of Ni to the Cu substrate on the interfacial reaction with Sn-Cu solder. *Materials & Design*, 103, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.068>
- Mohanty, U. S., & Lin, K.-L. (2008). Electrochemical corrosion behaviour of Pb-free Sn-8.5Zn-0.05Al-XGa and Sn-3Ag-0.5Cu alloys in chloride containing aqueous solution. *Corrosion Science*, 50(9), 2437-2443. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.06.042>
- Mohd Nazeri, M. F., Yahaya, M. Z., Gursel, A., Cheani, F., Masri, M. N., & Mohamad, A. A. (2019). Corrosion characterization of Sn-Zn solder: A review. *Soldering & Surface Mount*

- Technology*, 31(1), 52-67. <https://doi.org/10.1108/SSMT-05-2018-0013>
- Nazeri, M. F. M., & Mohamad, A. A. (2014). Corrosion measurement of Sn–Zn lead-free solders in 6 M KOH solution. *Measurement*, 47, 820-826. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.10.002>
- Nordin, N. I. M., Said, S. M., Ramli, R., Sabri, M. F. M., Sharif, N. M., Arifin, N. A. F. N. M., & Ibrahim, N. N. S. (2014). Microstructure of Sn–1Ag–0.5Cu solder alloy bearing Fe under salt spray test. *Microelectronics Reliability*, 54(9-10), 2044-2047. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2014.07.068>
- Osório, W. R., Spinelli, J. E., Afonso, C. R. M., Peixoto, L. C., & Garcia, A. (2011). Microstructure, corrosion behaviour and microhardness of a directionally solidified Sn–Cu solder alloy. *Electrochimica Acta*, 56(24), 8891-8899. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.07.114>
- Rosalbino, F., Angelini, E., Zanicchi, G., Carlini, R., & Marazza, R. (2009). Electrochemical corrosion study of Sn–3Ag–3Cu solder alloy in NaCl solution. *Electrochimica Acta*, 54(28), 7231-7235. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.07.030>
- Sayyadi, R., & Naffakh-Moosavy, H. (2018). Physical and mechanical properties of synthesized low Ag/lead-free Sn–Ag–Cu–xBi (x = 0, 1, 2.5, 5 wt%) solders. *Materials Science and Engineering: A*, 735, 367-377. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.08.071>
- Silva, B. L., Reinhart, G., Nguyen-Thi, H., Mangelinck-Noël, N., Garcia, A., & Spinelli, J. E. (2015). Microstructural development and mechanical properties of a near-eutectic directionally solidified Sn–Bi solder alloy. *Materials Characterization*, 107, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.06.026>
- Subri, N. W. B., Sarraf, M., Nasiri-Tabrizi, B., Ali, B., Mohd Sabri, M. F., Basirun, W. J., & Sukiman, N. L. (2020). Corrosion insight of iron and bismuth added Sn–1Ag–0.5Cu lead-free solder alloy. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 55(1), 35-47. <https://doi.org/10.1080/1478422X.2019.1666458>
- Uyanık, O., Erer, A. M., & Türen, Y. (2019). Effect of Indium on Wettability of Sn-2Ag-0.5Cu-1In Quaternary Solder Alloy on Cu Substrate. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*. <https://doi.org/10.31202/ecjse.441434>
- Wang, H., Gao, Z., Liu, Y., Li, C., Ma, Z., & Yu, L. (2015). Evaluation of cooling rate on electrochemical behavior of Sn–0.3Ag–0.9Zn solder alloy in 3.5 wt% NaCl solution. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26(1), 11-22. <https://doi.org/10.1007/s10854-014-2356-6>
- Xu, L. Y., Zhang, S. T., Jing, H. Y., Wang, L. X., Wei, J., Kong, X. C., & Han, Y. D. (2018). Indentation Size Effect on Ag Nanoparticle-Modified Graphene/Sn–Ag–Cu Solders. *Journal of Electronic Materials*, 47(1), 612-619. <https://doi.org/10.1007/s11664-017-5822-0>
- Yang, M., Ji, H., Wang, S., Ko, Y.-H., Lee, C.-W., Wu, J., & Li, M. (2016). Effects of Ag content on the interfacial reactions between liquid Sn–Ag–Cu solders and Cu substrates during soldering. *Journal of Alloys and Compounds*, 679, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.03.177>
- Yoon, J.-W., Noh, B.-I., Kim, B.-K., Shur, C.-C., & Jung, S.-B. (2009). Wettability and interfacial reactions of Sn–Ag–Cu/Cu and Sn–Ag–Ni/Cu solder joints. *Journal of Alloys and Compounds*, 486(1-2), 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.06.159>
- Zou, S., Li, X., Dong, C., Ding, K., & Xiao, K. (2013). Electrochemical migration, whisker formation, and corrosion behavior of printed circuit board under wet H<sub>2</sub>S environment. *Electrochimica Acta*, 114, 363-371. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.10.051>



# Optimization of Parameters Affecting Noodle Drying by Taguchi Method

Rana Başataç<sup>1</sup>, Zehra Gülten Yalçın<sup>2\*</sup>, Mustafa Dağ<sup>3</sup>, and Ercan Aydoğmuş<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9267-1423), [ranabasatac@gmail.com](mailto:ranabasatac@gmail.com)

<sup>2</sup>Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5460-289X), [zaltin@karatekin.edu.tr](mailto:zaltin@karatekin.edu.tr)

<sup>3</sup>Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9540-3475), [mudag@karatekin.edu.tr](mailto:mudag@karatekin.edu.tr)

<sup>4</sup>Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1643-2487), [ercanaydogmus@firat.edu.tr](mailto:ercanaydogmus@firat.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1063298)

**ATIF/REFERENCE:** Başataç R., Yalçın, Z. G., Dağ, M., & Aydoğmuş, E. (2022). Optimization of Parameters Affecting Noodle Drying by Taguchi Method. *European Journal of Science and Technology*, (34), 34-41.

## Abstract

In this research, Taguchi method application studies have been carried out to optimize the parameters affecting the drying of noodles made in Çankırı region by sun, conventional oven, and microwave method. In the experimental study, the noodles were dried in a single row in thin strips of 3-4 mm constant thickness to form an area of 100 cm<sup>2</sup> (square plate). Variable parameters in three different drying methods are temperature, duration, and microwave power level. Sun drying of noodles was performed at an average temperature of 19 °C in June. Oven drying experiments were carried out at different temperatures (75 °C, 100 °C, 150 °C) and times (30, 60, 90 minutes). Microwave drying operations were performed at 300 W, 450 W, 600W power and 1, 2, 3 minutes respectively. The factors affecting the moisture content that can be separated from the noodles in the conventional oven were determined as drying temperature and drying time. In microwave drying, power and drying time were chosen as control factors. For this purpose, the L9 orthogonal sequence was arranged in Taguchi design used in experimental studies. The effects of control factors were determined by analyzing variance analysis (ANOVA) at 95-97.6 % confidence level. The study also analyzed moisture, ash, protein, color, and volume increase for dried noodles with 3 different drying techniques. In the sun drying of the noodles, 9.47 moisture, 1.33 ash, 10.73 protein, 87.48 L\* color value, 1.03 â\* color value, 22.46 B\* color value, and 282.67 volume increase values were found. In the oven drying, 9.20 moisture, 1.31 ash, 10.77 protein, 80.24 L\* color value, 1.64 â\* color value, 24.10 B\* color value, and 250.23 volume increase values were measured. 8.73 moisture, 1.29 ash, 10.83 protein, 78.50 L\* color value, 0.90 â\* color value, 25.13 B\* color value, and 262.40 volume increase values were determined in the microwave drying.

**Keywords:** Noodles, Drying, Taguchi method, Variance analysis.

## Erişte Kurutmasını Etkileyen Parametrelerin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada, Çankırı yöresinde yapılan eriştenin, güneşte, konvansiyonel fırında ve mikrodalgaya yöntemi ile kurutulmasına etki eden parametrelerin optimizasyonun da Taguchi metodu uygulama çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmada, erişte 3-4 mm sabit kalınlıkta ince şeritler halinde 10cmx10 cm'lik bir alan oluşturacak şekilde tek sıra halinde kurutulmuştur. Üç farklı kurutma yönteminde değişken parametreler sıcaklık, süre ve mikrodalgaya da güç seviyesidir. Eriştelerin güneşte kurutma işlemi Haziran ayı ortalaması bir sıcaklıkta 19 °C'de gerçekleştirilmişken fırında kurutma denemeleri; 75, 100, 150 °C sıcaklıkta, 30, 60, 90 dakikada, mikrodalgada kurutma işlemleri sırasıyla 300, 450, 600 W gücünde ve 1, 2, 3 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. Erişteden ayrılabilen nem oranını etkileyen kontrol faktörleri olarak konvansiyonel fırında kurutmada kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi, mikrodalgaya kurutmada ise güç ve kurutma süresi seçilmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmalarda kullanılan Taguchi tasarımında L9 ortogonal dizi düzenlenmiştir. Kontrol faktörlerinin etkileri % 95-97.6 güven seviyesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılarak tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda optimum erişte kuruma koşulları; fırında kurutma için 150 °C fırın sıcaklığı ve 90 dakika kurutma süresi olarak belirlenmiş iken mikrodalgada kurutma için 600 W ısıtma gücü ve 3 dak kurutma süresi olarak tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca 3 farklı kurutma teknikleriyle kurutulmuş erişteler için nem, kül, protein, renk ve hacim artışı analizleri de yapılmıştır. Eriştelerin güneşte kurutulmasında 9.47 nem, 1.33 kül, 10.73 protein, 87.48 L\* renk değeri, 1.03 â\* renk değeri, 22.46 B\* renk değeri ve 282.67 hacim artış değerleri bulunmuştur. Fırında kurutmada 9.20 nem, 1.31 kül, 10.77 protein, 80.24 L\* renk değeri, 1.64 â\* renk değeri, 24.10 B\* renk değeri ve 250.23 hacim artış değerleri ölçülmüştür. Mikrodalgaya kurutmada 8.73 nem, 1.29 kül, 10.83 protein, 78.50 L\* renk değeri, 0.90 â\* renk değeri, 25.13 B\* renk değeri ve 262.40 hacim artış değerleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Erişte, Kurutma, Taguchi yöntemi, Varyans analizi.

## 1. Introduction

In our country, the use of noodles as a winter food with various ingredients is widely available. Noodles are prepared by kneading flour, salt, water, and egg; It is a preferred cereal product due to its vitamin and mineral substances, high energy due to carbohydrates, easy preparation, cheap cost, and taste [1]. In general, in addition to flour and eggs, it is also produced by diversifying by adding various vegetables and additives according to the regions where it is produced [2].

Noodles consumed as a traditional product receive different local names according to the way they are cut. When the dough is cut into large squares of 4x4 cm, it is called "Big Dough-Perişka", when cutting into small squares of 5mmx5mm, "Tutmaç" for soup, and "Noodles" when cut into thin long strips of 4 cm dough (Fig. 1).



Fig. 1. Homemade pasta according to cutting shapes a) Coarse dough-Perişka b) Tutmaç c) Noodles [4]

It is a product obtained from dough prepared by adding wheat flour, salt, egg, and drinking water according to Turkish Standards Institute, Noodle Standard No. TS 12950 and dried following its technique. In this Standard, 3 types of noodles (plain, flavored, and enriched) are defined depending on the ingredients included in it [3]. The physical and chemical properties of noodles according to Turkish Standards Institute are given in Table 1.

Table 1. Turkish Standards Institute, physical, chemical, and microbiological properties of noodles [3]

Features	Amount		
	Plain Noodles	Seasoned Noodles	Enriched Noodles
Total Ash % max.	1.0	1.5	1.0
Moisture % max.	13.0	13.0	13.0
Salt % max.	2.0	2.0	2.0
Protein % at least	10.5	10.5	10.5
Substance Passing to Water % max.	10.0	10.0	10.0

It should be white-creamy, white in color tones, with a unique odor, taste, and appearance.

Noodles are suitable for enrichment studies because it is food product prepared in a short time with a few easy-to-find ingredients and simple methods. For this reason, various cereals, legumes, vegetable, and fruit flours were added to the noodle dough and the quality criteria, nutritional contents, and changes in functional properties were examined. There are studies in which a product with high nutritional value and functional properties has been developed by adding chestnut flour in various proportions to the noodle formulation [4].

There are studies that noodles and similar products can be produced to enrich the diet of celiac patients who are sensitive to gluten and similar proteins. In the studies conducted for this purpose, it was emphasized that rice and corn can be used as gluten-free products, and the importance of using stabilizers due to structural necessity was emphasized [5].

In another study, chickpea flour was added to noodles and couscous at different rates to improve nutritional, technological, and sensory properties. In this study, it was concluded that a product enriched with 30 % chickpea flour solid and suitable from a technological and sensory point of view could be obtained. It has been noted that the nutritional value of noodles increases with the addition of eggs in noodles, its cooking properties improve, and there are positive improvements in color [6].

In the study of Erbay and Küçüköner, the diversity of the ingredients added to the noodle and their effects on the product quality were investigated, and different seasonings were produced to develop a new product. Here, a product has been developed that can be consumed with noodles with popular tastes [7].

A study comparing the physical and chemical properties of various noodle samples produced in Izmir was conducted by Güllü and Karagöz. In this study, it was stated that the changes in quality criteria were caused by differences in the raw materials and production technologies used [8].

The purpose of the drying process is to increase the shelf life of the product by reducing the amount of water in the food by between 10 % and 20%. Thus, microbiological degradation and enzyme activity in food are reduced, storage and shelf life are extended, storage and shipment become easier [9].

Conventional drying, vacuum drying, infrared ray drying, osmotic drying, freeze-drying, and microwave drying methods are used in the drying of foods [10]. The researchers said that the physical and chemical content, rehydration ability, initial and final moisture values of the product to be dried should be very well known at the decision-making stage for the drying method.

Some studies indicate that microwave drying is successfully used in a 3-step process (pre-drying with hot air-drying with microwave-balancing) in the study where microwave drying is used in the pasta industry [11- 12].

The advantages and disadvantages of drying in the sun, oven, and microwave in the process of drying many products in the food industry have been studied [13].

The researchers noted that the advantage of microwave drying is to heat the product more evenly and homogeneously, while the disadvantage is that the initial investment cost is high. In addition, they pointed out that the chemical composition of the product, product dimensions, the air temperature of drying, and the airspeed of drying is important to the drying speed.

In drying experiments, it is seen that the high-cost drying time is effective in determining the quality characteristics. At the same time, the fact that there are some difficulties in the results of multiple experimental studies and verification makes it necessary to carry out preliminary design studies. For this reason, it is mandatory to carry out experimental studies with preliminary design, product quality improvement, and minimum cost in the experimental study. One of these used methods is the Taguchi method. The Taguchi method is considered to be an effective method used in recent industrial studies to obtain products and at the same time obtain low-cost products. In the analysis,

orthogonal series and ANOVA methods are used. ANOVA helps to study the influence of factors on characteristic features. The most important advantage of the Taguchi method over traditional statistical methods is that it plays an effective role in determining experimental working conditions that have the least diversity in optimal working conditions [8,14,15].

In another research, there is a study on the effect of the addition of different grain flours and mixing ratios in the production of gluten-free spaghetti using the Taguchi method [16]. However, it was found that the study in which the noodles were dried and the experimental parameters were optimized by the Taguchi method did not exist.

This study aims to investigate the drying behavior of noodles consumed in Çankırı region, which are drying methods; solar, household oven, and microwave, and to determine the optimum drying conditions using the experimental design method Taguchi modeling. In the drying studies, when solar, conventional oven, and microwave drying methods were compared, it was seen that the fastest drying was achieved by microwave drying and the slowest drying was solar drying. In addition, when explaining the effect of drying methods, the change of physical and chemical properties of samples prepared for noodles was compared. It was found that the changes in moisture, ash, and protein contents were insignificant in noodles dried by three different drying methods, and the changes in color values and volume increase by the applied drying methods changed significantly.

## 2. Material and Method

Before the drying process, all samples were kept at 105 °C for 24 hours in the Sartorius MA150 model moisture determination test and weighed after the test. The moisture content was found as by the formula in Eq. 1.

Protein analysis of noodle samples was performed using the calibrated Foss Infratec 1241 Grain Analyzer to measure pasta values.

The ash values of all dried samples were measured by Simsek Laborteknik Ash Furnace KF-908 at 900 °C for 4 hours.

The color parameters of the noodle samples were made numerical using the Hunter color scale. For this purpose, L\*, a\*, and b\* values were determined with Konica Minolta CR410 device. The L\* (lightness) value on the Hunter color scale represents brightness or opacity/opacity. L\* takes values between 0-100. 0 means completely glossy and 100 means completely matte (black). a\* and b\* can take negative or positive values. Negative values of a\* represent shades of green, while positive values represent shades of red. The negative values of b\* represent the hue of the blue color, while the positive values represent the hues of the yellow color.

In cooking experiments, volume increases were measured by studying according to TS 1620 standard [20].

Wheat flour obtained from the UNTAŞ flour factory, which is produced in Çankırı, was used for the noodle dough. The dough, which was prepared by hand as a hard dough with 2 kg of wheat flour, 4 eggs, 1 L of water, 60 g of finely ground Çankırı rock salt and rested for approximately 30 minutes, was rolled out to 3-4 mm thick first with a rolling pin and then with a rolling pin. After waiting for 2 hours at room temperature to allow the dough to gather itself and reach the consistency to be cut, the samples to be used in the trial phase were cut into long strips with a width of 3-4 mm with a bread knife and stored in a 4 °C refrigerator until analyzed in clean bags. Before the experiments, the dough strips

were cut with a knife of 3-4 mm thickness to be thin and long, and the drying process was carried out by arranging them in a single row covering an area of 10x10 cm on oiled paper. In noodles, 3-4 mm was used as a fixed thickness because the doughiness occurred in the baking process of the final product by increasing the thickness.

In this study, Taguchi modeling was performed without the thickness parameter because the dough thickness could not be changed in noodle experiments. In this study, controllable factors and levels for noodles are given in Table 2. In a 2-parameter 3-level structure, an orthogonal array and 9-experiment modeling were used and the experimental conditions prepared according to this orthogonal array are given in Table 3. The moisture losses of the samples were observed with the measurements taken as a result of the experiments. The regression equation, which will provide the optimum conditions, was obtained by modeling with the obtained data.

Table 2. Parameters and level values for noodles

Oven Drying	
Temperature (°C)	Time (min)
150	90
100	60
75	30
Microwave Drying	
Power (W)	Time (min)
600	3
450	2
300	1

Table 3. Experimental conditions were prepared with an orthogonal array for noodles

Microwave Drying		
Experiment No.	Power (W)	Time (min)
1	600	3
2	600	2
3	600	1
4	450	3
5	450	2
6	450	1
7	300	3
8	300	2
9	300	1
Oven Drying		
Experiment No.	Temperature (°C)	Time (min)
1	150	90
2	150	60
3	150	30
4	100	90
5	100	60
6	100	30
7	75	90

8	75	60
9	75	30

The noodle dough was cut into thin strips of 3-4 mm thickness and left to dry in the shade by arranging them in a single row to form an area of 10x10 cm. To determine the moisture loss and separable moisture content (ANO), the samples were weighed every 6 hours.

Conventional oven drying trials at 75 °C, 100 °C, and 150 °C. It was made with Beko BSUF 5000 MGSI model oven with adjustable fan support. The internal temperature of the oven is adjusted with a digital temperature meter.

To create the drying curves, the weights were taken at 15 minute intervals at the determined temperatures. A drying time-moisture loss graph was drawn.

To compose the drying curves, weighing was taken at the determined temperatures at 30-minute intervals. Noodles were dried using the Samsung MS23F301 EAW household microwave (at power levels of 300 W, 450 W, and 600 W). A drying time-moisture loss graph was composed. Since the dough thickness of the noodles could not be changed, measurements depending on the thickness were not taken.

Drying experiments in the sun were carried out in the shade in June when the air temperature was 19 °C compared to the long-term average during the summer period [17]. Microwave drying experiments were carried out with a modified Samsung MS23F301 EAW brand and model microwave that can operate at 3 power levels.

The moisture content of the samples used in the drying experiments was calculated using Eq. 1. The initial moisture content of the samples prepared with Equation 3 and the moisture content lost by drying was calculated. The "Removable Moisture Ratio" (ANO) in Eq. 2 shows the amount of removable moisture in the product at a certain "t" time, it is a dimensionless value. ANO helps to determine the required time for the same material to reach the moisture or desired moisture value at certain times in environments similar to trial conditions. Equilibrium moisture content is the amount of water contained in the air under drying conditions and is measured with a hygrometer and is neglected in many studies because it is a very small value. The drying rate of the samples was calculated using Equation 3 (19).

$$M = 100 \cdot Mw / (Mw + md) \tag{1}$$

M=Moisture content (%), based on wet  
Mw=amount of water (g),  
md=amount of dry matter (g)

$$ANO = (M1 - Me) / (M0 - Me) \tag{2}$$

ANO=Separable moisture,  
M1=amount of water at any time (kg water/kg dry matter),  
M0=Amount of water before starting drying (kg water/kg dry matter),  
Me=Equilibrium moisture content of the dried product (neglected)

$$DR = [(M1 + dt) - M1] / dt \tag{3}$$

DR=Drying rate (kg water/kg dry matter)  
M1=Amount of water at any time (kg water/kg dry matter),  
M1+dt=Amount of water after sequential measurement (kg water/kg dry matter),  
dt=Time between consecutive measurements (min.)

For statistical analysis and Taguchi Modeling, the package computer statistical program Minitab 17.0 was used. Variance Analysis techniques were applied to the data obtained from the samples. The mean values of the sources of variation, the differences of which were found to be statistically significant, were explained by the Tukey test in 5 % confidence interval. In the statistical analyses mentioned below, mean square root deviation (RMSE) and chi-square tests were applied to experimental and theoretical models. In these equations, the number of experiments (N) and the number of parameters in the model (n) is shown.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{ANO_{experiment_i} - ANO_{theoretical_i}}{N} \right)^2} \tag{4}$$

$$Ki - Square = \sum_{i=1}^N \left( \frac{ANO_{experiment_i} - ANO_{theoretical_i}}{N} \right)^2 \tag{5}$$

In this study, parameters affecting experimental drying (oven temperature, time, and microwave power) were used. Optimization study was done with Taguchi method. Taguchi design is one of the experimental design methods developed to design experiments where many factors and levels affect the results and to find the factors that affect them. This method, it is aimed to minimize the effects of uncontrollable factors in the use of orthogonal arrays that focus on improving the output of a process. In the Taguchi method, first of all, the so-called degree of freedom (SD) data is collected and the orthogonal array is selected for the total degree of freedom (TSD).

In this study, 3 determination levels were selected for the 2 parameters used. The total degrees of freedom of the parameters used were found by subtracting 1 from the levels of the parameters. In addition, by adding the value of 4, which is "Residual error", a total of 8 degrees of freedom were obtained for 3 levels of 2 parameters. (Table 1). The data used in the Taguchi L9 orthogonal index for the level of drying experiments are shown in Table 2. The result of the study is given by converting it to S/N (signal/noise) ratio in the Taguchi method. The signal-to-noise ratio is used to control the results obtained in the experimental study and to reduce the variability according to the results.

In Taguchi method used, there are three performance evaluations for the S/N ratio: minimum (smaller-the better), maximum (larger-the-better), and average (nominal-the-best). In this study, functions including maximum (drying temperature and microwave power) and minimum (moisture content) Separable moisture values were determined. Eq. 6 and Eq. 7 are used for maximum and minimum performance values [24]. Where *n* for the number of tests and *y<sub>i</sub>* for the performance characteristics is the number of observed experimental data [21].

$$\frac{s}{N_{max}} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (6)$$

$$\frac{s}{N_{min}} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (7)$$

### 3. Results and Discussion

Table 4. Drying parameters and levels were used in the study

Parameter	SD	Level 1	Level 2	Level 3
Temperature (°C)	2	75	100	150
Time (min.)	2	30	60	90
Total SD	8			

Parameter	SD	Level 1	Level 2	Level 3
Power (W)	2	600	450	300
Time (min.)	2	3	2	1
Total SD	8			

Moisture losses of noodles related to drying under the sun at an average temperature of 19 °C in June are shown in Figure 2. At the end of 24 hours, it was determined that the decrease in the amount of moisture in the sample reached 0.30. It is seen that the decrease in moisture specified in the TS 12950 Noodle standard is rapidly reached within the first 6 hours, and the decrease in moisture slows down in 12-24 hours' period.

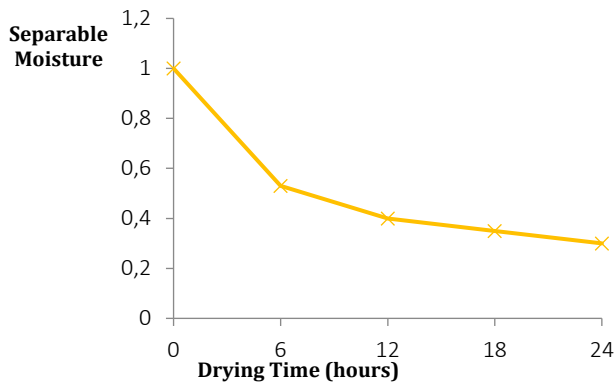


Fig. 2. Moisture change graph for noodles in sun drying

Studies were carried out at 75 °C, 100 °C, and 150 °C for drying in a fan oven. The moisture was removed in the noodles at 30, 60, 90 minutes as the drying time was plotted (Figure 3). When drying in the oven, it is seen that drying takes place in a short time as the temperature increases. Drying at 150 °C at the highest temperature 90 min. occurs rapidly and the moisture value removed approaches 0.09 (Table 5). It has been determined that the drying time is extended up to 180 minutes at the lowest value where the oven temperature is 75 °C. It was observed that the decrease in the moisture rate was low during the trial periods.

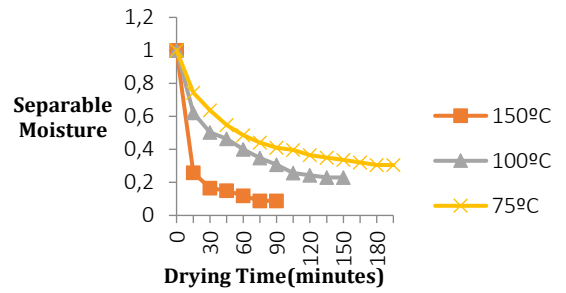


Figure 3. Moisture change in the oven drying for noodles

In the modified microwave drying study, it is seen that drying takes place up to 7 minutes at 5 different power levels (300, 450, 600, 700, and 800 Watt) (Figure 4). In the study carried out with 700, 800, 300, 450, 600 W by Taguchi methods. Moisture contents vary depending on the microwave power level, and at the highest 600 W power level, the moisture content drops rapidly in 4 minutes, thus drying is fast and approaching zero. 7 minutes drying at low 300 W power level. It lasts for a long time, and the removal of moisture is slow [18-19]. In short, as the microwave power level increases, the drying time of the product decreases.

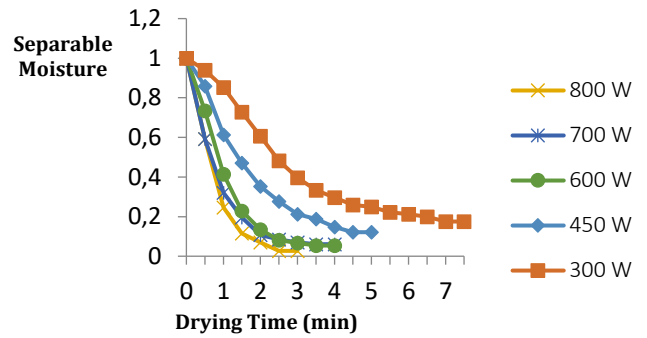


Figure 4. Moisture change in microwave drying for noodles

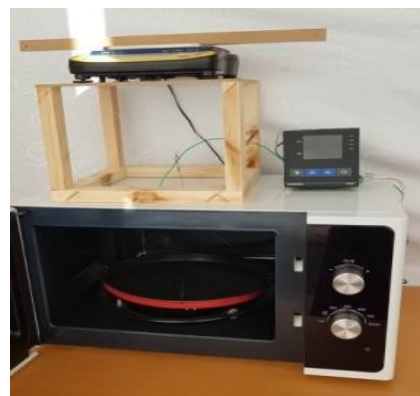


Figure 5. Modified microwave drying assembly

Moisture changes of the experiments determined by Taguchi modeling are given in Tables 5 and 6 and Figures 6 and 7 in terms of separable moisture content (ANO). Here, calculations were made by choosing smaller is better as the signal-to-noise ratio. When the analysis of variance technique was applied to the data obtained in the drying experiment in the conventional oven, it was observed that the statistical P values for all factors (temperature and time) were in the low range (p<0.001). The variance analysis technique used by Canyılmaz and Kutay was also found to be



effective in our study [13]. When the data for oven drying were examined, it was determined that the modeling was statistically within the 95.6 % confidence interval ( $p < 0.001$ ). It is seen that the temperature ( $p < 0.001$ ) and time ( $p < 0.017$ ) parameters are statistically effective on drying. The regression equation obtained as a result of the modeling is shown in Equation 8.

Table 5. Taguchi modeling of values obtained in oven drying

Oven Drying			
Experiment No.	Temperature (°C)	Time (min)	Separable moisture
1	150	90	0,09
2	150	60	0,12
3	150	30	0,17
4	100	90	0,31
5	100	60	0,40
6	100	30	0,50
7	75	90	0,41
8	75	60	0,49
9	75	30	0,64

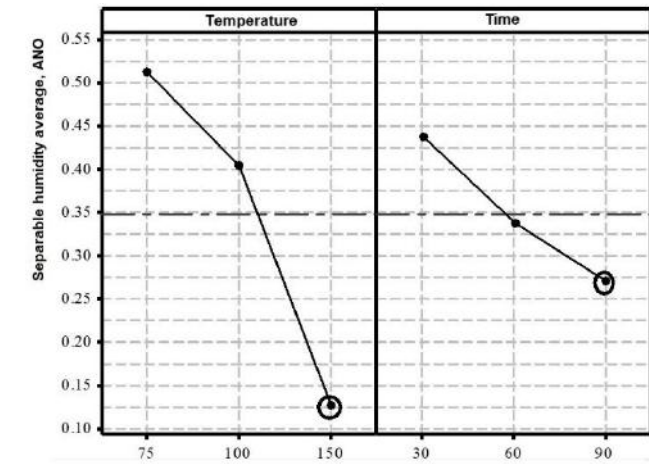


Fig. 6. Main effect for ANO average in oven drying values

$$\text{Seperable Moisture} = 1.0788 - 0.005210T - 0.002778t \quad (8)$$

When the analysis of variance technique of drying experiments in a microwave oven was applied, it was observed that statistically, P values for all factors (power and time) were in the low range ( $p < 0.001$ ). When the data for microwave drying were examined, it was seen that the modeling was statistically within the 97.6 % confidence interval ( $p < 0.001$ ). Power ( $p < 0.001$ ) and time ( $p < 0.001$ ) parameters were found to be statistically effective on drying. Eq. 9 is obtained as a result of the analysis of the data.

Table 6. Taguchi modeling of values obtained in microwave drying experiments

Microwave drying			
Experiment No.	Power (W)	Time (min)	Separable moisture
1	600	3	0.07
2	600	2	0.13
3	600	1	0.41
4	450	3	0.21
5	450	2	0.35

6	450	1	0.61
7	300	3	0.40
8	300	2	0.61
9	300	1	0.85

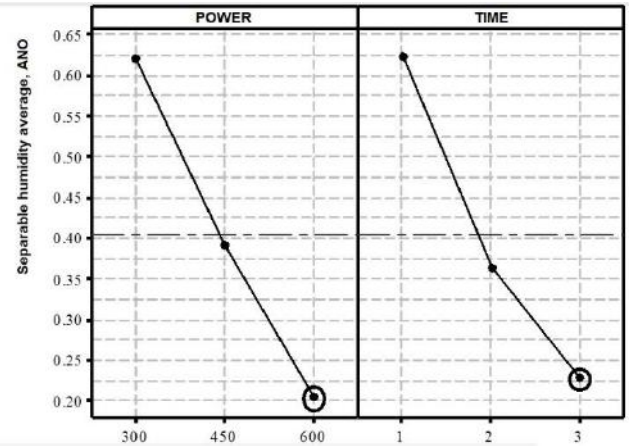


Fig. 7. Main effect for ANO average in the microwave drying

$$\text{Seperable Moisture} = 1.4261 - 0.1983t - 0.001389 \quad (9)$$

When Taguchi modeling is examined; It was observed that  $R^2 = 0.956$  for conventional oven drying and  $R^2 = 0.976$  for microwave drying. When these two methods are compared with each other, the difference is very low. While the best drying condition for the oven was determined as 150°C oven temperature and 90 minutes drying time, 600 W heating power, and 3 minutes drying time were determined for microwave drying.

In this study, the moisture content of the noodle should be maximum 13 % according to TS 12950. The moisture rates obtained in all methods are suitable for this content. When analyzed statistically by linear regression analysis in the Minitab program, it was seen that the moisture content of the samples changed insignificantly ( $p > 0.05$ ) depending on the drying methods. In this study, it was observed that all three methods were successful in terms of moisture content removal. Drying was achieved in a short time with the microwave drying method.

In this study, 9 different experimental studies and 3 re-runs were calculated, 27 different moisture values were tested with the Minitab 18 program. After that, ANOVA analyzes were performed with the Taguchi method (Table 7).

Table 7. Moisture content and calculated S/N ratio for the furnace drying process

Temperature	Time	ANO Experimental	S/N Ratio Experimental	ANO Predictive	S/N Ratio Predictive	ANO Residual
150	90	0.09	20.91	0.04	20.44	0.04
150	60	0.12	18.41	0.11	18.35	0.01
150	30	0.17	15.39	0.21	15.92	-0.04
100	90	0.31	10.17	0.32	10.25	-0.01
100	60	0.4	7.95	0.39	8.16	0.01
100	30	0.5	6.02	0.49	5.73	0.01
75	90	0.41	7.74	0.43	8.13	-0.02
75	60	0.49	6.19	0.50	6.05	-0.01
75	30	0.64	3.87	0.60	3.62	0.03

S/N ratios are observed with the moisture value obtained as a result of drying times of 30, 60, 90 minutes in oven drying. The ratio S/N with the largest average gives the smallest moisture value. According to the average S/N ratio value given in Figure 6-7, the smallest optimum moisture content is 150 °C, where the largest average S/N ratios are obtained, 90 min. It was obtained in the oven drying experiment, where the reduced moisture was 0.09. While the average S/N ratio also increases with the oven temperature. It is observed that the average S/N value decreases with the ANO value (Table 7).

Table 8. Moisture content and calculated S/N ratio for the microwave drying process

Power	Time	ANO Experimental	S/N Ratio Experimental	ANO Predictive	S/N Ratio Predictive	ANO Residual
600	3	0.07	23.09	0.025	21.14	0.04
600	2	0.13	17.72	0.16	16.65	-0.03
600	1	0.41	7.74	0.42	10.76	-0.01
450	3	0.21	13.55	0.21	13.94	-0.01
450	2	0.35	9.11	0.34	9.45	0.001
450	1	0.61	4.29	0.60	3.56	0.001
300	3	0.4	7.95	0.44	9.51	-0.04
300	2	0.61	4.29	0.57	5.02	0.031
300	1	0.85	1.41	0.83	-0.87	0.01

In microwave drying, the experimental conditions with 600 W heating power and 3 min drying time (slowest drying speed) were obtained as 0.07, as seen in Table 8. Table 8 shows that the S/N ratio is lower at 300 W microwave power. Experimental and estimated S/N ratios are given in the Taguchi assessment. In addition, it is seen that there is faster moisture removal in 450W power than 300W power. By drying the noodles in the microwave; It was determined that the drying time decreased as the microwave power increased. In short, as the microwave power increased, the drying time of the product gave similar results with the studies in the literature [18-19].

ANOVA, where the effect of the experimental parameter on the study is given as a percentage, also shows the importance of the results obtained in terms of statistical studies, in which they are frequently applied [22]. In the experimental study, ANOVA method was applied by using S/N ratios to determine the parameters and effect values that affect drying [23]. The most important parameter in the drying process is the temperature in oven drying and Watt, which is the power of the device in microwave drying. It is seen that the average S/N ratio increases with microwave power and the average S/N value decrease with the ANO value (Table 8). Moisture, ash, protein, color changes, and volume increases in Hunter color scale obtained after all three drying methods of noodles were determined (Table 7).

Table 9. Physical and chemical analysis results for noodles

	Noodle						
	Moisture %	Ash %	Protein %	Color			Volume Increase%
				L*	a*	b*	
Sun Drying	9.47±0,15 3 <sup>a</sup>	1.33±0,0 87 <sup>a</sup>	10.73±0,9 50 <sup>a</sup>	87.48±0,2 35 <sup>a</sup>	1.03±0,0 20 <sup>a</sup>	22.46±0,1 45 <sup>a</sup>	282.67±3,1 50 <sup>a</sup>
Oven Drying	9.20±0,36 1 <sup>ab</sup>	1.31±0,0 35 <sup>a</sup>	10.77±0,5 69 <sup>a</sup>	80.24±0,3 29 <sup>b</sup>	1.64±0,1 33 <sup>b</sup>	25.13±0,6 21 <sup>a</sup>	262.40±2,1 00 <sup>b</sup>

Microwave Drying	8.73±0,20 8 <sup>b</sup>	1.29±0,0 31 <sup>a</sup>	10.83±0,3 21 <sup>a</sup>	78.50±0,2 61 <sup>c</sup>	0.90±0,1 43 <sup>b</sup>	24.10±0,4 25 <sup>b</sup>	250.23±1,3 43 <sup>c</sup>
------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------------

\*\*Averages marked with the same letter are not statistically different from each other (p>0.05) (Letter "p" refers to the statistical study in this table.)

The drying behavior of noodles was investigated in 3 different drying methods. Drying in the conventional oven (75 °C, 100 °C, and 150 °C), microwave oven (300 W, 450 W, 600 W) and sun drying were carried out at an average of 19 °C in June. Taguchi modeling experiments were carried out as an optimization study during the experiments. The results obtained are summarized below.

It has been found that by drying the noodles in a conventional oven, the drying time changes with temperature, and the drying time decreases as the temperature increases. The drying process of noodles in the sun was carried out at a temperature of 19 °C in June, while the oven drying experiments were carried out at a temperature of 75, 100, 150 °C in 30, 60, 90 minutes. Drying temperature and drying time in conventional oven drying and power and drying time in microwave drying were selected as control factors affecting the moisture that can be separated from noodles. For this purpose, the L9 orthogonal array was arranged in the Taguchi design used in experimental studies. The effects of control factors were found to be at a 95 % confidence level.

By drying the noodles in the microwave; It was determined that the drying time decreased as the microwave power increased. Drying processes in the microwave were carried out at 300 W, 450 W, 600 W power, and for 1, 2, 3 minutes, respectively. Power and drying time were selected as control factors affecting the moisture content that can be separated from the noodle in microwave drying. For this purpose, the L9 orthogonal array was arranged in the Taguchi design used in experimental studies. The effects of control factors were found to be at the 97.6 % confidence level. In short, as the microwave power increased, the drying time of the product decreased.

When the speed graphs are examined, it is seen that the drying speed for oven drying is low and the drying speed for microwave drying is quite high. When the Analysis of Variance Technique was applied to the drying experiments performed in the conventional oven and microwave, it was observed that the P values were statistically significant (p<0.001) for all factors (temperature and time).

Optimum conditions were determined in oven and microwave drying methods with Taguchi modeling for noodles. It has been determined that the best drying conditions are 150 °C- 90 min for the oven and 600 W-3 min. for the microwave. The study of Baynal and Gencil on the use of the Taguchi method in the food industry was also effective in determining the optimum conditions in our study.

The physical and chemical properties of noodle samples prepared under optimum conditions were compared. In this study, the targeted moisture content was achieved by three drying methods. Similar results were obtained in terms of ash and protein content. When evaluated in terms of color, it was found that the lightest color values were observed with sun drying, while the color turned orange when oven drying. The same result was obtained in the study conducted by Kemahlioglu and Demirağ. The highest value as a volume increase was achieved by solar drying, while the lowest value was obtained by microwave drying.

Statistically, it was found that the change in moisture, ash, protein content in noodles was insignificant ( $p>0.05$ ), and the changes in color values and volume increase were significant ( $p<0.001$ ). It has been explained statistically that the difference in drying methods does not cause a change in moisture ash and protein values; it causes a large number of changes in volume increase and color value. In short, it has been observed that the drying method chosen for noodles affects volume increase and color.

When solar drying, conventional oven drying, and microwave drying methods were compared, it was seen that the fastest drying was achieved by microwave drying and the slowest drying was solar drying. It has also been observed that the drying rate for the microwave is much higher than the drying rate for the oven. In explaining the effect of drying methods, the physical and chemical properties of the samples prepared for noodles were compared. It was found that the changes in moisture, ash, and protein content in noodles were insignificant ( $p>0.05$ ), and the changes in color values and volume increase with the applied drying methods changed significantly ( $p<0.05$ ).

To save time and energy, it is necessary to accurately determine the drying process in a short time in terms of the optimum oven temperature and microwave power. In our study, the effects of temperature-power, duration relationships on drying for conventional oven and microwave in noodles were examined. It was determined that the initial moisture of the product was successfully reduced to the desired values in the constant thickness of oven drying and microwave drying methods for noodles.

The moisture content is required to be a maximum of 13% according to TS 12950. In this study, appropriate results were obtained for the desired moisture values in all three methods. It was found that the best drying was achieved by microwave drying with a moisture content of 8.73 %, and the least drying was achieved by solar drying with a moisture content of 9.47 %. In this study, it was observed that it was successful in removing moisture content by three methods. When examined from a statistical point of view, it is observed that the changes in the moisture content of the samples depending on the drying methods are insignificant ( $p>0.05$ ).

#### 4. Conclusions and Recommendations

Optimum conditions are data that can be used to determine the relationships between temperature product thickness and drying speed and the time used to measure drying time, especially in industrial production. In our study, the noodle thickness was considered to be constant 3-4 mm. This thickness is preferred in Çankırı in terms of production and consumption. In addition, cracking or pulping occurred after drying in thinner or thicker selected samples.

It was found that the oven drying method (95.6 %) was successful in choosing the optimal product made by Taguchi modeling, and the microwave drying method (97.34 %) was successful. Considering the success of Taguchi modeling in the oven drying method; It has been concluded that optimum conditions can be achieved by providing the correlation between the lowest number of experiments (9) and temperature-time-microwave power changes.

Optimum conditions for oven drying have been successfully determined using Taguchi modeling with a constant thickness (3-4 mm) of noodles. As a result of this study, the optimum noodle

drying conditions were determined as 150 °C oven temperature and 90 min drying time for oven drying, while 600 W heating power and 3 minutes drying time were determined for microwave drying.

#### References

- Y. Ertaş, and M. G. Karadağ, *Sağlıklı beslenmede Türk mutfak kültürünün yeri*, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(1), 117-136, 2013.
- M. Mete, and D. D. Altuner, *Eriştenin farklı un katkıları ile zenginleştirilmesi*, Akademik Gıda, 16(2), 252-256, 2018.
- Türk Standartları Enstitüsü. *Erişte Standart*, TS 1295, Ankara, Türkiye, 2003.
- M. Mete, *Kestane Unu Katkısının Eriştenin Bazı Besinsel ve Kalite Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2016.
- S. Yalçın, and A. Başman, *Glütensiz makarna ve erişte üretimi*, 9. Gıda Kongresi, Bolu, Türkiye, 2006.
- B. Demir, *Nohut Ununun Geleneksel Erişte ve Kuskus Üretiminde Kullanım İmkanları Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2008.
- B. Erbay, and E. Küçüköner, *Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemler*, 10. Gıda Kongresi, Erzurum, Türkiye, 2008.
- M. Güllü, and Ş. Karagöz, *Geleneksel gastronomik ürün geliştirilmesi meyveli, sebze ve otlu erişte*, International West Asia Congress of Tourism Research, Van, Türkiye, 2018.
- K. Kemahloğlu, and K. Demirağ, *İzmir'de tüketime sunulan çeşitli firmalara ait erişte ve makarna ürünlerinin bazı kimyasal ve fiziksel kalite nitelikleri*, Akademik Gıda, 16, 60-66, 2018.
- Ü. İ. Konak, M. Certel, and S. Helhel, *Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları*, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3), 20-31, 2009.
- K. M. Knutson, E. H. Marth, and M. Wagner, *Microwave heating of food*. LWT Food Science and Technology, 20, 101-110, 1987.
- N. Kutlu, A. İşçi, and Ö. Ş. Demirkol *Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri*, Gıda, 40(1), 39-46, 2015.
- E. Canıyılmaz, F. Kutay, *Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım*, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(3), 51-63, 2003.
- K. Baynal K, and İ. Gencel, *Taguchi yönteminin gıda sektöründe çok yanıtlu problemin en iyilemesinde uygulanması*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(1),107-121, 2015.
- N. K. I. Mayasti, M. Ushada, and M. Ainuri, *Optimization of gluten free spaghetti products from local food with the taguchi method approach*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 251, 2019.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Web Sitesi. <https://www.mgm.gov.tr>, Erişim Tarihi: 03.09.2019.
- M. Sarı, and S. Karaaslan, *Ananasın mikrodalga ile kurutulması ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 42-50, 2014.
- S. Karaaslan. *Trabzon hurmasının mikrodalga ile kurutulmasında uygun kuruma modelinin belirlenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 8-15, 2014.



# Computer Aided Deep Learning Based Assessment of Stroke from Brain Radiological CT Images

Ali Berkan Ural\*

\*Electrical Electronics Engineering, Biomedical, Kafkas University, Kars, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5176-9280), berkan.ural@kafkas.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1063356)

**ATIF/REFERENCE:** Ural, A.B. (2022). Computer Aided Deep Learning Based Assessment of Stroke from Brain Radiological CT Images. *European Journal of Science and Technology*, (34), 42-52.

## Abstract

The aim of the study is to detect the abnormal area(s) from brain CTs of stroke patients using Image Processing and to accurately evaluate the stroke changes in brain tissues among patients with Deep Learning models in MATLAB 2019b interface. 1000 patients (500 stroke suspected, 500 healthy participants) were chosen between 25 and 75 age ranges from TOBB ETU and Yıldırım Beyazıt University Hospitals according to the ethics committee certificate. For this study, for increasing the accuracy and eliminating the redundancy, from the image data of the patients, only lateral and 4th ventricle CT images were used. Firstly, these images were processed via Image Processing methods (Image Acquisition, Preprocessing, Thresholding, Segmentation, Morphological Operations etc.). After these methods, the resulted lateral ventricle image was split into 6 specific areas and 4th ventricle image was split into 14 specific areas like automated computerized Alberta Stroke Scoring, respectively. For 1000 images, totally  $20 \times 1000 = 20000$  pieces of CT subimages were obtained with the specific class names (as healthy and stroke) and were used as the input of Artificial Intelligence (AI) and Deep Learning (DL) models (optimized ANN with Levenberg-Marquardt method and CNN). This approach can give an important chance to the doctors for supporting their results with a decision support system, speeding up the diagnosis time and also decreasing the possible rate of misdiagnosis.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Deep Learning, Stroke Diagnosis, CAD, Stroke Prevention

## İnmenin Beyin Radyolojik BT Görüntülerinden Bilgisayar Destekli Derin Öğrenmeye Dayalı Değerlendirilmesi

### Öz

Çalışmanın amacı, MATLAB 2019b arayüzünde Derin Öğrenme modelleri ile inme hastalarının beyin BT'lerinden Görüntü İşleme kullanarak anormal alan(lar)ı tespit etmek ve hastalarda beyin dokularındaki inme değişikliklerini doğru bir şekilde değerlendirmektir. TOBB ETÜ ve Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Hastanelerinden 25-75 yaş aralığında 1000 hasta (500 inme şüphelisi, 500 sağlıklı katılımcı) etik kurul sertifikasına göre seçilmiştir. Bu çalışma için hastaların görüntü verilerinden doğruluğu artırmak ve fazlalığı ortadan kaldırmak için sadece lateral ve 4. ventrikül BT görüntüleri kullanıldı. İlk olarak bu görüntüler Görüntü İşleme yöntemleri (Görüntü Toplama, Ön İşleme, Eşikleme, Segmentasyon, Morfolojik İşlemler vb.) ile işlenmiştir. Bu yöntemlerden sonra elde edilen lateral ventrikül görüntüsü 6 spesifik alana bölündü ve 4. ventrikül görüntüsü otomatik bilgisayarlı Alberta Stroke Skorlama gibi sırasıyla 14 spesifik alana bölündü. 1000 görüntü için, belirli sınıflarıyla (sağlıklı ve felçli olarak) toplam  $20 \times 1000 = 20000$  adet BT alt görüntüsü elde edilmiş ve Yapay Zeka (AI) ve Derin Öğrenme (DL) modellerinin (Levenberg ile optimize edilmiş YSA) girdisi olarak kullanılmıştır. Marquardt yöntemi ve KSA). Bu yaklaşım, doktorlara sonuçlarını bir karar destek sistemi ile desteklemeleri, teşhis süresini hızlandırmaları ve olası yanlış teşhis oranlarını azaltmaları için önemli bir şans verebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zekâ, Derin Öğrenme, İnme Tanılama, Bilgisayar Destekli Tanı, İnme Önleme

## 1. Introduction

Radiological imaging systems have commonly used for diagnosis of the health problems for many years. The usage of artificial intelligence and then improved versions of biomedical algorithms in medicine have gained importance in variety of areas [1]. There are many types of lesions in the brain, but especially in the analysis part of the stroke, radiological imaging such as Computerized Tomography (CT) has been chosen as the first imaging modality among doctors [2]. Computer Aided Diagnosis (CAD) systems has been soaringly applied in the field of neurosurgery. In the management phase of the lesions (especially stroke), CAD tools can obtain a vital role as a crucial support decision system in diagnosis, determining and scoring of the stroke in the brain tissues with using CT images of the patients [3].

In medicine, especially in neurosurgery, there has been a scoring theory whose name is Alberta scoring for acute ischemic stroke [4]. In the medical schools, in the lectures which belong to the brain anatomy and neurosurgery, this theory has been told to the students by scientists [4-9]. But for years, in the pre-diagnosis phase of the acute stroke types; self-knowledge, experience and qualification have main roles. Lots of doctors have not chosen to use this theory practically. According to this reason, it is obvious with the statistical values that, in our country approximately %20-25 of the decisions which belonged to the diagnosis of the ischemic stroke were wrong and this issue has given bigger unprecedented legal responsibilities to many doctors and health institutes. In this part, it is clearly seen that, the usage of CAD systems in this area might be a key factor in stroke management with special algorithms with computers and these systems can help doctors in the determining the therapeutic approach of stroke like support decision systems.

In radiology, X-ray imaging is generally used for scanning the affected part of the human body. Indeed, CT imaging modality can be defined as the developed version of the X-ray imaging in detail. However X-ray is faster, easier and cheaper imaging method, recognizing and diagnosing stroke infarcts might decrease the future mortality rate.

Computerized Tomography (CT) has generally used as one of the common methods to diagnose acute stroke [10]. Deep Learning based automated CT image analyses for the detection, interpretation and analyzing the stroke and to distinguish infarcts from the others.

We analyzed studies from 2000 and 2019, in fact all available studies in the literature and there are some studies which belong to diagnosis of the brain lesions and stroke with CAD systems. Indeed, B. URAL achieved an important study with other co-authors in May 2019 whose name was "An improved computer based diagnosis system for early detection of abnormal lesions in the brain tissues with using magnetic resonance and computerized tomography images" [11]. According to the study, the improved automated detection and interpretation CAD approach for brain masses (tumor/lesion) was mainly aimed via using Magnetic Resonance Imaging and Computerized Tomography. Also, according to the literature; Fei et al. developed an AI learning-based system for automated segmentation of the lungs via chest CT [12]. Indeed, Shuai et al., achieved a study that was based on

COVID-19 changes radiologically from CT scans. They developed a deep learning method that can extract the graphical features of the lungs of the infected patients [13].

According to the situations given above, the originality of this system against other CAD studies in literature is more fast and more accurate detection of the stroke in the brain tissues, well-developed analysis and interpretation-scoring algorithms for helping the doctors for improving the accuracy of the obtained results via using specifically improved Image Processing, Pattern Recognition, Decision Making Process with Artificial Intelligence and Deep Learning in MATLAB. Indeed, this system can be developed to new well-designed CAD approaches that will allow the faster identification, scoring and interpretation of the other lesions in human brain in addition to ischemic stroke.

In this study, we have proposed a computer based biomedical diagnosis approach that consists from automated detection with specific image processing methods and deep analyses on stroke suspected CT dataset with trend AI and DL models via MATLAB 2019b interface. These models are the optimized version of Artificial Neural Network (ANN) with Levenberg-Marquardt algorithm and Convolutional Neural Network (CNN). First, lateral and 4th ventricle CT images were processed by Image Processing methods. Second, the resulted image for lateral ventricle was split into 6 specific areas and for 4th ventricle was split into 14 specific areas based on automated and computerized Alberta Stroke Scoring, respectively. For 1000 images, totally  $20 \times 1000 = 20000$  pieces of CT database were obtained and used with the classes of healthy and stroke as the input of AI and DL models (CNN and ANN with Levenberg-Marquardt method). For 20000 images, %80 of the images were used as training and %20 of the images were used as testing in Deep Learning. Also, the novelty of this work can be summarized as according to the MATLAB ANN and CNN-motivated and optimized deep convolutional neural network models, these are more effective pre-trained models than the others. Also, our hybrid methods are more powerful than the techniques in the past. Indeed, in the stroke scoring part, brain scoring field boundaries than can analyze and detect stroke in a broader framework and stroke can be detected with higher success with this analysis. Moreover, with using the specific AI and DL models, fast and hybrid classification is achieved with 5-fold cross validation.

## 2. Material and Method

### 2.1. Dataset of the Study

This study can be classified as the retrospective type of study. The dataset is included totally 1000 images; 500 stroke suspected and 500 healthy participants' images, especially axial scan data of the images was used and these images were chosen between 25 and 75 age ranges from TOBB ETU and Yıldırım Beyazıt University Hospitals according to the obtained ethics committee certificate (from TOBB ETU Clinical Research Ethical Committee with the protocol number of KAEEK-118/019). Also, all images were assessed by Dr. Pınar Akdemir Özışık from Yıldırım Beyazıt University, Medical School, Department of Neurosurgery in detail. The anonymized radiological image clusters were stored in DICOM format and used in jpeg format.

## 2.2. Methodology

This study was generally performed in MATLAB 2019b interface. The proposed study consisted from two fundamental parts was a computer-based, preliminary diagnosis approach that allows for fast detection, early interpretation and accurate prediction of the stroke suspected patients. The goal of the approach was helping doctors and radiologists optimally with a support mechanism. Indeed, the first part of the approach was detecting the abnormal/infected area (ROI) with using specific common image processing methods. Then, the other part was interpretation, automated scoring and prediction of the CT data with using the optimized version of ANN with Levenberg-Marquardt (LM) algorithm and CNN model and finally these models were compared according to the performance metrics. In this step, normal and infected images were predicted with these models and ROC analysis results were compared. During 5-fold cross validation, patients were randomly divided into 5 sets. In each fold, the 5 sets were split by a ratio of 3:1:1, with 3 sets used for training, 1 for validation and 1 for testing. No test cases were part of the training or validation sets for any of the 5 folds in the cross validation. The processes were given in Figure 1 and 2, respectively.

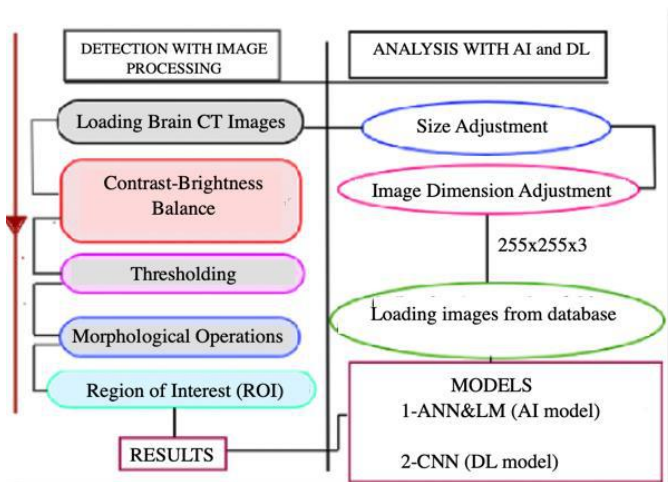


Fig. 1. Stroke detection and interpretation system (vers 1)

### • Load CT image(s)

In this stage, healthy and stroke suspected CT images were loaded to the software and these images were generally used in ‘.jpg’ format for better image acquisition. Also, all images had different size values and all of them were re-sized in 255x255(x3) pixels and used in the gray-level format.

### • Image Filtering

For the pre-processing stage, the first step is the filtering process for CT images which are chosen and uploaded to the interface of the system. The main objective in the filtering process is decreasing the level of possible noise with using Median and Gaussian filtering types [14]. For these types, according to the calculations, 4x4 filter was optimally chosen and applied to the images in this part and the results are stored in the system’s memory [14].

### • Monitoring Contrast-Brightness Balance

In this stage, stroke suspected CT images were re-balanced according to the parameters of contrast and brightness. For this case, Discrete Wavelet Transform were used for obtaining the contrast feature of the images [15]. In this step, with using the transform and “regionprops” method in MATLAB, the gray-co-matrix was obtained with the contrast value from the gray-level images. Then, for all images, the contrast and brightness level was standardized in a specific optimal value (feat=.208- this value was obtained after many practice), so dark images were obtained in the brighter versions and at the end of the process, the details of the images were more sharpened [16].

For this part of the study, 2-Dimensional Discrete Wavelet Transform (DWT) was used. This method was an advanced technique of signal and image processing. This was developed as an alternative version of the short time Fourier transform [17]. The main idea of DWT was to provide the representation of time and resolution properties. The 2-D DWT represented an image in related to a set of shifted and dilated wavelet functions of  $\gamma^{LH}, \gamma^{HL}, \gamma^{HH}$  and the scaling functions  $\phi^{LL}$  that form an orthonormal basis for  $L^2(R^2)$ . Given a 1-scale DWT, an image  $K(a,b)$  of  $N \times N$  was decomposed as Equation (1) and (2) [17].

$$K(a,b) = \sum_{k,i=0}^{N-1} u_{l,k,i} \phi_{l,k,i}^{LL}(a,b) \sum_{B \in B} \sum_{l=1} \sum_{k,i=0}^{N-1} w_{l,k,i}^B \phi_{l,k,i}^B(a,b)$$

$$\phi_{l,k,i}^{LL}(a,b) \equiv 2^{-l/2} \phi(2^{-l}a-k, 2^{-l}b-i), \phi_{l,k,i}^B(a,b) \quad (1)$$

$$\phi_{l,k,i}^B(a,b) \equiv 2^{-l/2} \phi^B(2^{-l}a-k, 2^{-l}b-i), B \in B \quad (2)$$

For these equations, LH, HL, HH were called wavelet or sub-bands.

### • Skull Removal Process

This process is performed by the hybrid combination of the improved version of Gray-level Thresholding, Otsu method and Multi-level thresholding [18-19] and this is named as “Active Segmentation”.

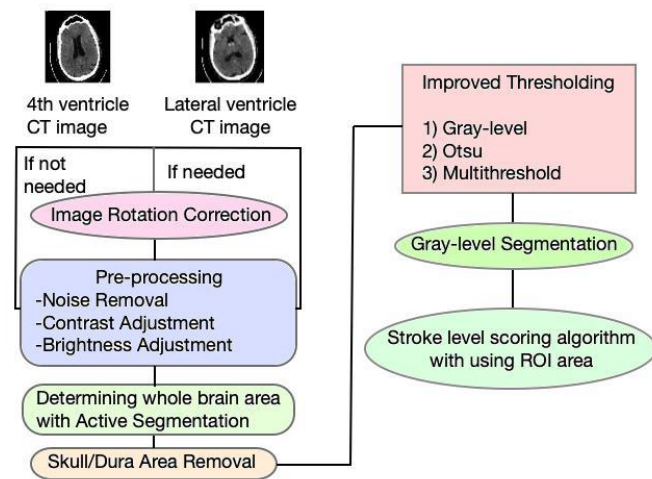


Fig. 2. Stroke detection and interpretation system (vers 2)

## 2.3. Detection of Lesion(s) with Image Processing

The optimal threshold level for the segmentation process is obtained from automatically from uploaded images within the system and according to this step, brain area is clearly extracted from the whole image, so this can give an important chance to eliminate the other redundant areas in the images [20]. For the identification of brain boundaries, a green contour has used for each brain section with a continuously narrowing border region at 500 iterations. Indeed, morphological operations such as erosion, closing, eliminating boundary regions in the images are used for the last step of this process [21]. At the end of the process, the resulted images are successfully obtained in the skull/dura area removed version.

• **Improved Thresholding**

For this stage, the multi-hybrid improved version of thresholding which is combined from the Gray-level, Global, Otsu, Multithreshold methods has been achieved and used within the pre-segmentation part [11, 12, 22, 23, 26]. Contrast can be defined as the difference between the darkest and the brightest area in the image. Traditionally, one simple way for accomplishing the thresholding part is defining a range of brightness value in the original image, then selecting the pixels within the range as belonging to the foreground and rejecting all of other pixels to the background. In the formula of Equation (3) given below,  $f$  is the main image and the  $g$  is the resulted image after the thresholding for the specified value of  $T$ . Indeed, in Figure 3, a graph version of thresholding for a single value is given.

$$g(x, y) = 0; \text{ if } f(x, y) < T \tag{3}$$

$$g(x, y) = 1; \text{ if } f(x, y) > T$$

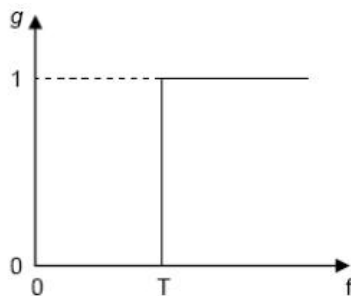


Fig. 3. Thresholding for a single specified value of  $T$

Moreover, for the multilevel thresholding, the formula is given below in Equation (4) and (5). In the equation,  $f$  is the original image and  $g$  is the resulted image.  $c1$  and  $c2$  are the value of the color channels of the image and  $T1$  and  $T2$  are the specified threshold values.

For the first channel ( $c1$ ) of the 2D image;

$$f(x, y); \text{ if } 0 \leq c1(x, y) \leq T1 \tag{4}$$

$$g(x, y) = 0; \text{ if } c1 > T1$$

For the second channel ( $c2$ ) of the 2D image;

$$f(x, y); \text{ if } T2 \leq c2(x, y) \leq 255 \tag{5}$$

$$g(x, y) = 0; \text{ if } c2 < T2$$

At the end of the process, these given methods are combined successfully for the multi-hybrid version of thresholding process.

• **Morphological Operations**

In this step, a specifically defined disk structure element was used on the thresholded image and small unnecessary objects and some redundancies were eliminated in 16 size value [27]. The reason for choosing the disk type of structure element is the circled shape of the whole brain in CT.

• **Regional Based Analysis and Stroke Scoring Process**

For this stage, Alberta acute stroke scoring theory in medical literature was used and this theory was developed to the automated computerized version for identification of stroke. Doctors has generally used their knowledge and experience in the diagnosis phase of ischemic stroke in the diagnosis phase. According to the Alberta Stroke Scoring, from the lateral and 4th ventricle CT images, from the left and right parts of the brain, there are totally 20 different areas (M1, M2, M3, I, L, C, IC, M4, M5, M6 for left and right parts of the brain) for scoring ischemic stroke in detail [28]. Also, for this study, these specific areas (M1, M2, M3, I, L, C, IC, M4, M5, M6 for left and right parts of the brain) are automatically detected from brain images via Active Segmentation method. Moreover, the novelty of this study is that the specific area detection and definition progress have been achieved automatically, more broadly and completely (in Figure 5) than the Alberta stroke scoring theory (in Figure 4).

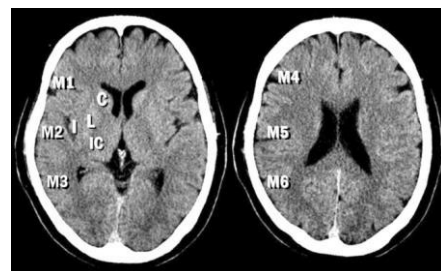
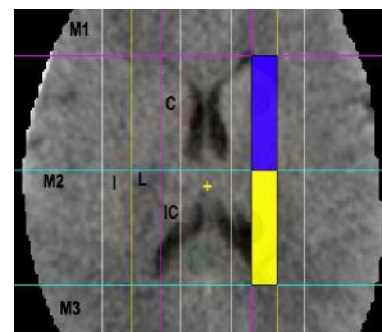


Fig. 4. Alberta scoring theory for identification of acute ischemic stroke



```

RESULTS of SCORING and INTERPRETATION
(inspired by Alberta Scoring and ASPECTS)

if total_val==10
    disp('Normal CT scan');
else if total_val==9 && total_val==8
    disp('~40% of patients with scoring <8 will have mRS 0-1 at 90 days);
else
    disp('~27% of patients with scoring <8 will have mRS 0-1 at 90 days);
end
end
    
```

Fig. 5. Computer aided scoring and interpretation part for stroke

2.4. Analysis/Interpretation Part with AI and DL

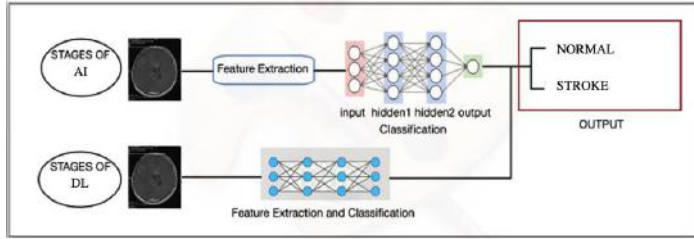


Fig. 6. Interpretation stages of Artificial Intelligence (AI) and Deep Learning (DL)

classify sample stroke infarcts. 5, 10, 15 neurons were in the structure of an ANN that has a single hidden layer. ANN model was obtained/optimized by Levenberg-Marquardt was in training process of the models.

The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm is also known as the damped least-squares method [32]. This algorithm is mainly developed to work specifically with loss functions. Indeed, this works without computing Hessian matrix exactly. Instead of this occasion, it works with the gradient vector and Jacobian matrix [32].

A loss function can be expressed as a sum of squared errors in Equation (6).

$$f = \sum_{k=1}^l e_k^2 \tag{6}$$

In Eq. 5, l is the number of the instances in the image data set.

According to the Jacobian matrix, we can define the loss function as the derivatives of the errors in Equation (7).

$$J_{k,l} = \frac{de_k}{dw_l} \text{ (for } k=1, 2, \dots, i \text{ and } l=1, 2, \dots, j) \tag{7}$$

For Equation (6), i is the number of instances in the data set and j is the number of parameters in the neural network. Moreover, the size of the matrix can be defined as  $i \times j$ . Then, we can approximate the general Hessian matrix with the improvement of the parameters with Levenberg-Marquardt algorithm given in Equation (8).

$$w^{(k+1)} = 1/[w^{(k)} - J^{(k)T} \cdot J^{(k)} + d^{(k)}I] \cdot [2J^{(k)T} \cdot e^{(k)}]. \text{ (for } k=1, 2, \dots) \tag{8}$$

When the damping parameter d is zero, this becomes gradient descent with a small training rate. Generally, d is initialized to be large and if any iterations are resulted in a fail, d is automatically increased. Otherwise, as the loss function decreases, d is decreased in order to approach the LM algorithm.

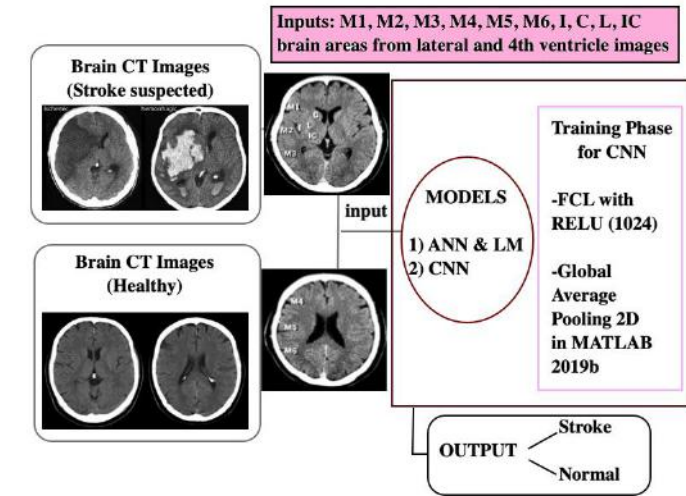


Fig. 7. Schematic representation of the interpretation and prediction of normal and stroke cases

Analysis/Interpretation with Artificial Neural Network (ANN)

Artificial neural networks (ANNs) consist of simple elements working in parallel and mimic the biological nervous system. ANNs are computer systems developed with the aim of automatically realizing the capabilities of the human brain, such as the ability to generate and discover new information through learning, without any assistance [29].

In image processing, images can be represented in matrix form and elements of the matrix contains color information for a pixel [30]. The matrix of the image is used as input data set for ANN. The images with small dimensions provide easy and quick learning process for ANNs. Results proves that ANN can be successfully used to obtain models for image processing applications [31].

ANN based image processing has been widely used in many research fields such as geotechnics, intelligence and surveillance, mechanics, civil engineering. Face recognition technologies and driverless vehicles are among the simplest examples of image processing systems. Google Translate creates the image processing system in its translation application with machine learning and artificial neural networks algorithms.

ANNs play an important role in the application of medical image processing and disease detection. In this paper, Nftool of Matlab software was used to obtain ANN models in order to to

Analysis/Interpretation with Deep Learning

Typically, Deep Learning was a sub-branch of the machine learning area, like the human brain [33]. For recent years, Deep Learning area and its methods has gained popularity in many study areas. Using Artificial Intelligence and Deep Learning has been very common in medicine and with using them, medical data could become more meaningful for scientist and doctors.

There were a lot of studies related to Deep Learning in literature. In contrary, in the analysis of medical dataset, the biggest problem was that there are limited number of dataset which doctors could use. Alike Artificial Intelligence, Deep Learning methods and models specifically needed lots of data. Labeling this data one by one was tough and time consuming. The biggest alternative for using Deep Learning models of Transfer Learning was that allows the training process with fewer data.

Based on Figure 6 and 7, Convolutional Neural Network (CNN) was one of the the basic models of Deep Learning. Indeed, Residual Neural Network was the more improved version model



of CNN. When the network became deeper and bigger; this model prevented the common distortion. The input of the models was the 255x255(x3) size of image and the output was mainly two classes of Stroke and Normal.

After capturing the approach with specific models, in the training phase, a nonlinear function was applied and by this function, every possible negative value was converted to 0. The mentioned activation function was called as Rectified Linear Unit (ReLU) function with the formula in Equation (9).

$$Y = \max(0, X); \tag{9}$$

Then, the specific pooling method was applied in variations of maximum, average and sum pooling [34]. In this approach, average pooling method was chosen and applied because of its efficiency. Average pooling, generally, reduced the dimensions of feature map while maintaining the most important feature values via sliding kernels over the rectified map and capturing the average values. Pooling was applied to make the data highly manageable with the dimension reduction.

For our network structure, preventing the overfitting, the images in the dataset were used with their rotated version from (-30, 30). Then, for the DL model, CNN is chosen and used. In detail, as loss function, binary cross entropy function was used [35]. Also, the training data was trained with 120 epochs, the batch size of 40 and the learning rate of 0.0001. Indeed, for the experimental part, dataset was randomly split into two different dataset with the percentage of %80 and %20 for training and testing. Indeed, for this model, CNN was created, then via the network, weight and bias values were created in the struct form. After using weight and bias as 0 value, learning process was begun and all results were stored and classification was achieved in every iteration.

In this study, we built a deep computerized network model with AI and DL models these models were used for training the whole images with pre-trained and hybrid models and classifying the images as Normal or Stroke.

### 3. Results

The experimental part of the presented study was achieved in MATLAB interface. The radiological images which were used in the system were mainly anonymized CT scans of the patients and the detailed medical interpretation and analyses were made by Dr. Pınar Akdemir Özışık from Yıldırım Beyazıt University.

Regarding the the proposed study, 1000 patients (500 stroke suspected, 500 healthy participants) were chosen between 25 and 75 age ranges from the hospitals of TOBB ETU and Yıldırım Beyazıt University according to the ethics committee certificate. Moreover, stroke cases were given in the graph form in Figure 8.

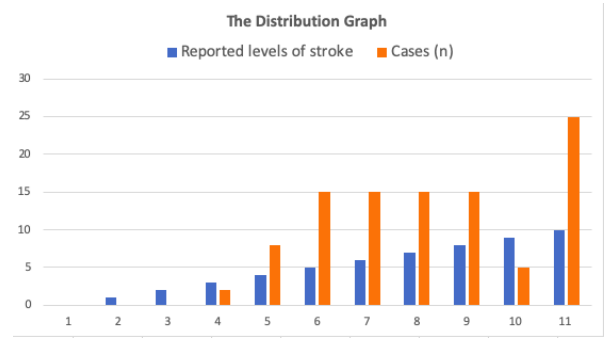


Fig. 8. Distribution of the some stroke levels of the patients with graphical version

This study was consisted from two important parts. The first part was about detecting abnormal area(s) with the combination of specific Image Processing methods. All of the images in the dataset were successfully analyzed and abnormal ROI(s) were obtained in approximately 30 sec, respectively. After the image processing part, in the scoring part, according to the Alberta Stroke Scoring, from the lateral and 4th ventricle CT images, from the left and right parts of the brain, there are totally 20 different areas (M1, M2, M3, I, L, C, IC, M4, M5, M6 for left and right parts of the brain) for scoring ischemic stroke in detail. Also, for this study, these specific areas (M1, M2, M3, I, L, C, IC, M4, M5, M6 for left and right parts of the brain) are automatically detected from brain images via Active Segmentation method. Sample results were given in Figure 9 and 10.

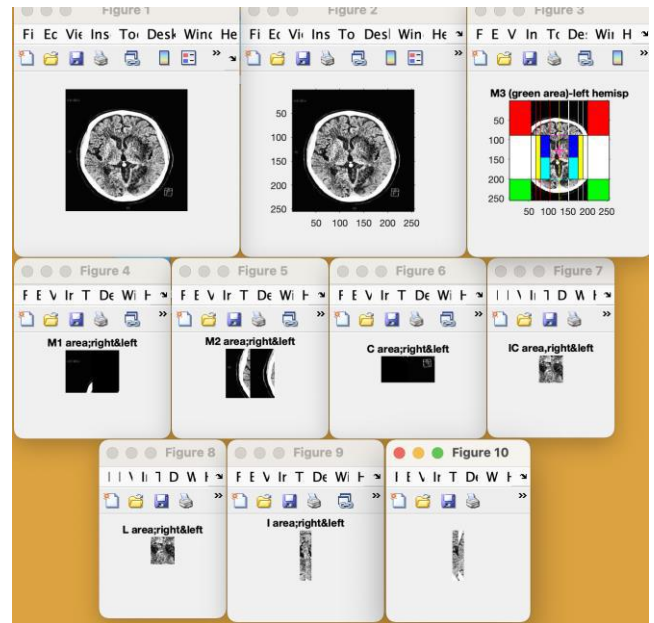


Fig. 9. After image processing, from stroke scoring process, results for 4th ventricle CT image

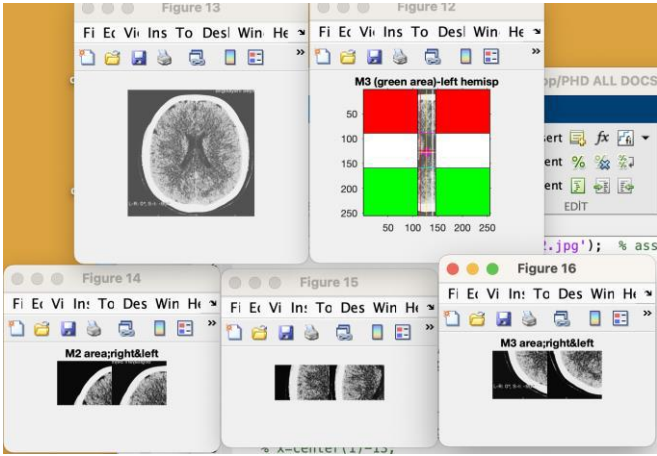


Fig. 10. After image processing, from stroke scoring process, results for lateral ventricle CT image

Indeed, the area under the curve (AUC) was calculated for the AI and DL models. The Dice Score Coefficient (DSC) reflects the amount of overlap between the prediction and the truth in the equation given below.

$$DSC = \frac{2 \times \text{true positive}}{(2 \times \text{true positive} + \text{false positive} + \text{false negative})} \quad (10)$$

This ranges from 0 to 1 and DSC is preferred to the AUC in tasks in which positive and negative samples are imbalanced, as for infarcted pixels/voxels in typical patients with stroke. For this stage, the ratio of accurate diagnosis for the image processing and stroke scoring system was examined and according to the equations given above; this value was calculated manually as 0.90 after rounding/approximation. Given that large lesion areas can bias the volume size predictions without affecting clinical importance, lesion volume predictions in cases with lesions smaller than 150 mL was analyzed. Then, this value was approved with the obtained value from ROC analysis. Moreover, it can be said that the whole system which was developed for the early diagnosis, interpretation and scoring of stroke, especially ischemic stroke can also detect and discriminate the normal and abnormal status of radiological images successfully. In addition, the problematic regions tagged/marked by the physician on these radiological images as containing the stroke area overlapped with the problematic regions detected by our system on the same images. The detection process was thus performed with maximum performance, accuracy and rapidity with MATLAB.

According to the sensitivity analysis was evaluated by varying the threshold involvement value of each MCA region of the brain (M1, M2, M3, I, L, C, IC, M4, M5, M6) on expert-read CT as “>%0” and “>%50” involvement were used for the experimental analyses. It was clear that region-level agreement for our automated identifying method was better than other manual methods of Alberta Scoring.

The second part was related to the prediction/interpretation of stroke areas of suspected patients in MATLAB 2019b with using brain CT data. The improved optimized model of ANN with LM algorithm was used in the AI interpretation part. Indeed, the popular pre-trained model of CNN was used in the DL interpretation part.

From stroke patients included in the dataset (median age 45 years old, %60 male) was consisted generally axial scan CTs. The e-ISSN: 2148-2683

image processing part was tested with using other sample infarcts in the case of area of decreased contrast and radiodensity. After the progress, it was obtained that the hypodensity became more apparent in the output images. The whole assessment was completed in one specific radiodensity value. According to the specific image processing methods, detecting and analyzing ROI processes were achieved successfully in approximately 15 sec.

According to the Figure 11, the mean deviation ranges were clearly given in a distribution graph form in detail. It was obvious that the distribution of the graph was compatible with the mean deviation distribution of scoring results of the test dataset.

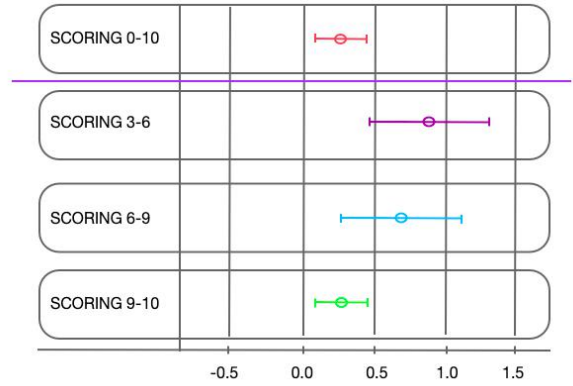


Fig. 11. Mean deviation distribution of the simulated scoring results of the test dataset

For 1000 images, totally 20x1000=20000 pieces of CT database were obtained and used in the specific classes (tagged folders as healthy and stroke) version as the input of Artificial Intelligence (AI) and Deep Learning (DL) models (CNN and pre-optimized ANN with Levenberg-Marquardt method). For 20000 subimages, %80 of the images were used as training and %20 of the images were used as testing in DL part. Also, the selection criteria for the training and test clusters was the random choice. Then, if these images had different size value, the images were converted to the 255x255x3 value for beginning the process of the approach. Then, the resized 20000 subimages were loaded to the software and with using normal images in the created Normal folder and Stroke patients in the created stroke folder and these folders were tagged clearly. Finally, via ANN&LM model and CNN model interpretation was achieved in MATLAB 2019b. Generally, according to the 5-fold cross validation, training accuracy and loss values were given for ANN&LM and CNN in Figure 12 and 13, respectively.

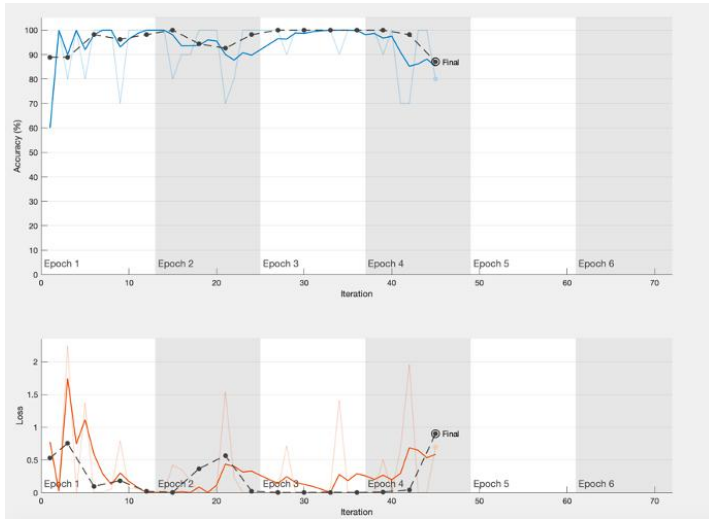


Fig. 12. Results for CNN model for DL part

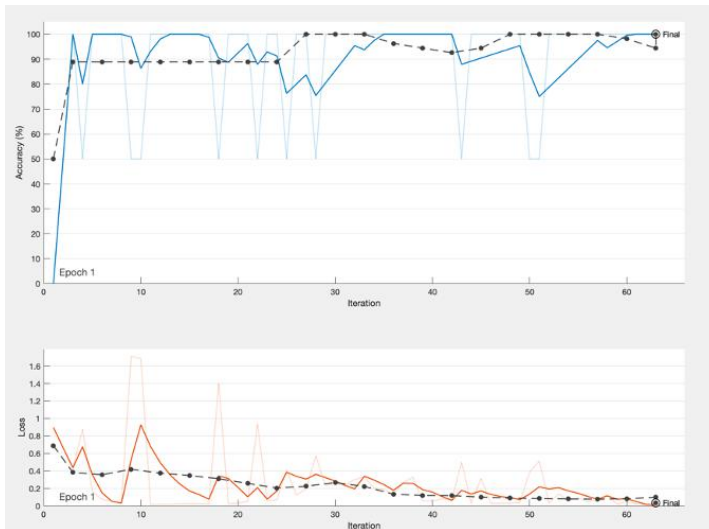


Fig. 13. Results for ANN&LM model for AI part

According to the figures given above, two models were performed in different epochs, approximately; 5 epochs (CNN) and 6 epochs (ANN&LM). Firstly, according to the Figure 12, the distribution of prediction of the data was changed slightly for the training (%80) and test (%20). When we investigate in detail, the prediction process continued for approximately the half of the total epochs and at the final stage, the result was stabilized in the value of %90, so according to the training process, for CNN, the total prediction accuracy value was obtained as %90. Secondly, according to the Figure 13, the distribution was shown with some fluctuation. Also, the fluctuation could be unstable and it was obvious that, the final of the model was concluded at the rate of %98,5, so the second highest performance was obtained from optimized AI model.

Moreover, the training loss outputs were given above in Figure 12 and 13 with red color, respectively. When the outputs of loss values for CNN and ANN&LM models, loss values had an unstable fluctuation during the training stage. It could be said that in the graph of optimized model, loss values decreased rapidly and approached to zero value.

## 4. Discussion

Classical and modern CAD systems have some similarities and differences in some ways. Both of them are trained by using labelled data, this method can be classified as supervised learning. The labeling of the images is generally completed with a human expert. Besides the importance of this step to the process, the training dataset could be less prone to overfitting. However, large datasets are not easily obtained and also tagging/labelling process can be sometimes time-consuming. If there may be some errors in the images, this progress can be difficult and time-consuming for doctors and radiologists. Pattern Recognition process of the study in these methods, CAD medical systems can usually be used in preprocessing of medical images, detecting of ROI area and automatically extracting features from the imageset.

Knowledge of the size and case of an acute infarct is very crucial in clinical decision-making. In the presented study, a software adapted-based stroke diagnosis, scoring and interpretation system for early diagnosis of ischemic stroke was described in detail. Automated image analysis of ischemic stroke with the support of image processing, pattern recognition and decision processes were commercially achieved in this study. With the combination of these methods, the specific computer based diagnosis of (acute) stroke from CT images was attempted.

In this study, we presented two fundamental parts of our approach on brain CT images. The first part was detecting the abnormal areas in the brain with specific image processing methods in detail. The other part was evaluating, scoring and interpretation of the images of stroke suspected patients with using the optimized ANN&LM model and CNN.

Indeed, a successful attempt was also made to detect the case of hyperdense middle cerebral artery (MCA) dot sign among CT images. To accomplish some visually redundant areas, the Sylvian fissure region was automatically detected and the size parameters of this area was saved to the workspace. Then, after the center dot sign of the images was obtained, according to the size value the I, C, IC, L areas were clearly defined and obtained. Then, finally, the top and bottom last points were obtained and with using these, M1, M2, M3, M4, M5, M6 areas were clearly obtained on the CTs. There were totally 10 areas and each area was calculated as if ROI was obtained in the stroke area; 1 point was given to this evaluation. Otherwise, 0 point was given the final evaluation. A schematic diagram of the system and the accuracy analysis process are shown in Figure 14.

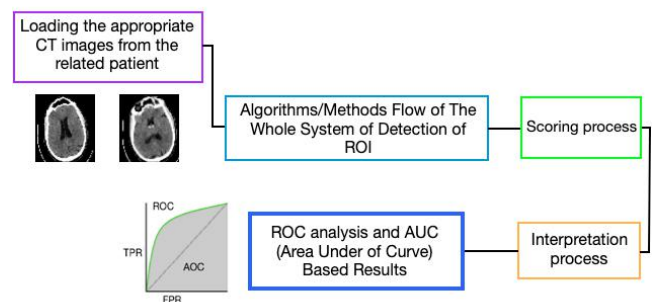


Fig. 14. Schematic diagram of the methods and the performance analysis of the system

According to the experimentation, images were classified with important performance scores for all models. According to the ROC (Receiver Operating Characteristics) results, the accuracy results were obtained for CNN as %90 and for ANN&LM as %98,5, respectively. Some different ROC results were given in Figure 15.

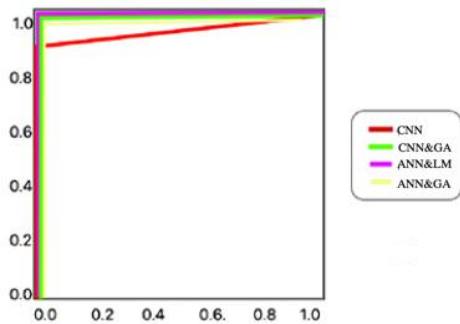


Fig. 15. Receiver Operating Characteristics (ROC) analysis results for the specific models

Table 1. Model Performance and Comparison Between CNN, ANN and the optimized version

Model	AUC (Area under the curve)	DSC (Dice score coefficient)	Sensitivity	Specificity
CNN	0.90	0.59	0.55	0.98
CNN&GA	0.95	0.50	0.76	0.96
ANN&LM	0.985	0.46	0.80	0.95
ANN&GA	0.93	0.53	0.67	0.97
P value	<.001	.002	<.001	<.001

According to the performance metrics of the different specific methods, models used in this study (our proposed study), providing a comprehensive analysis and estimation of the (acute) stroke lesion that includes area of edema and hemorrhagic case, could serve as a marker for the patient selection in the pre-diagnosis area.

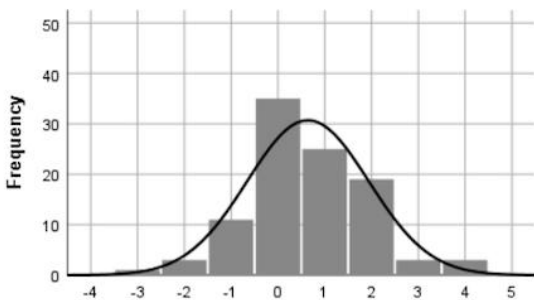


Fig. 16. Variation distribution of stroke detected images

Moreover, data were analyzed from September 1, 2000 to August 1, 2021. Statistical analysis was achieved using Stata, Version 13.0 (StataCorp LLC). Paired sample Wilcoxon tests were performed to compare the area under the curve, DSC, sensitivity, specificity, lesion volume error. Concordance correlation coefficient (p value) and Bland-Altman plots were also used to investigate the lesion volume predictions. Because infarct sizes were not normally distributed, cubic transformation was used for the concordance correlation calculation. According to Figure 16, the correlation was considered successful for  $p >$

0.65, moderate for  $p = 0.5$  to 0.65 and low for  $p < 0.50$ . Also, more shorter duration periods were obtained from the severe stroke patients than the moderate stroke patients, which indicates that these patients could have presented at an early stage of disease. This was also confirmed by the loss distribution of the data.

This section includes studies about stroke diagnosis. Table 2 presents all objectives on stroke diagnosis, DL techniques, features, sample size and result of the model. MRI and CT scans are generally used in stroke diagnosis. According to the table, it is obvious that our approach is significantly successful than the other related studies.

Table 2. Comparative Analysis For Stroke Detection Using Deep Learning Methods

Ref. Number	Authors (Study)	Input data	Methods	Result
[36]	Biswas M., Kuppili V., Araki T. et al. (2018)	Ultrasound images	DLfor segmentation	Error on set DL= 0.126±0.134
[37]	Bacchi S., Zerner T., Oakden-Rayner L. et al. (2019)	Brain CT images	CNN, ANN	For NIHSS24: ACC=0.71; For mRS90: ACC=0.74 F1 scoe=0.69
[38]	Ming Sian, Lee (2014)	CT/MRI images	Morphology	AUC=85%
[39]	Chiun-li-Chin (2017)	CT/MRI images	CNN	AUC>90%
[40]	Arouj Ahmed Qureshi (2018)	EEG	MLP and Decision Tree	AUC=95%
X	Our Approach	CT/MRI images	AI (optimized ANN) and DL (CNN)	For AI: AUC>90% For DL: AUC>98.5%

## 5. Conclusions

There were some limitations in the presented study. First, we could not have all of the CT scan data of every patients, so if we had, we could achieve more succesfull detection, evaluation and interpretation results. In the contrary, with using the limited number of dataset, we obtained highly important and successful results from the our approach. With using the limited number of data, we successfully used pre-trained Deep Learning models for fast detection and accurate evaluation. Last, although this software can be used commercially and this still needs radiologists' and doctors' supervision and advice.

There are some advantages of the study. The whole software has important advantages and these can help doctors for early diagnosis of (acute) ischemic stroke in addition to the area of CAD systems. According to the development process and the

obtained results, it is important that this system can be more adapted with the Machine Learning, Artificial Intelligence methods as well as Deep Learning methods. In conclusion, this study can be developed for using with the other specific lesions in other parts of the human body, too.

## Conflicts Of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## References

- [1] Krittanawong, C., Zhang, H., Wang, Z., Aydar, M., Kitai, T., "Artificial Intelligence in Precision Cardiovascular Medicine", *Journal of American College of Cardiology*, 69(21):2657-2664, (2017).
- [2] Bryan, R.N., Levy, L.M., Whitlow, W.D., Killian, J.M., Preziosi, T.J., Rosairo, J.A., "Diagnosis of acute cerebral infarction: comparison of CT and MR imaging", *American Journal of Neuroradiology*, 12(4):611-620, (1991).
- [3] Tyan, Y.S., Wu, M.C., Chin, C.L., Kuo, Y.L., Lee, M.S., Chang, H.Y., "Ischemic stroke detection system with a computer-aided diagnostic ability using an unsupervised feature perception enhancement method", *Journal of Biomedical Imaging*, 19:9, (2015).
- [4] Pexman, J.H.W., Barber, P.A., Hill, M.D., Sevick, R.J., Demchuk, A.M., Hudon, M.E., Hu, W.Y., Buchan, A.M., "Use of The Alberta Stroke Program Early CT Score (ASPECTS) For Assessing CT Scans In Patients With Acute Stroke", *American Journal Of Neuroradiology*, 22(8):1534-1542, (2001).
- [5] Yoo, A.J., Zaidat, O.O., Chaudhry, Z.A., Berkhemer, O.A., Gonzales, R.G., Goyal, M., Demchuk, A.M., Menon, B.K., Muallem, E., Ueda, D., Buell, H., Sit, S.P., Bose, A., "Impact Of Pretreatment Noncontrast CT Alberta Stroke Program Early CT Score On Clinical Outcome After Intra-Arterial Stroke Therapy", *Stroke*, 45(3):746-751, (2014).
- [6] Demchuk, A.M., Hill, M.D., Barber, P.A., Silver, B., Patel, S.C., Levine, S.R., "Importance Of Early Ischemic Computed Tomography Changes Using ASPECTS In Ninds Rtpa Stroke Study", *Stroke*, 36(10):2110-2115, (2014).
- [7] Aviv, R.I., Mandelcorn, J., Chakraborty, S., Gladstone, D., Malham, S., Tomlinson, G., Fox, A.J., Symons, S., "Alberta Stroke Program Early CT Scoring Of CT Perfusion In Early Stroke Visualization and Assessment", *American Journal Of Neuroradiology*, 28 (10):1975-1980, (2007).
- [8] Iihara, K., Nishimura, K. Kada, A., Nakagawara, J., Ogasawara, K., Ono, J., Shiokawa, Y., Aruga, T., Miyachi, S., Nagata, I., Toyoda, K., Matsuda, S., Miyamoto, Y., Suzuki, A., Ishikawa, K.B., Kataoka, H., Nakamura, F., Kamitani, S., "Effects Of Comprehensive Stroke Care Capabilities On In-Hospital Mortality Of Patients With Ischemic And Hemorrhagic Stroke: J-ASPECT Study", *PLOS ONE*, 9 (5), e96819, (2014).
- [9] Herweh, C., Ringleb, P.A., Rauch, G., Gerry, S., Behrens, L., Möhlenbruch, M., Gotfort, R., Richter, D., Schieber, Nagel, S., "Performance Of e-ASPECTS Software In Comparison To That Of Stroke Physicians On Assessing CT Scans Of Acute Ischemic Stroke Patients", *International Journal Of Stroke*, 11 (4):438-445, (2016).
- [10] Puetz, V, Dzialowski, M., Hill, D., Demchuk, M., "The Alberta Stroke Program Early CT Score in Clinical Practice: What have We Learned", *International Journal of Stroke*, 4(5):354-364, (2019).
- [11] Ural, B., Özişik, P., Hardalaç, F., "An Improved Computer Based Diagnosis System For Early Detection Of Abnormal Lesions In The Brain Tissues With Using Magnetic Resonance and Computerized Tomography Images", *Multimedia Tool and Applications*, (2019).
- [12] Ural, B., "A Computer-Based Brain Tumor Detection Approach with Advanced Image Processing and Probabilistic Neural Network Methods", *Journal of Medical and Biological Engineering*, 38(6):867-879, (2018).
- [13] Jeena, R.S., Kumar, S., "A comparative analysis of MRI and CT brain images for stroke diagnosis", *2013 Annual International Conference on Emerging Research Areas and 2013 International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy*, Kanjirapally, 1-5, (2013).
- [14] Rajini, N.H., Bhavani, R., "Computer Aided Detection of Ischemic Stroke Using Segmentation and Texture Features", *Measurement*, 46(6): 1865-1874, (2013).
- [15] Ali, S.M., Abood, L.K., Abdoon, R.S., "Brain Tumor Extraction in MRI images using Clustering and Morphological Operations Techniques", *International Journal of Geographical Information System Applications and Remote Sensing*, 4(1), (2013).
- [16] Georgantzoglou, A., Silvia, J., Jena, R., "Image Processing with MATLAB and GPU-Open access peer reviewed chapter". September, (2014).
- [17] Saini, L.K., Shrivastava, V., "Analysis of Attacks on Hybrid DWT-DCT Algorithm for Digital Image Watermarking With MATLAB", *Cryptography and Security*, 2(3):123-125, (2014).
- [18] Suzuki, H., Toriwaki, J., "Automatic Segmentation Of Head MRI Images By Knowledge Guided Thresholding", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 15(4): 223-240, (1991).
- [19] Yu-qian, Z., Wei-hua, G., Zhen-cheng, C., Jing-tian, T., Ling-yun, L., "Medical Images Edge Detection Based on Mathematical Morphology", *IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, (2005).
- [20] Yuskevich, P.A., Piven, J., Hazlett, H.C., Smith, R.G., Ho, S., Gee, J.C., Gerig, G., "User-Guided 3D Active Contour Segmentation Of Anatomical Structures: Significantly Improved Efficiency And Reliability", *NeuroImage*, 31(3):1116-1128, (2006).
- [21] Dhawan, A. P., Chitre, Y., Kaiser-Bonasso, C., "Analysis Of Mammographic Microcalcifications Using Gray-Level Image Structure Features", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 15(3), (1996).
- [22] Sujji, G.E., Lakshmi, Y.V.S., Jiji, G.W., "MRI Brain Image Segmentation Based On Thresholding", *International Journal of Advanced Computer Research*, 3(1), (2013).
- [23] Yuncong, F., Haiying, Z., Xiongfei, L., Xiaoli, Z., Hongpeng, L., "A Multi-Scale 3D Otsu Thresholding For Medical Image Segmentation", *Digital Signal Processing*, 60, 186-199, (2017).
- [24] Manikandan, S., Ramar, K., Ihuthayarajan, M.W., Srinivasagan, K.G., "Multilevel Thresholding For Segmentation Of Medical Brain Images Using Real Coded Genetic Algorithm", *Measurement*, 47, 558-568, (2014).
- [25] Ming-Ni, W., Chia-Chen, L., Chin Chen, C., "Brain Tumor Detection Using Color-Based K-Means Clustering Segmentation", *IEEE Third International Conference on*

- Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, (2017).
- [26] Dzialowski, I., Hill, M.D., Coutts, S.B. Demchuk, A.M., Kent, D.M., Wunderlich, O., vom Kummer, R., "Extent of Early Ischemic Changes on Computed Tomography (CT) Before Thrombolysis", *Stroke*, 37(4):973-978, (2006).
- [27] Chen, C.W., Luo, J., Parker, K.J., "Image Segmentation via Adaptive K mean Clustering and Knowledge-Based Morphological Operations with Biomedical Applications", *IEEE Transactions on Image Processing*, 7(12):1673- 1683, (1998).
- [28] Hassoun, M. "Fundamentals of Artificial Neural Networks", MIT Press, (A Bradford Book), (2003).
- [29] Gonzales, R.C., Woods, R.E. "Digital Image Processing 4th Edition", (2017).
- [30] Mehdy, M.M., Ng, P.Y., Shair, E.F., Md Saleh, N.I., Gomes, C., "Artificial Neural Networks in Image Processing for Early Detection of Breast Cancer" *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, (2017).
- [31] Shenbagarajan, A., Ramalingam, V., Balasubramanian, C., Palanivel, S., "Tumor Diagnosis in MRI Brain Image using ACM Segmentation and ANN-LM Classification Techniques", *Indian Journal of Science and Technology*, 9(1), (2016).
- [32] Khehra, B.S., Pharwaha, A.P.S., "Classification of Clustered Microcalcifications Using A MLFFBP-ANN and SVM", *Egyptian Informatics Journal*, 17(1):11-20, (2016).
- [33] Sankupellay, M., Konovalov, M., "Bird Call Recognition Using Deep Convolutional Neural Network, ResNet-50", *Acoustics*, (2018).
- [34] Macêdo, D., Zanchettin, C., Oliveira, A., Ludermir, T., "Enhancing Batch Normalized Convolutional Networks Using Displaced Rectifier Linear Units: A Systematic Comparative Study", *Expert Systems with Applications*, 124, 271-281, (2019).
- [35] Kawahara, J., Hamarneh, G., "Multi- Resolution-Tract CNN with Hybrid Pretrained and Skin-Lesion Trained Layers, In: Wang L, Adeli E, Wang Q, Shi Y, Suk HI. (eds) *Machine Learning in Medical Imaging (MLMI)*", *Lecture Notes in Computer Science*. 10019, Springer, Cham, (2016).
- [36] Biswas, M., Kuppili, V., Araki, T., Edla, D.R., Godia, E.C., Suri, H.S., Omerzu, T., Laird, J.R., Khanna, N.N., Nicolaidis, A., Suri J.S., "Deep learning strategy for acute carotid intima-media thickness measurement: an ultrasound study on japanese diabetic cohort", *Computers in Biology and Medicine*. 98:100-117, (2018).
- [37] Bacchi, S., Zerner, T., Oakden-Rayner, L, Kleinig, T., Patel, S., Jannes, J., "Deep learning in the prediction of ischemic stroke thrombolysis functional outcomes: A pilot study", *Academic Radiology*, (2019).
- [38] Tyan, Y.S., Ming-Chi, W., Chiun-Li, C., Yu-Liang, K., Ming-Sian, Lee, Hao, Yan, C., "Ischemic stroke detection system with a computer aided diagnostic ability using an unsupervised feature perception enhancement method", *International Journal of Biomedical Imaging*, (2014).
- [39] Chen-Ying, H., Wei-Chen, C., Po-Tsun, L., Chin-Heng, L., Chi-Chun, L., "Comparing deep neural networks and other machine learning algorithms for stroke prediction in a large scale population-based electronic medical claims database", In 2017 39<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 3110-3113, (2017).
- [40] Qureshi, A.A., Canxiu, Z., Rong, Z. and Elmeligi, A., "Ischemic stroke detection using EEG signals", In *Proceedings of the 28<sup>th</sup> Annual International Conference on Computer Science and Software Engineering*. 301-308, (2018).



# **Cu<sub>2</sub>O ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanopartiküllerin Motor Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi**

Gürsel Çınar<sup>1</sup>, Oğuzhan Akyüz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü / Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7923-2212), [gcinar@erciyes.edu.tr](mailto:gcinar@erciyes.edu.tr)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0814-9630),  
[m.oguzhanakyuz@gmail.com](mailto:m.oguzhanakyuz@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1064145)

**ATIF/REFERENCE:** Çınar, G. & Akyüz, O. (2022). Cu<sub>2</sub>O ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanopartiküllerin Motor Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 53-61.

## **Öz**

Bu çalışmada, günümüz içten yanmalı dizel motorları için yakıt şartları göz önüne alınarak çevre kirliliğini ve yakıt ekonomisini gelecek zamanlarda rahatlatmak amaçlı yakıt teknolojisinde mevcut kullanılan yakıtların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Cu<sub>2</sub>O ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano partiküllerin 50 ve 100 ppm olarak dizel yakıtına katılması durumunda motor performans ve egzoz emisyonlarının etkisi incelenmiştir. Ultrasonik bir karıştırıcı kullanılarak yakıt karışımı hazırlanmıştır. Nano partiküller doğada bulunması ve ulaşılabilirliği kolay olan iki malzemeden seçilmiştir. Normal şartlarda dizel yakıtla çalışan ve yüksek güç gerektiren yerlerde kullanılan, büyük hacimli bir motor seçilmiştir. Bu motor toplu taşıma araçlarında kullanılmakta olup, tarım ve yük taşımacılığı yapılan araçlarda kullanılan motorlara benzerlik göstermektedir. Hazırlanan yakıtlar, 6 silindirli 11670 cc lik dizel motorda 600 dev/dk da, 50, 100, 150 ve 200 Nm tork değerleri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyde farklı yük şartları altında nano partiküllerin farklı özellikler sergilediği ve yük arttıkça sağlanan faydanın da arttığı gözlemlenmiştir. Nano partiküllerin verimi artırdığı tespit edilmiş, bu değerler arasında 100 ppm yakıt karışımlarında maksimum verim değerleri elde edilmiştir. 100 ppm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımının CO değerleri saf dizel yakıtına göre yüksek olduğu, 50 ve 100 ppm Cu<sub>2</sub>O ile 50 ppm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışım yakıtlarının CO değerlerinin saf dizele göre daha düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Nano partikül, Dizel yakıtı, Motor, Verim, Emisyon, Yanma

## **Investigation of the Effects of Cu<sub>2</sub>O and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles on Engine Performance and Emissions**

### **Abstract**

In this study, considering the fuel conditions for today's internal combustion diesel engines it is aimed to improve the fuels used in fuel technology in order to relieve environmental pollution and fuel economy in the future. During the study, the effect of engine performance and exhaust emissions were investigated by adding Cu<sub>2</sub>O and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles to diesel fuel as 50 and 100 ppm. The fuel mixture was prepared by using an ultrasonic mixer. Nanoparticles were chosen from two materials that are common and accessible in the nature. A large-volume engine was chosen, which normally works with diesel fuel and is used under conditions that require high power. The engine is a type used in public transportation vehicles and is similar to the engines used in agricultural and transportation vehicles. The prepared fuels were tested under torque values of 50, 100, 150 and 200 Nm at 600 rpm in a 6-cylinder 11670 cc diesel engine. In the experiment, it was observed that the nanoparticles illustrated different properties under different load conditions and the utility increased as the load increased. It has been determined that nanoparticles increase efficiency, and maximum efficiency values were obtained by 100 ppm fuel mixtures among these values. It has been observed that the CO values of 100 ppm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mixture are higher than pure diesel fuel, and the CO values of 50 and 100 ppm Cu<sub>2</sub>O and 50 ppm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mixed fuels are lower than that of pure diesel.

**Keywords:** Nanoparticles, Diesel fuel, Engine, Efficiency, Emission, Combustion

Sorumlu Yazar: [gcinar@erciyes.edu.tr](mailto:gcinar@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Dizel yakıt kullanan araçlarda, yanma sonunda, partikül madde, nitrik oksit, yanmamış hidrokarbonlar, karbon monoksit, karbondioksit ve toksit maddeler oluşur ve çevreye yayılarak hava kirliliğine sebep olurlar. Bu nedenle, araç ve yakıt sektörü farklı arayışlar içerisine girmiştir. Birçok firma yatırımlarını çevreci ve alternatif yakıtlar üzerine planlamaktadır. Otomobil firmaları Avrupa emisyon standartları programına göre kendilerini hazırlamaktadır [1]. Bilindiği üzere tarım, ulaşım ve savunma sanayinde kullanılan birçok büyük hacimli dizel yakıtlı motor senelerdir kullanılmaktadır. Petrol yakıtlarının en verimli şekilde kullanılması, gerektiğinde katkı maddeler ilave edilerek motor performansının artırılması ve emisyon değerlerinin azaltılması için çalışmalar sürdürülmektedir.

Aksi takdirde bu yakıtlar daha fazla çevre kirliliğine neden olur ve küresel ısınmayı artırır. HC, CO, NOx gibi dizel motorlardan kaynaklanan zararlı kirleticiler ve kükürt oksit, çevresel kirliliğin ana kaynağıdır. Bu kimyasal kirleticiler, canlı türlerinde çeşitli bulaşıcı hastalıklara ve asit yağmurlarına neden olur [2]. Dizel motorlar yüksek verim, yüksek yük taşıma kapasitesi, yüksek tork üretimi gibi nedenlerden dolayı deniz ve karayolu taşımacılığında yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ulaşım sektöründe de küçük ve büyük dizel motorlar kullanılmaktadır. Dizel motorlarda yakıtta bazı katkı maddeleri ilave edilerek performans değerleri artırılırken emisyon değerleri de azaltılabilmektedir. Venu ve Madhavan deneysel çalışmalarında, farklı enjeksiyon zamanlamalarında biyodizel (%20)-dizel (%70)-etanol (%10) karışımlarına Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıklarının etkisi incelemiştir. Çalışmalarında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile enjeksiyon zamanlamasının ilerletilmesi durumunda, daha yüksek silindir basıncı ve üst ölü noktaya yakın ısı salınım oranını elde etmişlerdir. Daha uzun yanma süresi, daha az ateşleme gecikmesi ve en düşük özgül yakıt tüketimi olduğu gözlemlenmiştir [3].

Dhahad ve ark. Dizel yakıtta nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve nano-TiO<sub>2</sub> ilavesinin etkilerini incelediler. TiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ün ilavesinin verimi %18,9'dan %24,25'e ve %20,45'e sırası ile arttığını belirttiler [4]. Jian-wei, Qiong ve Zhao nano bakır ilavesinin diesel motorların egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Dizel motor testlerinde yaptıkları deneylerde, partikül madde (PM), CO ve HC emisyonlarında sırası ile %99,9, %81,30 ve %33,33 oranında azaldığını ifade etmişlerdir [5].

Ag-TiO<sub>2</sub> nano katkı maddelerinin dizel/Jatropha biyodizel karışımları ile yapılan deneysel çalışmada, tam yükte TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının eklenmesinin verime %3,3'lük artış olduğu, HC emisyonunda %12 ve CO emisyonlarında ise %14 lik bir azalma olduğu belirtilmiştir [6] Chen ve ark. Alüminyum oksit, silikon oksit ve karbon tüp katkı maddelerinin bir dizel motorda performans ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. Sabit 1800 dev/dk da, farklı yük durumları için yaptıkları çalışmada, verimde %18,8 kadar artış olduğu, yanmanın belirgin şekilde iyileştiğini belirtmişlerdir [7]. Channappagoudra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parçacık ilavesinin diesel motorda etkisini deneysel olarak incelemiştir. Modifiye motor ve geleneksel motor şartlarında yaptığı deneylerde, tam yükte, modifiye motorda B20-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+75 ppm yakıt karışımının, tek B20 yakıt karışımıyla çalıştırılan temel motora kıyasla verimde %9,33 artış olduğunu ve HC emisyonunda %22,5 CO emisyonunda ise %20,78 azalttığını belirtmiştir [8]. Aalam ve ark. %20 Mahua biyodizel karışımı ile alüminyum oksit nanoparçacıkları ekleyerek deneysel motor

performansını ve emisyonlarını analiz etmiş ve tatmin edici sonuçlar elde etmişlerdir [9]. Rathinam ve ark. dizel motor için biyodizel ve karışımları ile nanopartiküller ekleyerek bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. CeO<sub>2</sub> nanopartikül kullanılmasında CO emisyonunda %4,2 ve HC emisyonunda %3,6 azalma olduğu belirtmiştir [10]. Devarajan ve ark. biyodizelde nano partiküllerin karıştırılmasıyla dizel motor emisyon ve performans analizini amaçlayan kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar, CuO'yu mahua yağı biyo-dizelinde (BD-100) nano-parçacık kullanarak sonuçlarını analiz etmişlerdir [11]. Manigandan ve ark. farklı nano partikülleri, %20 hidrojen ilavesi ve farklı yüklerde yapılan deneylerde, CeO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı maddelerinin verimi sırası ile %4,3 ve %2,5 oranında artırdığını belirtmişlerdir [12]. Yuvarajan ve ark. TiO<sub>2</sub> katkı maddesinin performansını incelediler ve katkı maddesi ilavesi ile motor performans değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir [13]. Sadhik Basha ve Anand, jatropha biyodizel yakıtı ve nanopartikül karışımı jatropha biyodizel yakıtının performans, emisyon ve yanma özellikleri, tek silindri sabit hızlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motor için araştırılmışlardır. Nano partiküllerin, NOx ve duman emisyonlarını azalttığını, ve termal verimi %24,9 değerinden %28,9 değerine artırdığını test etmişlerdir [14]. Gumus ve ark. CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano partiküllerinin motor performans ve emisyonlarına etkisini incelediler. Nano partiküllerin kullanılmasının torku ve gücü artırdığını, CO, HC ve NOx azalttığını belirttiler [15].

Bu çalışmada toplu taşıma aracına ait 6 silindri dizel bir motorun, performansını ve yanma özelliklerini emisyon ile analiz etmek için farklı konsantrasyonlarda (50 ppm ve 100 ppm) bakır oksit ve alüminyum oksit nanoparçacıkları dizel yakıt üzerine ultrasonik karıştırıcıda hazırlanmıştır. Düşük devirde (600 d/d) sabit tutulan motor farklı yükler altında (50 – 100 – 150 – 200 Nm) silindir içi basınç, yakıt tüketimi, emisyon ve verim açısından değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Motorlar laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 6 silindri, su soğutmalı, 4 zamanlı 11670 cm<sup>3</sup> lük motorda yapılmıştır. Tablo 1 motor özelliklerini göstermektedir. Şekil-1 deney düzeneğini şematik göstermektedir.

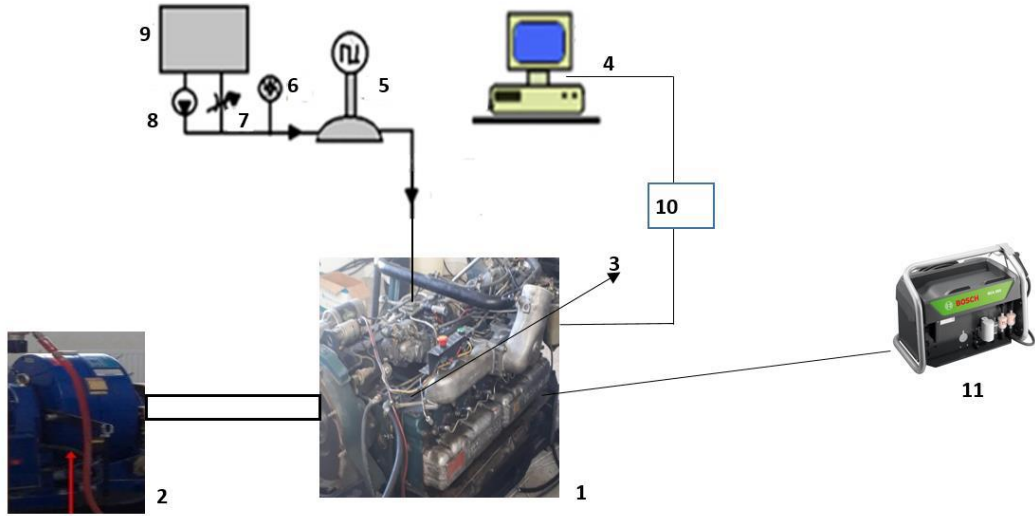
Tablo 1. Dizel Motor Özellikleri

Table 1. Diesel Engine Specifications

Motor	Nissan PE6H
Silindir Sayısı	Sıralı 6 silindir
Maximum devir (rpm)	2300
Maksimum Tork (Nm)	814 Nm @ 1300 rpm
Sıkıştırma oranı	16:1
Maksimum Güç (kW)	169 kW @ 2200 rpm
Çap x Strok (mm – mm)	133 - 140
Toplam Silindir Hacmi (cm <sup>3</sup> )	11670



Devir ve tork değerlerinin ölçümleri SAJ SE 150 eddy-current dinamometre ile, emisyon ölçümleri Bosch BEA 060 cihazı ile, silindir basınç ölçümleri PCB 113B22 piezoelektrik basınç transducer cihazları ile yapılmıştır.



- 1- Motor 2- Eddy Curent 3- Basınç Ölçer 4- Bilgisayar (tork ve yük kontrol) 5- Yakıt debi ölçer 6- Yakıt basınç ölçer 7- Yakıt vanası 8- Yakıt pompası 9- Yakıt tankı 10- Basınç ölçer data loger 11- Emisyon ölçer

Şekil 1. Motor Test Sistemi

Figure 1. Engine Test System



(a)



(b)

Şekil 2. Hassas terazi (a) ultrasonik karıştırıcı (b)

Figure 2. Precision balance (a) ultrasonic mixer (b)

Tablo 2. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cu<sub>2</sub>O nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri  
Table 2. Physical and Chemical Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cu<sub>2</sub>O

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cu <sub>2</sub> O
Safılık (%)	> 99,5	Safılık (%)	> 99,95
Renk	Beyaz	Renk	Kızıl Kahve
Ortalama Parçacık Boyutu (nm)	18,0	Ortalama Parçacık Boyutu (nm)	16,0
Özgül Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	140,0	Özgül Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	55,0
Özgül Isı (J/Kg.K)	890,0	Erime Noktası (°C)	1240,0
Gerçek Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )	3900,0	Kaynama Noktası (°C)	1800,0
Element Analizi	(Ca 25 ppm)(Fe 80 ppm)(Cr 4 ppm)(Na 70 ppm)(Mn 3 ppm)(Co 2 ppm)	Element Analizi (%)	(Fe 0,001)(Zn 0,0005)(Mn 0,0003)(Ni 0,001)(Ag 0,0002)

18 nm tanecik boyutlu alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve 16 nm tanecik boyutlu bakır oksit (Cu<sub>2</sub>O) hassas terazi ile 50 ppm ve 100 ppm karışım oranlarında dizel yakıt hazırlanmıştır. Yakıt hazırlamak için ultrasonik karıştırıcı kullanılmıştır. Şekil-2 hassas terazi ölçümü ve ultrasonik karıştırıcıyı göstermektedir. Tablo-2 de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cu<sub>2</sub>O nun kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmektedir. Hazırlanan yakıt 600 d/d sabit devirde 6 silindirli 11670 cm<sup>3</sup> dizel motorda 50 – 100 – 150 – 200 Nm yükler verilerek, silindir içi basıncı, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri ölçülmüştür.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular

Ölçüm hataları ve belirsizlikler ölçmede kullanılan aletlerden meydana gelir. Basınç ölçüm aletinin, yakıt debi ölçerinin, dinamometrenin, devir ölçmenin ve egzoz gaz analizörünün hassasiyet ve ölçüm aralıkları tablo 3 de verilmektedir. Isıl verim için Cline and McClintock metodu kullanılarak hesaplanan belirsizlik denklemi aşağıdadır.

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots 1$$

Tablo 3. Kullanılan Cihazların Ölçüm Aralığı ve Hassasiyeti  
Table 3. Measurement Range and Sensitivity of the Devices Used

Cihaz	Değerler	Hassasiyet
<b>Silindir Basınç transducer (PCB 111A22)</b>	0-5000 PSI	±1%
<b>Sıvı kütle akış ölçer (Krohne)</b>	1.2-130 kg/h	± 0.1%
<b>Eddy Current Dinamometre (SAJ SE 150)</b>	150kW-500 Nm 8000 rpm	±1.25 Nm FS ±1 rpm
<b>Egzoz gaz analizörü (Bosch BEA 060)</b>		
CO	0-10% Vol.	0.001% Vol.
CO <sub>2</sub>	0-18% Vol.	0.010% Vol.
O <sub>2</sub>	0-22% Vol.	0.010% Vol.
NO	0-5000 ppm	1.0 ppm
HC	0-9999 ppm	1.0 Ppm
<b>Hesaplanan Belirsizlik</b>		<b>Belirsizlik</b>
<b>Isıl Verim</b>		%1.2 ~%1.8

#### 3.1. Tartışma

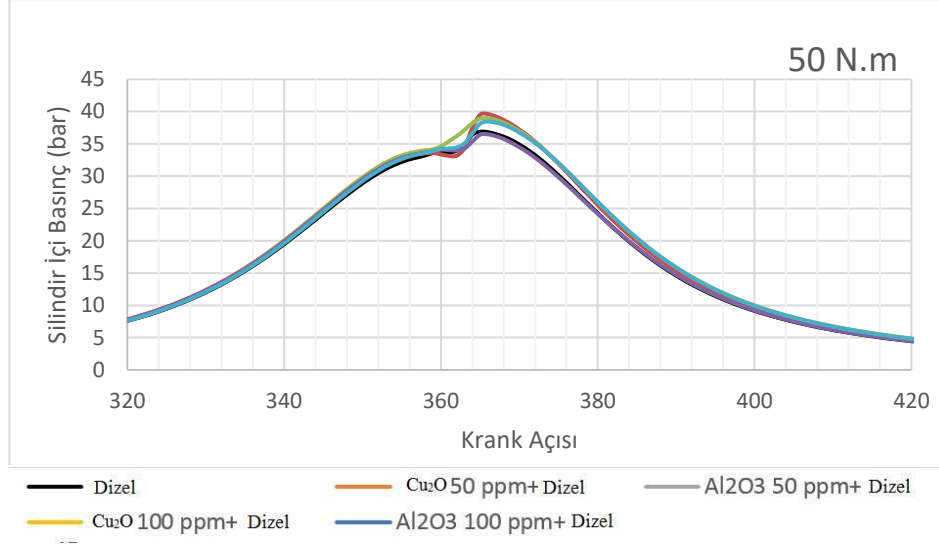
Testler 6 silindirli dizel yakıtlı bir motorda gerçekleştirilmiştir. Performans parametreleri, silindir içi basınç, ısı verim ve CO, HC, NO emisyon değerleri 50, 100, 150, 200 N.m tork değerlerinde 600 dev/dk lık motor hızında yapılmıştır.

##### 3.1.1. Silindir İçi Basınç

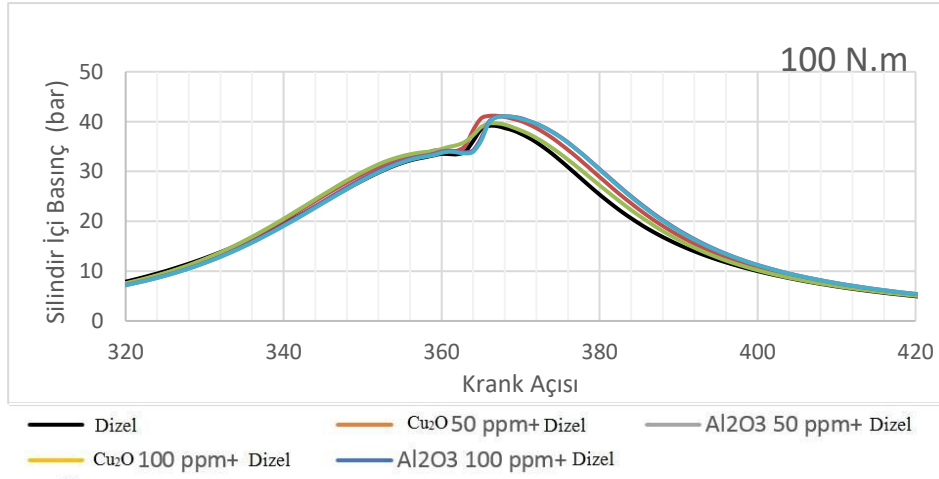
Şekil 3 krank açısına bağlı olarak farklı yükler için silindir içi grafikleri göstermektedir. Şekil-3 a. 50Nm tork değeri için, dizel yakıt için püskürme üst ölü noktadan 10 KMA önce başlamakta, dizel yakıtın maksimum basınç değeri üst ölü noktadan 6 KMA

sonra 39.7 bar olarak elde edilmiştir. 100 ppm  $Al_2O_3$  ilaveli karışımda en yüksek basınç üst ölü noktadan 8 KMA sonra 41.02 bar ile dizel yakıtı göre %3.3 daha yüksek olarak elde edilmiştir. 50 ppm  $Cu_2O$  lu karışım durumunda en yüksek silindir içi basınç üst ölü noktadan 6 KMA sonra, 41.11 bar değeri ile dizel yakıtı göre %3.5 daha fazla olarak elde edilmiştir.  $Cu_2O$  100 ppm + dizel yakıtı normal dizelle aynı performansa sahip olup,  $Al_2O_3$  50 ppm + dizel, normal dizelle göre daha yüksek basınca ulaşmıştır. Şekil-3 b. (100 Nm.) Şekil 3.a ya benzer karakteristik göstermekte olup, yine en yüksek basınçlar  $Cu_2O$  50 ppm + dizel ve  $Al_2O_3$  100 ppm + dizel yakıtı durumları için elde edilmiştir. Şekil-3 c. 150 N.m tork değeri için veriler incelendiğinde, dizel yakıtın maksimum

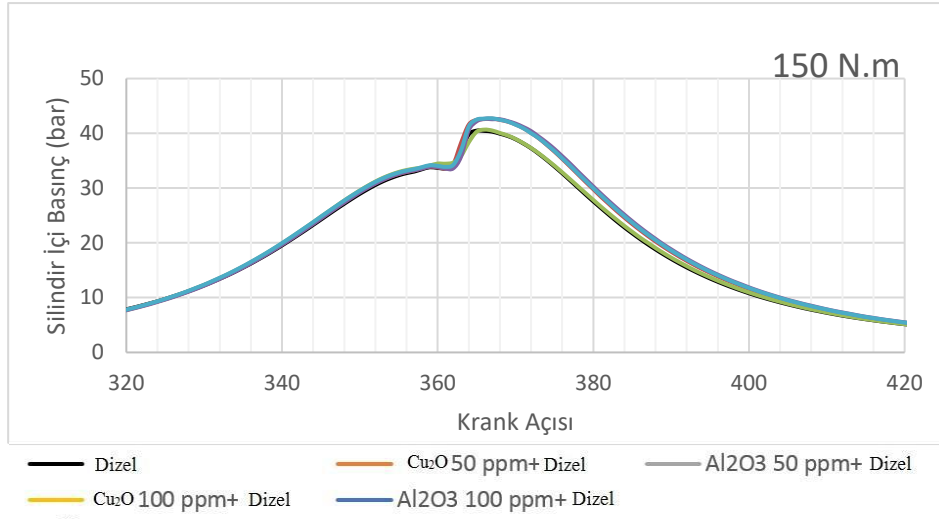
basınç değeri üst ölü noktadan 5 KMA sonra 41.26 bar olarak ölçülmüş, 50 ppm  $Cu_2O$  karışımı yakıtı ile 100 ppm  $Al_2O_3$  karışımı yakıtıların basınç değerleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. 50 ppm  $Al_2O_3$  ile normal dizel basıncı yine birbirine çok yakındır. 100 ppm  $Al_2O_3$  lü karışımda ölçülen maksimum basınç değeri üst ölü noktadan 7 derece sonra 42.75 bar olarak ölçülmüştür. Bu değer normal dizelle göre %3.6 daha fazla yüksek ve 2 KMA daha sonradır.



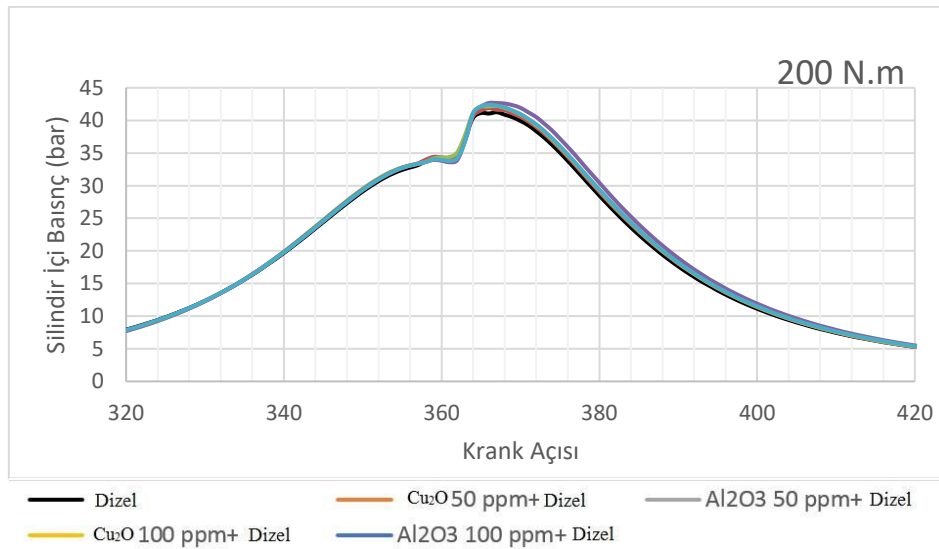
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3. Silindir içi basınç değerleri (a) 50 N.m, (b) 100 N.m, (c) 150 N.m, (d) 200 N.m

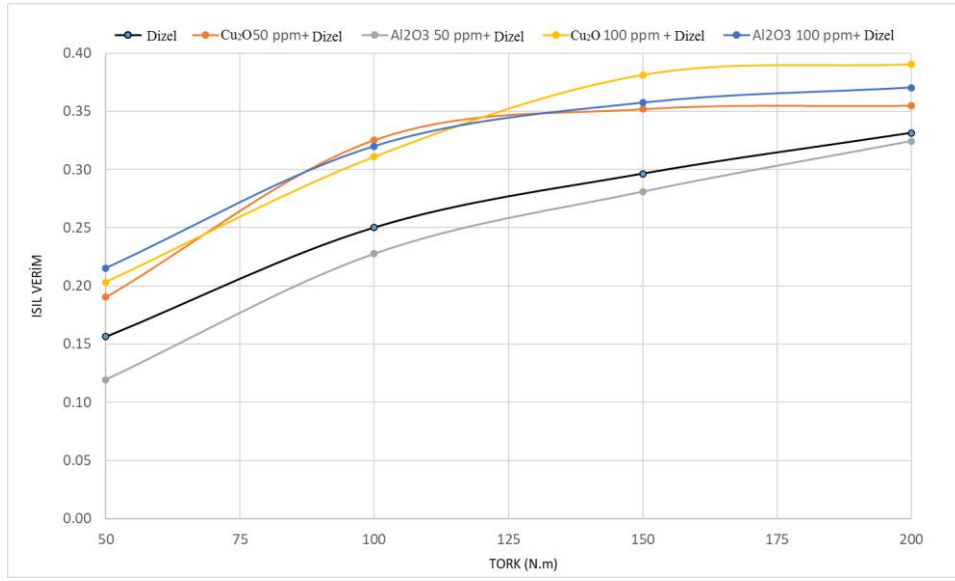
Figure 3. In-cylinder pressure values (a) 50 N.m, (b) 100 N.m, (c) 150 N.m, (d) 200 N.m

Şekil 3.d 200 N.m için krank açısına bağlı olarak silindir içi grafikleri göstermektedir. Tüm yakıt karışımlarının değerleri birbirine yaklaşıp olup, en yüksek değerler 50 ppm  $\text{Cu}_2\text{O}$  karışımında elde edilmiştir. Maksimum basınçların ortaya çıktığı açılar üst ölü noktadan 7 ile 8 KMA sonra belirlenmiştir. Basınç farklarının değişimi %1 civarındadır. Her dört şekilde bakıldığında yük arttıkça basınçta artışlar 150 N.m ye kadar artmakta 150 Nm ile 200 N.m arasında basınç değişimi çok azdır. 50 N.m de elde edilen en yüksek basınç üst ölü noktadan 8 KMA sonra 39.7 bar iken 200 N.m de üst ölü noktadan 7 KMA sonra 42.66 bar olarak elde edilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi nano katkı maddesi ilavesi silindir içi basınç değerlerini %3 civarında artırmaktadır.

### 3.1.2. Isıl Verim

Isıl verim yakıtın yanması sonucu oluşan ısının etkisi ile elde edilen enerjinin motora verilen toplam enerjiye oranıdır. Farklı yakıt karışımları için yüke karşı ısı verim grafiği şekil-4 de

verilmektedir. Genel motor bilgisinden bilindiği gibi yükün artması ile verim artmaktadır. Saf dizel verim altında kalan verim eğrisi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  50 ppm olarak karışım oluşturan yakıttır. Diğer verimler saf dizel veriminden daha iyi çıkmıştır. Channappagoudra M. [8], modifiye ve standart dizel motor ile yaptığı deneylerde, biodizel + dizel + 75 ppm  $\text{Al}_2\text{O}_3$  karışımında elde ettiği verim değerleri standart motor ile mukayese edildiğinde normal biodizel + dizel e göre düşüş göstermiştir. Bu sonuç literatür ile uyum sağlamaktadır. Ayrıca, tek silindirli bir motorda deney yapan Gumus ve arkadaşları [15]  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Cu}_2\text{O}$  50 ppm katkılı motorda verimde artış elde etmişlerdir. Motorlarda çalışma şartlarına göre nano yakıtlar verim artışı ve emisyon azalması sağlamaktadır. Yapılan testlerde en yüksek verim  $\text{Cu}_2\text{O}$  100 ppm + Diesel yakıtında görülmüştür. Verim artışı 150 N.m de normal dizelde %30 iken  $\text{Cu}_2\text{O}$  100 ppm + Diesel yakıtında %37.5 değerine ulaşmıştır. Motor sıkıştırma oranı, silindir hacmi, motor gücü, yakıt/hava oranı, püskürtme avansı, yanma kalitesini ve verimi etkilemektedir. 100 ppm  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve 100 ppm  $\text{Cu}_2\text{O}$  katkısı verimi artırmada önemli katkı sağlamaktadır.



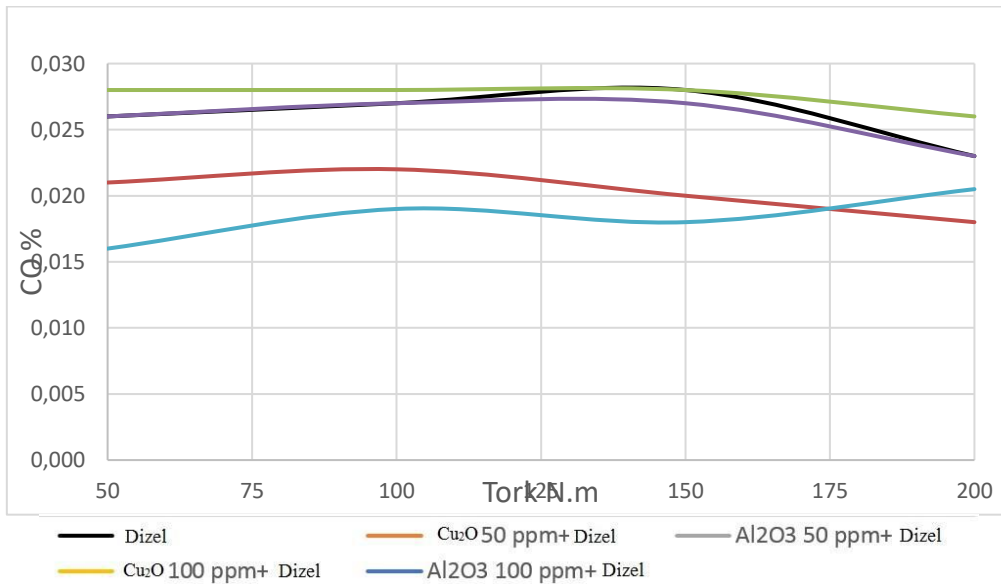
Şekil 4. Yüke Göre Isıl Verim Değişimi

Figure 4. Thermal Efficiency Variation According to Load

### 3.1.3. Karbon Monoksit Değişimi

Karbon monoksit renksiz, kokusuz, yanıcı ve zehirleyici bir gazdır. Karbon monoksit aynı zamanda kimyasal enerjinin işe dönüşmeden dışarı atılmasıdır. Hidrokarbonlu yakıtların tam yanmasının gerçekleşmediği durumdur. Şekil-5 Tork - %CO değerlerini göstermektedir. Grafikten görüldüğü gibi, CO

değerleri oldukça düşük seviyededir. Bununla beraber, Cu<sub>2</sub>O 50 ppm ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 100 ppm dizel karışımları dizel yakıtına göre daha düşük olarak görülmüştür. Cu<sub>2</sub>O 100 ppm dizel karışımları dizel yakıtına yakın seviyede emisyon değerleri ölçülmüştür. Cu<sub>2</sub>O 50 ppm ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 100 ppm dizel katkı maddelerinin % 15 civarında CO emisyonlarını azalttığı görülmüştür.



Şekil 5. Tork - %CO değerleri

Figure 5. Torque - %CO values

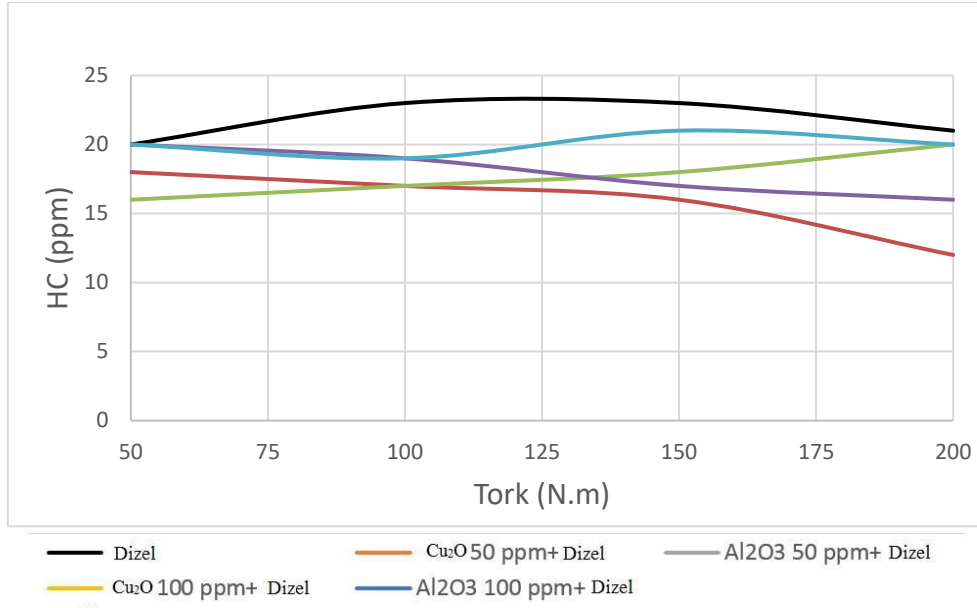
### 3.1.4. Yanmamış Hidrokarbonlar

HC emisyonları egzozdaki yanmamış yakıttır. Zararlıdır, fotokimyasal dumana neden olur ve kansorejen etkisi vardır.

Ayrıca, yanmadan dışarı atılan HC emisyonları yakıt tüketimini artırır. Yanmanın kalitesi yanmamış hidrokarbonların azlığı ile ifade edilmektedir [16]. Yanmamış hidrokarbonların değişimi şekil 6 da verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi tüm değerler

birbirine yakındır. Torkun artması ve yakıt katkı maddelerinin kullanılması ile belirli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Bütün karışımların yanmamış hidrokarbon ölçümleri dizel

yakıtının altında kalmıştır. En düşük HC emisyonu Cu<sub>2</sub>O 50 ppm yakıt karışımında ve dizele göre ortalama olarak %20 daha az olarak elde edilmiştir.



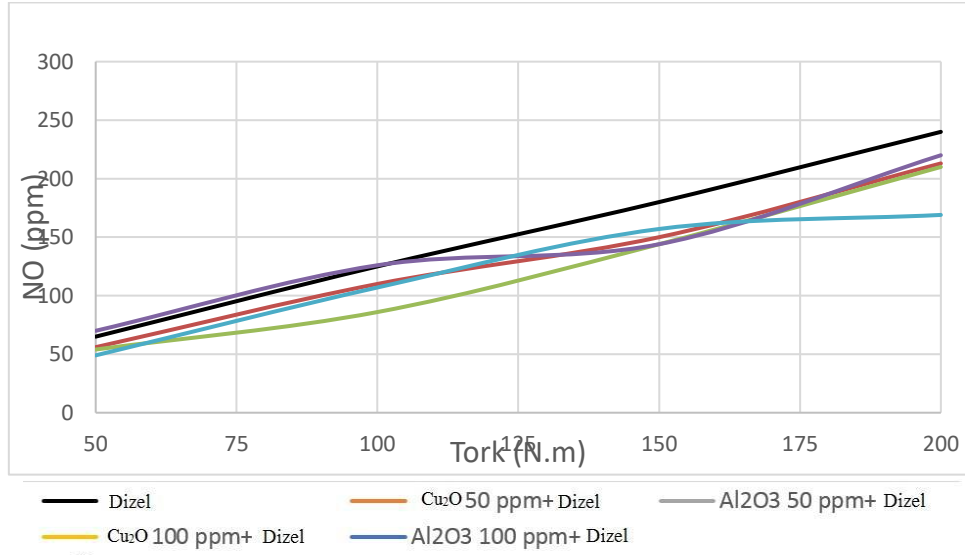
Şekil 6. Yanmamış Hidrokarbonların Değişimi

Figure 6. Exchange of Unburned Hydrocarbons

### 3.1.5. Nitrojen Oksit Emisyonları

Azot oksitlerinin NO ve NO<sub>2</sub> olarak isimlendirilir. Azot oksitlerin çoğu NO şeklindedir. NO<sub>2</sub> daha az oranda ortaya çıkar. Azot oksitler kandaki hemoglobın ile birleşim eğilimindedir, istenmeyen toksit etki oluşturur ayrıca Nitrik asit oluşumuna

neden olur [16]. Şekil-7 NO nun Tork ile değişimini göstermektedir. Katkı maddeli bütün yakıtlarda NO değeri dizel yakıtının altında çıkmıştır. Nano katkı maddesi ortalama %13 NO emisyonlarında azalmaya neden olmuştur. Bu değerler Gümüş ve ark [15] ile uyumludur.



Şekil 7. Nitrojen Oksit Emisyonlarının Değişimi

Figure 7. Change of Nitrogen Oxide Emissions

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, dizel yakıtına Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cu<sub>2</sub>O nanopartikül ilavesinin 6 silindirli ağır yük motorunda performans ve egzoz

emisyonuna etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçları aşağıdadır.

- 1- Silindir içi basınçların en iyi performansı Cu<sub>2</sub>O 50 ppm ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 100 ppm + dizel karışımlarında elde edilmiştir. Silindir içi maksimum basıncın arttığı görülmüştür.

- 2- En yüksek verim 200 N.m de Cu<sub>2</sub>O 100 ppm ilavesinde test edilmiş, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 100 ppm, Cu<sub>2</sub>O 50 ppm ve Cu<sub>2</sub>O 100 ppm katkılarında verimlerde artış, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50 ppm de verimde azalma tespit edilmiştir.
- 3- Yanmamış hidrokarbon emisyonlarında değerlerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.
- 4- CO emisyonları %0.015 ve %0.025 arasında ölçülmüş, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 100 ppm karışımının en düşük seviyede olduğu test edilmiştir.
- 5- NO emisyonları açısından, bütün değerler dizel yakıtına göre düşük ölçülmüş, katkı maddelerinin %13 civarında NO emisyonlarını azalttığı belirlenmiştir.

Yük taşıma araçlarında kullanılan geleneksel motorlara nano partikül eklenmesinin emisyon ve performansa etkisi incelenmiştir. Özellikle düşük devirlerde ortaya çıkan emisyon yoğunluğu nano partikül ilavesi ile bir miktar azalabileceği, motor performansının %3 civarında artabileceği tespit edilmiştir. İleriki çalışmalarda, motorun farklı devir ve yüklerinde farklı nano akışkanların etkisi incelenebilir. Motorun uzun çalışma sonrasında motor içerisindeki silindir ve piston üzerindeki etkileri araştırılabilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi FYL-2021-11124 kodlu proje ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en)
- [2] Rastogi P.M., Sharma A., Kumar N., Effect of CuO nanoparticles concentration on the performance and emission characteristics of the diesel engine running on jojoba (*Simmondsia Chinensis*) biodiesel, Fuel, Volume 286, Part 1, 119358, 2021.
- [3] Venu H., Madhavan V., Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in biodiesel-diesel-ethanol blends at various injection strategies: Performance, combustion and emission characteristics, Fuel, Volume 186, (2016), 176-189.
- [4] Dhahad H. A., Ali S.A., Chaichan M. T., Combustion analysis and performance characteristics of compression ignition engines with diesel fuel supplemented with nano-TiO<sub>2</sub> and nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Case Studies in Thermal Engineering, 20 (2020), 100651.
- [5] Jian-wei G., Qiong W, Zhao M., “Exhaust emissions of diesel engines with nano-copper additives”, Applied Nanoscience (2020) 10:1045–1052.
- [6] Yogaraj D., Mohamed Iqbal S., Gokulakrishna R., and Meikandan M., “Performance test and emission characteristics of diesel engine with alternate fuel blends and nano additives, International Journal of Ambient Energy, 2021, VOL. 42, NO. 7, 725-729
- [7] Chen A. F., Adzmia M. A., Adam A., Othman M. F., Kamaruzzaman M. K., Mrwana A. G., Combustion characteristics, engine performances and emissions of a diesel engine using nanoparticle-diesel fuel blends with aluminium oxide, carbon nanotubes and silicon oxide, Energy Conversion and Management 171 (2018) 461–477
- [8] Channappagoudra M., Influence of the aluminium oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticle additive with biodiesel on the modified diesel engine performance, International Journal of Ambient Energy, 2021, VOL. 42, NO. 15, 1776–1784
- [9] Aalam C.S., Saravanan C.G., Anand B.P. Impact of high fuel injection pressure on the characteristics of CRDI diesel engine powered by mahua methyl ester blend, Applied Thermal Engineering 106 (2016) 702–711.
- [10] Rathinam S., Sajin J B, Subbiah G., Rajeev A., Prakash S., Christopherselvam D., Assessment of the emission characteristics of the diesel engine with nano-particle in neem biodiesel, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects, 2020, VOL. 42, NO. 21, 2623-2631
- [11] Devarajan, Y., B. Nagappan, and G. Subbiah. 2019. A comprehensive study on emission and performance characteristics of a diesel engine fueled with nanoparticle-blended biodiesel. Environmental Science and Pollution Research 26:10662–72.
- [12] Manigandan S., Sarweswaran R., Devi P. B., Sohret Y., Kondratiev A., Venkatesh S., Vimal R. M., Joshua J.J., Comparative study of nanoadditives TiO<sub>2</sub>, CNT, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO and CeO<sub>2</sub> on reduction of diesel engine emission operating on hydrogen fuel blends, Fuel 262 (2020) 116336
- [13] Yuvarajan D., Babu M.D., Kumar N.B., Kishore P. A., Experimental investigation on the influence of titanium dioxide nanofluid on emission pattern of biodiesel in a diesel engine, Atmospheric Pollution Research 9 (2018) 47-52.
- [14] Sathik Basha J., and Anand R. B., The influence of nano additive blended biodiesel fuels on the working characteristics of a diesel engine, J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. (2013) 35:257–264.
- [15] Gumus S., Ozcan H., Ozbey M., Topaloglu B., Aluminum oxide and copper oxide nanodiesel fuel properties and usage in a compression ignition engine”, Fuel, (163), 2016, 80-87
- [16] Gupta, H. N., Fundamentals of Internal Combustion Engines. PHI Learning Pvt. Ltd. New Delhi, 1992.



# Çöp Döngüsünün Etkili Bileşeni: Poşet Çay Atıkları ve Ni<sup>+2</sup> Adsorpsiyonu

Hakan Çelebi<sup>1\*</sup>, Tolga Bahadır<sup>2</sup>, İsmail Şimşek<sup>3</sup>, Şevket Tulun<sup>4</sup>, Melayib Bilgin<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7726-128X), [hakanaz.celebi@gmail.com](mailto:hakanaz.celebi@gmail.com)

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9647-0338), [tolgabahadir61@gmail.com](mailto:tolgabahadir61@gmail.com)

<sup>3</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1950-5159), [ismailsimsek@aksaray.edu.tr](mailto:ismailsimsek@aksaray.edu.tr)

<sup>4</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0570-7617), [stulun@aksaray.edu.tr](mailto:stulun@aksaray.edu.tr)

<sup>5</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1086-5019), [melayib@gmail.com](mailto:melayib@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1065272)

**ATIF/REFERENCE:** Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., Tulun, Ş. & Bilgin, M. (2022). Çöp Döngüsünün Etkili Bileşeni: Poşet Çay Atıkları ve Ni<sup>+2</sup> Adsorpsiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 62-69.

## Öz

Evsel kullanımlar sonucu açığa çıkan yiyecek ve içecek atıklarının çöp döngüsüne atılması yerine geri kazanılması hem çevrenin korunması hem de diğer çevre kirleticilerinin minimize edilmesi için çok büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, demlenmiş yeşil (YÇA) ve kırmızı (KÇA) poşet çay atıklarının Ni<sup>+2</sup> adsorpsiyon sürecine etkisi araştırılmıştır. Yüzde Ni<sup>+2</sup> adsorpsiyon oranının ve adsorpsiyon kapasitesinin tespit edilmesi için temas süresi, YÇA ile KÇA miktarları ve pH gibi çalışma koşullarında kesikli deneylerle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada belirlenen parametrelerin adsorpsiyon sürecine etkisi sabit bir karıştırma hızı (150±5 rpm), sıcaklığı (20±2 °C) ve başlangıç Ni<sup>+2</sup> konsantrasyonu (100±3 mg/L) altında değerlendirilmiştir. Optimum şartlarda YÇA (adsorbent dozu: 0.5 g/L, pH: 5.25, süre: 15 dakika) ve KÇA (adsorbent dozu: 1.0 g/L, pH: 6.47, süre: 30 dakika) ile sırasıyla yaklaşık %76 ve %62 maksimum Ni<sup>+2</sup> giderme verimleri bulunmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre YÇA ve KÇA'nın maksimum adsorpsiyon kapasiteleri 7.61 ve 6.25 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada YÇA ve KÇA'nın, Ni<sup>+2</sup> giderimi için adsorbent olarak kullanılmalrı diğer adsorbent türlerine göre çevre dostu, ekonomik, kolay temin edilebilir birer seçim olduklarını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, Nikel, Poşet çay, Kırmızı çay atığı, Yeşil çay atığı.

# Effective Component of the Garbage Cycle: Teabag Waste and Ni<sup>+2</sup> Adsorption

## Abstract

Recycling of food and beverage wastes that are released as a result of domestic use instead of throwing them into the garbage cycle is of great importance both for the protection of the environment and the minimization of other environmental pollutants. In this study, the effect of brewed green (GCA) and red (RCA) tea bag wastes on the Ni<sup>+2</sup> adsorption process was investigated. In order to determine the percent Ni<sup>+2</sup> adsorption rate and adsorption capacity, batch experiments were carried out under operating conditions such as contact time, LCA and RCA amounts, and pH. The effects of the parameters determined in the study on the adsorption process were evaluated under a constant stirring speed (150±5 rpm), temperature (20±2 °C) and initial Ni<sup>+2</sup> concentration (100±3 mg/L). At optimum conditions, approximately 76% and 62% maxima with LCA (adsorbent dose: 0.5 g/L, pH: 5.25, time: 15 minutes) and RCA (adsorbent dose: 1.0 g/L, pH: 6.47, time: 30 minutes), respectively. Ni<sup>+2</sup> removal efficiencies were found. According to the test results obtained, the maximum adsorption capacities of LCA and RCA were calculated as 7.61 and 6.25 mg/g. In this study, the use of LCA and RCA as adsorbent for Ni<sup>+2</sup> removal revealed that they are environmentally friendly, economical and easily available choices compared to other adsorbent types.

**Keywords:** Adsorption, Nickel, Bag tea, Red tea waste, Green tea waste.

\* Sorumlu Yazar: [hakanaz.celebi@gmail.com](mailto:hakanaz.celebi@gmail.com)



## 1. Giriş

Günümüzde çok çeşitli endüstri işletmeleri, toksik ve kanserojen organik ve inorganik kökenli büyük oranlarda atık üretmektedirler.  $Ni^{+2}$  iyonlarının da dahil farklı su ortamlarında bulunan ağır metal ve metalloid gruplarına ayrıca dikkat etmek gerekmektedir. Çünkü gelişen endüstriyel sektörler ve teknolojik yaklaşımların ortaya çıkardığı ağır metallerin su ortamına salınımları hem su kirliliğine hem de kanserojen etkilere yol açmaktadır. İzin verilen deşarj standartlarının üzerindeki konsantrasyonlarda, bu iyonlar biyolojik olarak parçalanamayarak alıcı ortamlarda kalırlar. Dünya Sağlık Örgütü'nün raporlarına göre Nikel toksik ve tehlikeli maddeler grubunda sınıflandırılmaktadır (Esvandi vd., 2019; Foroutan vd., 2021; Shafiee vd., 2019). Nikel, hem doğal hem de antropojenik kökenli olması nedeniyle suda, havada, toprakta veya yiyeceklerde yaygın olarak bulunur. Ağır metaller arasında Nikel su kirliliği açısından kötü bir şöhrete sahip olup, paslanmaz çelik üretimi, süper-metalik alaşımlar, seramik-porselen boyama, piller, elektro-kaplama, boya, madeni paralar, ucuz takı ürünleri gibi çeşitli endüstri sektörü kaynaklı atıksularda bulunmaktadır (Öztürk vd., 2020; Siddiqui vd., 2020). Nikel, dünya genelinde toplam metal konsantrasyonunun yaklaşık %3'ünü oluşturur ve yerkürede en bol bulunan 24. metal olarak sıralanır (Vakili vd., 2021; Wołowicz ve Wawrzkiwicz, 2021). Nikel, gümüş beyaz renginde ve sert formda bir geçiş metali olup, periyodik tablonun 28. sırasındadır. -1'den +4'e kadar oksidatif durumlarda bulunabilir ancak +2 oksidasyon formu ( $Ni^{+2}$ ) çevrede en yaygın ve önemli olanıdır (Genchi vd., 2020). Nikel ve diğer Nikel formları, fiziko-kimyasal özellikleri, basitçe alaşım oluşturmaları ve ekonomik maliyetleri sayesinde birçok sektörel alanda kullanıma sahiptir. Nikel, yüksek sıcaklıklara, korozyona çok dayanıklıdır ve oluşturduğu alaşımlar geri dönüştürülebilir (Genchi vd., 2020). Tablo 1,  $Ni^{+2}$ 'nin uluslararası ölçekte bazı spesifik özelliklerini, toksisite düzeylerini, sağlık sorunlarını ve üç farklı standart için izin verilebilen sınır değerlerini göstermektedir (USEPA, 2019; WHO, 2017).

Tablo 1.  $Ni^{+2}$ 'nin spesifik özellikleri ve limitler

İzin Verilen Limitler (mg/L)			
WHO	USEPA	EU	
0.1	-	0.02	
Kimyasal Özellikler			
Atom No	Molekül Ağırlığı	Yoğunluk	Kow
28	58.7 g/mol	8908 kg/m <sup>3</sup>	-0.571
Dizayn	Kaynama noktası	Erime noktası	Koc
[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	2913 °C	1455 °C	1.20
Maksimum kirletici seviyesi (MKS)			
0.2 mg/L			
$Ni^{+2}$ 'nin insan vücuduna etkisi			
Böbrek ve akciğer hastalıkları, kronik astım, öksürük, mide bulantısı, kusma, ishal, deri dermatiti, alerji, baş ağrıları, kardiyovasküler hastalıklar, akciğer ve burun kanseri			

$Ni^{+2}$  iyonlarının su, hava ve toprak gibi ortamlardan giderimi için çok çeşitli teknikler mevcuttur. Bunlar kimyasal arıtım (Chandra Joshi vd., 2017), koagülasyon/flokülasyon (Abdullah vd., 2019), membran sistemleri (Bolisetty vd., 2019), elektrokimyasal arıtım (Bashir vd., 2019), adsorpsiyon (Bartczak vd., 2018; Chouchane vd., 2021; Tejada-Tovar vd., 2021) şeklinde sıralanabilir. Bu arıtım metotları arasında adsorpsiyon, basit çalışma prensibi (kesikli/yarı kesikli/sürekli), yüksek kirletici giderim verimliliği ve düşük maliyeti nedeniyle farklı su

ortamlarından ağır metal/metalloid iyonlarını gidermek için kullanılan iyi tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir (Burakov vd., 2018; Reinoso-Guerra vd., 2021).

Son yıllarda, kullanımları sonucunda kirlilik oluşturmayan, doğal kaynaklı adsorbentlere odaklanan çok sayıda bilimsel araştırma bulunmaktadır (Bartczak vd., 2018; Ghorbel-Abid ve Trabelsi-Ayadi, 2015; Rao ve Kashifuddin, 2016). Atık malzemenin kirletici gideriminde kullanımı ve bu kavramın ön planda tutulması her geçen gün daha da artmaktadır (Chouchane vd., 2021; Reinoso-Guerra vd., 2021). Ağır metal/metalloid gibi kirleticilerin arıtımında en çok kullanılan adsorbentler arasında tarımsal ve endüstriyel katı atıklar, reçineler, aktif karbon, kitosan, polimerler, nanomalzemeler, zeolitler, doğal killer vb. bulunur (Lim ve Lee, 2015; Tejada-Tovar vd., 2021). Çay atıkları da hem tüketim hem de üretim açısından araştırma konusu olan bir diğer adsorbent türü olup, literatürde çay toplama, işleme gibi faaliyetlerden kaynaklanan atıklar adsorpsiyon metodunda kullanılmıştır. Farklı türde yapraklardan yapılan çay, dünyada ve ülkemizde en çok tüketilen sağlığa faydalı içeceklerden biridir. Uluslararası Çay Komitesi'ne göre, dünyadaki toplam çay tüketimi 2019 verilerine göre 5.8 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Guo vd., 2021). Son yıllarda sağlıklı yaşam amacı ile detoks çayları ve bunların türevleri popülerlik kazanmıştır. Özellikle, kullanım pratikliği açısından poşet çay tüketimi hızla artmıştır. Genellikle, çay tüketildikten sonra, birçok insan tek kullanımlık bu poşetleri çöpe atmaktadır. Aslında çöp döngüsü içerisinde poşet çay atıkları farklı kullanım alanlarında değerlendirilebilir. Özellikle, evlerde günlük olarak poşet çay kullanımı diğer alanlara nazaran daha yaygındır. Dolayısıyla açığa çıkan atık miktarı hem fazla hem de çeşitlidir (demlik poşet çay sallama poşet çay gibi). Organik kökenli olan bu atıklar çöp toplama alanlarında büyük bir yük oluşturabilmektedir. Evsel atıkların büyük bir çoğunluğu organik atık olup, bunların sıfır atık yaklaşımı ile toplanması ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda akla ilk gelen yöntem organik gübre olarak kullanımdır. Poşet çay atıklarının çevresel kirlilik açısından da katkıları söz konusudur. Kullanılan bu çay poşetleri mikroplastik formlarına sahip olmaktadır ve sonuçta bunlar içecek aşamasında ve çöplerde diğer alıcı ortamları ve insanları olumsuz etkilemektedir. Doğal çevre koşullarının bozulmaması için, doğadaki en temel kural olan maddesel kütle akışının, optimum olarak uygulanması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak kompost üretimi en yaygın kullanılan uygulamadır. Ayrıca, kozmetik ve boya sektöründe de bu poşet çay atıklarından yararlanılabilir.

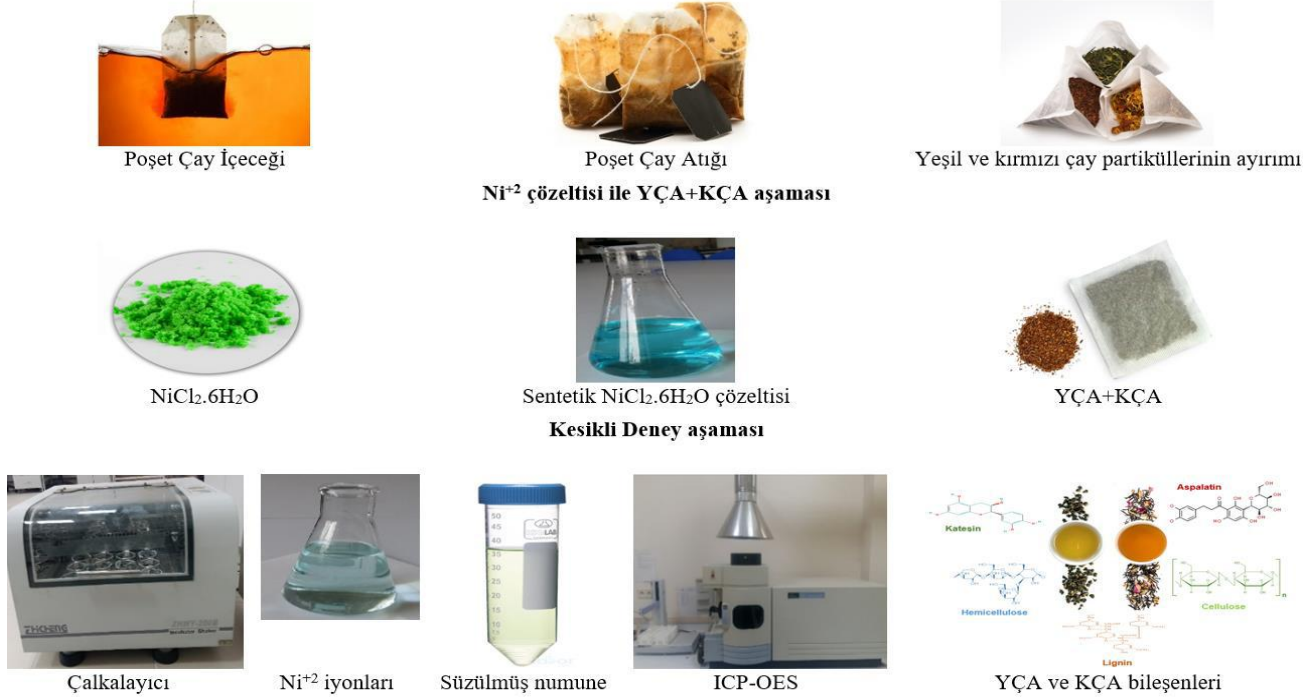
*Camelia sinensis*'in yapraklarından üretilen yeşil çay düşük fermente edilmiş ve kateşinler içeren bir çay türüdür (Vilela ve Pinto, 2019). *Asphalataus linearis*'ten üretilen kırmızımsı rooibos çayı aspalatine sahiptir (Sishi vd., 2019). Çay atıkları yapılarındaki etken maddeler, lignin ve selülozdan dolayı adsorpsiyonda kullanılabilir olası materyaller olarak araştırılmaktadır. Diğer adsorbentlere nazaran poşet çay atıkları çevreye zararsız formda olup, adsorbent kullanımında rejenerasyonuna uygun malzemelerdir. Bu çalışmada, çöp olarak evlerde ve diğer sosyal alanlarda atılan poşet çay atıklarının (YÇA ve KÇA) birer adsorbent olarak kullanılarak adsorpsiyon süreci ile suda bulunan  $Ni^{+2}$  iyonlarının giderimi olasılığı araştırılmıştır. Çay atıkları ile ağır metallerin giderimi çalışmaları genellikle, modifikasyonlarla ya da çay bitkisinin toplanması, işlenmesi süreçlerinden kalan malzemelerle yapılmıştır. Bu çalışmada ise, çöp döngüsüne atılan poşet çay atıkları demleme işlemi sonucunda değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

1000 mg/L'lik stok sentetik atıksu çözeltisi  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ile hazırlanmıştır. Kesikli adsorpsiyon deneyleri için farklı konsantrasyonlarda seyreltmeler hazırlanmıştır. Bütün kimyasallar %99 saflıkta olup Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Çözeltiler, deneyler için gerekli derişimlerde

seyreltilmiştir. Adsorpsiyon sürecinde çözeltilerin pH değerleri dijital pH metre (HANNA pH 211) ile ayarlanmıştır. pH ayarlama ve dengelenme işlemleri farklı derişimlerdeki HCl ve NaOH çözeltileri ile yapılmıştır.  $\text{Ni}^{+2}$  iyonlarının YÇA ve KÇA adsorbentlerinin yüzeylerine tutunma sürecinin şematik olarak gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

### YÇA ve KÇA adsorbentlerinin hazırlık aşaması



Şekil 1.  $\text{Ni}^{+2}$  iyonlarının YÇA ve KÇA adsorbentlerinin yüzeylerine tutunma sürecinin şematik olarak gösterimi

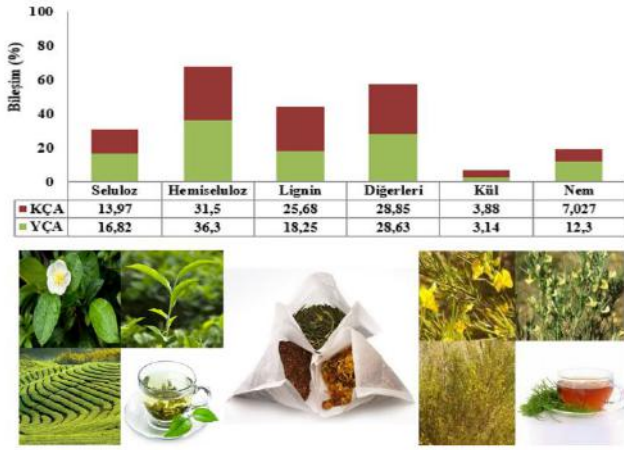
Kesikli süreçte sürdürülen adsorpsiyon çalışmaları 100 mL'lik çalışma hacmine sahip erlenlerde gerçekleştirilmiştir. 100±3 mg/L'lik sabit  $\text{Ni}^{+2}$  konsantrasyonuna sahip erlenler ZHICHENG analitik model termal çalkalayıcıda 150±5 rpm'lik sabit karıştırma hızı ve 20±2 °C'lik sabit sıcaklıkta çalkalanmıştır. YÇA ve KÇA tarafından tutulan  $\text{Ni}^{+2}$  konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ICP-OES, 2100DV, Perkin Elmer, USA marka eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi cihazı kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri üç tekrarlı yapılmış ve ortalama değerlere göre standart sapma ≤%5 olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Adsorpsiyon dengeye ulaştıktan sonra  $\text{Ni}^{+2}$  adsorpsiyon verimi ve YÇA ve KÇA'nın birim miktarına  $\text{Ni}^{+2}$  adsorpsiyon kapasitesi değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır. Burada;  $C_0$  ve  $C_e$ :  $\text{Ni}^{+2}$  iyonlarının başlangıç ve son konsantrasyonları (mg/L),  $m$ : YÇA-KÇA (g) miktarı,  $V$ : çözeltinin hacmi (mL),  $q_e$ : YÇA-KÇA tarafından adsorbe edilmiş deneysel  $\text{Ni}^{+2}$  miktarı (mg/g).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{1000 \times m}$$

$$\text{Verim (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

Çalışmayı yaparken kullanılan yeşil ve kırmızı çay poşeti atıkları evlerden ve kafeteryalardan toplanmıştır. Hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde yoğun olarak tüketilen çay içeceğinin farklı pişirilme yöntemleri sonucu açığa çıkan ve çöp olarak

nitelendirilen atıklar birkaç aşamadan sonra adsorbent kullanımına hazırlanmıştır. Özellikle, pratik olması ve her alanda kullanımı olduğundan poşet çay atıkları bu çalışmada tercih edilmiştir. İlk olarak içecek kullanımı sonrası poşet içerisindeki çay parçaları ayıklanmıştır. Daha sonra suda oluşabilecek renk faktörünü ortadan kaldırmak için YÇA ve KÇA saf su ile yıkanmış ve birkaç gün oda sıcaklığında açık alanda bekletilmiştir. Bekletme kademesinden kaynaklanabilecek toz vb. durumları gidermek için YÇA ve KÇA tekrar saf su ile yıkanmış ve 100 °C'de 24 saat Memmert marka etüvde kurutulmuştur. Son aşamada ise, YÇA ve KÇA girişim yapmayacak plastik kutularda ayrı ayrı saklanmıştır. Şekil 2, literatürde yapılan diğer araştırmalara göre belirlenen YÇA ve KÇA adsorbentlerinin ana bileşenlerini ve lignoselülozik (selüloz, hemiselüloz, lignin) yapılarını gösteren bazı dağılımlarını ifade etmektedir (Çelebi, 2020; Jakhrani vd., 2019; Ukanwa vd., 2019).



Şekil 2. YÇA ve KÇA atıklarının bileşenleri (% kuru ağırlık)

Kesikli adsorpsiyon sürecinde optimum şartlarda izoterm ve kinetik değerlendirmeleri yapılmıştır. Adsorpsiyon kapasitesini belirlemek için, Langmuir, Freundlich izotermi ile Yalancı birinci derece ve Yalancı ikinci derece kinetik modelleri kullanılmıştır (Tablo 2) (Çelebi, 2020; Jakhrani vd., 2019; Ukanwa vd., 2019). Burada;  $C_e$ : Çıkış konsantrasyonu (mg/L),  $q_e$ : Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $q_m$ : Maksimum kapasite (mg/g),  $K_L$ : Langmuir sabiti (L/mg),  $R_L$ : Boyutsuz sabit ayırma faktörü,  $n$  ve  $K_F$ : Freundlich sabitleri,  $k_1$ : Yalancı birinci derece sabiti ( $dk^{-1}$ ),  $k_2$ : Yalancı ikinci derece sabiti ( $dk^{-1}$ ) ifade etmektedir.

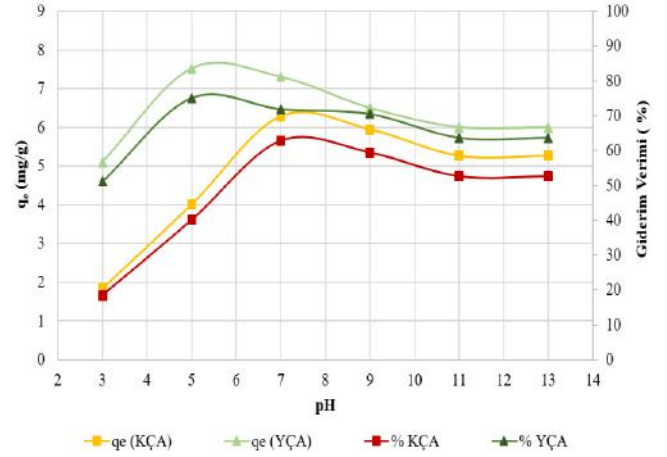
Tablo 2. İzoterm ve kinetik modellerin denklemleri

İzoterm ve Kinetikler	Lineer Denklemler
Langmuir	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$
Freundlich	$q_e = K_F \sqrt[n]{C_e}$
Yalancı Birinci derece	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \times t$
Yalancı İkinci Derece	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_w} t$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. pH'nın Etkisi

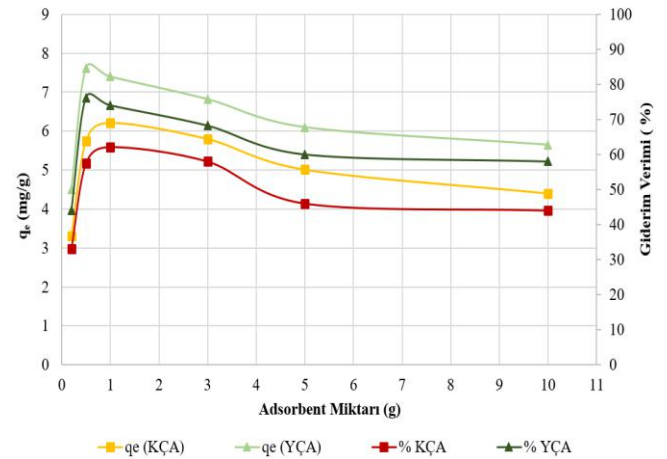
Kesikli ve sürekli adsorpsiyon deneylerinde en önemli etki faktörü çözeltinin pH'ı olup, pH farklılıkları adsorpsiyon alanındaki  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonlarının yer değiştirmesinden dolayı adsorbent (YÇA ve KÇA) ve adsorbat ( $Ni^{+2}$ ) arasındaki etkileşimi de değiştirmektedir. Şekil 3'de pH 3-13 aralığında YÇA ve KÇA'nın  $Ni^{+2}$  adsorpsiyonunu etkilediği gösterilmiştir. Belirlenen pH aralığında YÇA ve KÇA ile yapılan kesikli deneylere göre maksimum  $Ni^{+2}$  giderme verimi YÇA için %75.15, pH 5.25'de bulunmuştur. KÇA ile  $Ni^{+2}$  adsorpsiyon sürecinde, pH 6.47'de maksimum giderim verimi %62.83 olarak belirlenmiştir. YÇA ve KÇA için ölçülen pH değerleri sentetik  $Ni^{+2}$  çözeltisindeki  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonları ile adsorbentlerin yüzeylerindeki fonksiyonel gruplar arasındaki etkileşimin sonucu olabilir. Bunun yanı sıra YÇA ve KÇA adsorbentlerinin yapısında bulunan kateşin ( $C_{15}H_{14}O_6$ ), aspalatin ( $C_{21}H_{24}O_{11}$ ), selüloz ( $(C_6H_{10}O_5)_n$ ), lignin, hemiselüloz ile  $Ni^{+2}$  iyonları optimum pH seviyesinde bağ kurabilir.  $Ni^{+2}$  iyonları ve çay atıkları ile ilgili araştırmalarda adsorpsiyon süreci için ideal pH değerleri 5.0-7.0 arasında olduğu tespit edilmiştir (Öztürk vd., 2020).



Şekil 3. pH'nın  $Ni^{+2}$  giderim verimliliğine etkisi

#### 3.2. Adsorbent Miktarının Etkisi

YÇA ve KÇA dozlarının  $Ni^{+2}$  iyonlarının adsorpsiyon metodu ile giderimi üzerindeki etkisi, 100 mg/L'lik  $Ni^{+2}$  solüsyonunda  $20 \pm 2$  °C'de  $150 \pm 5$  rpm'de 0.2 ile 10.0 g arasındaki dozlarda değerlendirilmiştir.  $Ni^{+2}$  iyonlarının verim oranları, YÇA dozu arttıkça hızlı bir şekilde 0.5 g seviyesine kadar artmış daha sonraki miktarlarda düşüşler gözlenmiştir (Şekil 4).  $Ni^{+2}$  iyonlarının giderim oranları sırasıyla 0.2, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 ve 10.0 g olan YÇA için yaklaşık %40, %76, %74, %68, %61 ve %57 olarak ölçülmüştür. 0.5 g YÇA dozunda %76 oranında maksimum  $Ni^{+2}$  iyonlarının giderimi sağlanmıştır. KÇA için de 0.2 ile 10.0 g arasındaki dozlar araştırılmıştır. YÇA'da olduğu gibi başlangıçta yüzey tutulumu ile alakalı olarak hızlı bir verim sağlanmıştır. Bu durumun etkin ve aktif yüzey alanı ile alakalı olduğu ifade edilebilir. Giderim yüzdesi başlangıçta hızlı bir artış göstermiş ve KÇA için 1.0 g'lık dozda maksimum %62 olmuştur. YÇA ve KÇA adsorbentlerinde belirli dozlardan sonra verim düşüklüğü, yeterli  $Ni^{+2}$  tutulmasından sonra YÇA ve KÇA'nın doyumuna atfedilebilir. Doz verim ilişkisi açısından bakıldığında  $Ni^{+2}$  arıtımı için KÇA'nın adsorpsiyon kapasitesinin daha düşük olduğu söylenebilir (YÇA>KÇA).

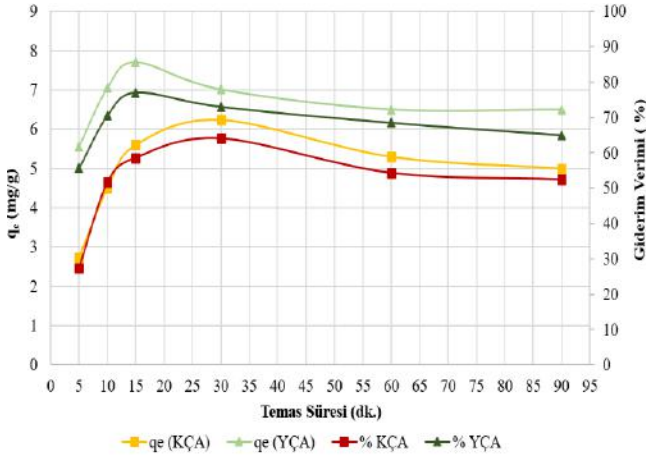


Şekil 4. YÇA-KÇA dozunun  $Ni^{+2}$  giderim verimliliğine etkisi

#### 3.3. Temas Süresinin Etkisi

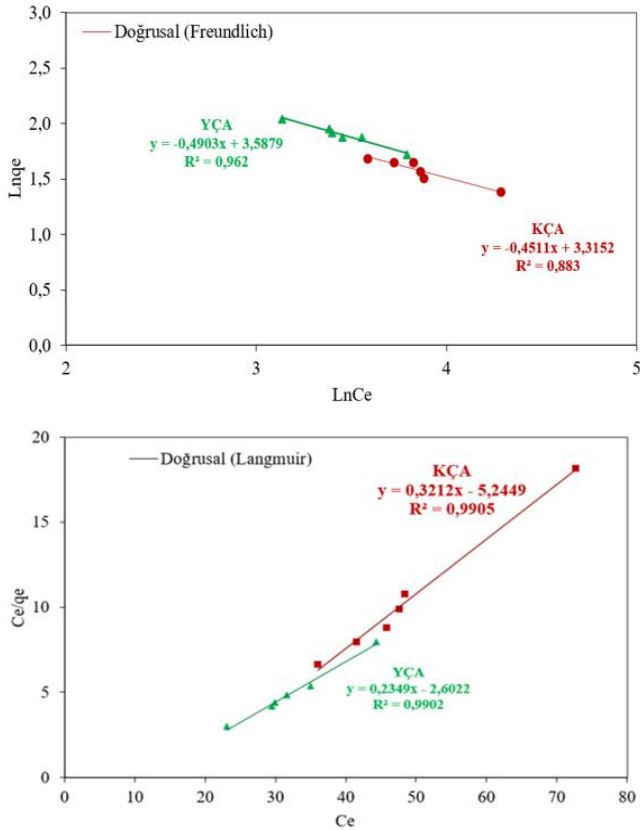
Adsorbent yüzeyi ile adsorbat arasındaki etkileşim süresi hem sürecin hem de adsorbent'in etkinliği açısından önem arz etmektedir. Şekil 5'de gösterildiği gibi  $Ni^{+2}$ 'nin, YÇA ve KÇA'ya adsorpsiyonu ilk 30 dk.'da maksimum düzeye ulaşmıştır.  $Ni^{+2}$  iyonlarının maksimum giderimi YÇA ve KÇA için 15. ve 30. dk.'da sırasıyla %77 ve %64 olarak belirlenmiştir. Laboratuvar

ölçekli çalışmalarda YÇA ile  $Ni^{+2}$  arıtımı 30. dk.'dan sonra azalarak dengeye ulaşmıştır. YÇA ile  $Ni^{+2}$  arasındaki ilk 15 dk.'lık artış daha geniş serbest yüzey alanından kaynaklanmış olabilir. KÇA için de üst noktadan sonra 60. ve 90. dk.'larda denge söz konusudur. KÇA için, 30 dk.'lık periyotta hızlı bir adsorpsiyon gerçekleşmiş ve sonrasında yavaşlama ile doygunluğa ulaşılmıştır. Bu durum, KÇA'nın dış yüzeyinde sürecin hızlı oluştuğunu daha sonrasında ise iç gözeneklerde yavaş bir tutulum olduğunu gösterebilir.

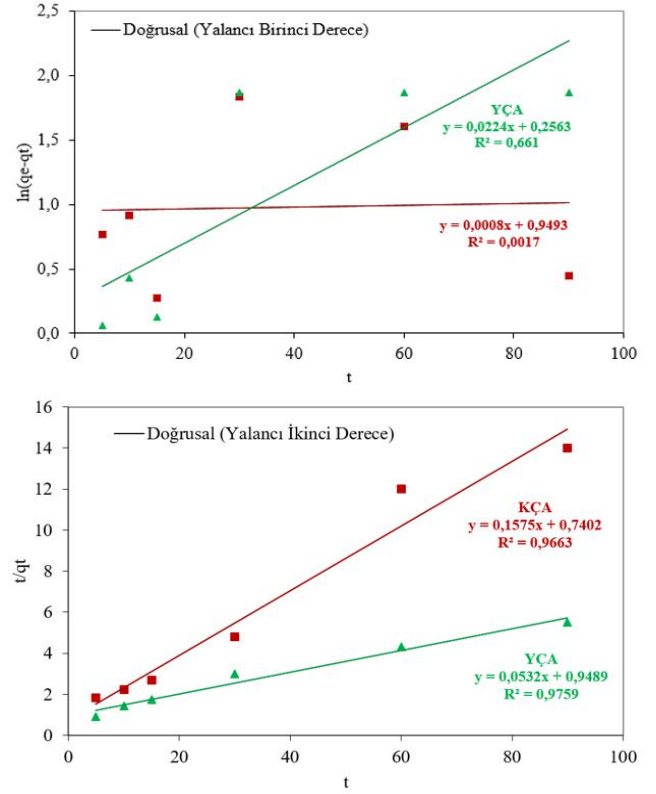


Şekil 5. Sürenin YÇA-KÇA ile  $Ni^{+2}$  iyonlarına etkisi

Seçilen izoterm ve kinetik modellere göre hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi YÇA ve KÇA için ideal şartlarda sırasıyla 7.61 ve 6.25 mg/g olarak tespit edilmiştir. Şekil 6 ve 7, YÇA ve KÇA üzerindeki  $Ni^{+2}$ 'nin adsorpsiyon izotermelerinin ve kinetiklerinin doğrusal değerlendirmesini göstermektedir.



Şekil 6. YÇA ve KÇA ile  $Ni^{+2}$  adsorpsiyonunun izoterm eğrileri



Şekil 7. YÇA ve KÇA ile  $Ni^{+2}$  adsorpsiyonunun kinetik eğrileri

Table 3. YÇA ve KÇA ile  $Ni^{+2}$  iyonları arasındaki izoterm ve kinetik katsayılar

Modeller	Katsayılar	
	YÇA	KÇA
Langmuir	$q_m$ (mg/g) <sub>YÇA</sub>	7.61
	$q_m$ (mg/g) <sub>KÇA</sub>	6.25
	$K_L$ (L/mg) <sub>YÇA</sub>	0.061
	$K_L$ (L/mg) <sub>KÇA</sub>	11.08
	$R^2$ <sub>YÇA</sub>	0.9902
	$R^2$ <sub>KÇA</sub>	0.9905
Freundlich	$K_F$ (L/mg) <sub>YÇA</sub>	27.53
	$K_F$ (L/mg) <sub>KÇA</sub>	36.16
	$n$ <sub>YÇA</sub>	2.22
	$n$ <sub>KÇA</sub>	2.04
	$R^2$ <sub>YÇA</sub>	0.962
	$R^2$ <sub>KÇA</sub>	0.883
Yalancı Birinci derece	$k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) <sub>YÇA</sub>	0.022
	$k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) <sub>KÇA</sub>	0.006
	$q_e$ (mg/g) <sub>YÇA</sub>	3.58
	$q_e$ (mg/g) <sub>KÇA</sub>	1.31
	$R^2$ <sub>YÇA</sub>	0.66
	$R^2$ <sub>KÇA</sub>	0.002
Yalancı İkinci Derece	$k_2$ (g/mg/dak) <sub>YÇA</sub>	0.035
	$k_2$ (g/mg/dak) <sub>KÇA</sub>	0.021
	$q_e$ (mg/g) <sub>YÇA</sub>	6.67
	$q_e$ (mg/g) <sub>KÇA</sub>	6.35
	$R^2$ <sub>YÇA</sub>	0.975
	$R^2$ <sub>KÇA</sub>	0.966

Tablo 3'de görülebileceği gibi, Langmuir izotermi, en yüksek korelasyon katsayısı nedeniyle YÇA ( $R^2=0.9902$ ) ve KÇA ( $R^2=0.9905$ ) için en ideal model olarak karşımıza çıkmaktadır.  $Ni^{+2}$  iyonları ile YÇA ve KÇA arasındaki ara yüzey kesitinde giderim verimini ortaya koymak için yalancı birinci dereceden ve

yalancı ikinci dereceden kinetik çalışması gerçekleştirilmiştir. Test edilen kinetiklere göre en iyi korelasyon katsayısının sözde ikinci derece ( $R^2_{Y\text{ÇA}}=0.9759$ ,  $R^2_{K\text{ÇA}}=0.9663$ ) olduğu belirlenmiştir.  $\text{Ni}^{+2}$  iyonları için uygulanan YÇA ve KÇA adsorbentlerinin deneysel olarak adsorpsiyonda başarılı olduğunu göstermektedir. YÇA ve KÇA ile  $\text{Ni}^{+2}$  iyonları arasındaki adsorpsiyon izotermi ve kinetikleri için elde edilen katsayı değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

$\text{Ni}^{+2}$  iyonları gibi bütün ağır metallerin adsorpsiyonu farklı pH aralıklarında dengeye ulaşmaktadır. Öztürk vd. (2020) atık çayın  $\text{Ni}^{+2}$ ’nin adsorpsiyonu için maksimum pH düzeyinin 7.0 olduğunu bildirmiştir. Farklı çalışmalar, optimum Nikel arıtımının ortalama pH 5.0-7.0 aralığında olduğunu göstermiştir (Ş. Aslan vd., 2021; Shah vd., 2015; Yang vd., 2016). Benzer şekilde, Han vd. (2021), pH 6.0’da budanmış çay dalı ile kadmiyum giderimini arttırdığını belirtti. Do vd. (2019) grafit nanopartiküller üzerinde Nikel adsorpsiyonunun en iyi pH 7.0’da olduğunu hesapladı. Ayrıca Shen vd. (2017), Nikel adsorpsiyon işlemi sırasında pirinç kabuğu ile yaptıkları kesikli çalışmalarda Nikel veriminin en iyi pH 5.0’da olduğunu belirlemişlerdir. Malakahmad vd. (2016), adsorpsiyonla sulu çözeltiden Nikel’i arıtmak için siyah çay atıkları kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre pH 5.0 değerinde adsorpsiyon verimli sonuçlanmıştır. Chouchane vd. (2021) yüksek fırın cürufu kullanarak Nikel adsorpsiyonu gerçekleştirmişler ve sonuçta pH değerini 4.5 olarak tespit etmişlerdir.

Bartczak vd. (2018),  $\text{Ni}^{+2}$  iyonunun uzaklaştırması için turbayı inceledi. Sonuç olarak, 0.5 g turba dozunda %99.4 giderim verimi elde edildi. Hidroksiapatit/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /polidopamin manyetik bileşimi adsorbent olarak kullanılarak Nikel arıtımı 1 g’lık dozda optimum seviyede bulunmuştur (Foroutan vd., 2021). Farklı yapıda malzemelerle (aktif karbon, çekirdek kabuğu, muz kabuğu, gül kabuğu, kül vb.) su ortamında Nikel giderimi için yapılan çalışmada Nikel’in etkin bir şekilde adsorbe edilebileceği fikrine varılmıştır (Vakili vd., 2021). Tejada-Tovar vd. (2021) çalışmalarında benzer deneysel sonuçlar elde ettiler.

Kamatchi vd. (2022) sentetik atıksuda Nikel giderimi için aktif karbon ile kesikli adsorpsiyon gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, aktif karbon ile maksimum Nikel arıtımının 30 dk.’lık süre sonunda %90 olduğunu göstermiştir. Çelebi (2020), yeşil, siyah ve kırmızı çay atıkları kullanarak krom giderimi çalışmaları yapmıştır. Maksimum krom giderimi için temas sürelerini sırası ile 10, 15 ve 45. dk.’larda bulmuştur. Aslan vd. (2018), aktif çamur biyokütlesi kullanarak  $\text{Ni}^{+2}$ ’nin 20. dakikada yaklaşık %75 olarak giderildiğini tespit etmişlerdir. Wołowicz ve Wawrzekiewicz (2021), yaptıkları reçine bazlı adsorpsiyon çalışmalarında Nikel giderimini 4 saatte optimum düzeye ulaştırmışlardır. Yıldız (2018), Nikel giderimi için fıstık kabuğu kullanarak adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesikli çalışmalar sonucunda 60 dak sonunda ideal bir verim elde edilmiştir. Çelebi vd. (2020), demlenmiş siyah çay atığı ile yaptıkları Nikel gideriminde ilk 30 dk.’da %76 Nikel giderim verimine ulaşmışlardır. Literatürdeki birçok çalışmanın bulguları bu araştırmanın sonuçları ile uyumludur (Güler vd., 2007; Koçyigit ve Sahin, 2018; Yadav vd., 2021).

## 4. Sonuç

YÇA ve KÇA üzerine kesikli  $\text{Ni}^{+2}$  adsorpsiyon süreci ile elde edilen veriler pH, adsorbent dozu ve temas süresinin önemini ortaya koymaktadır. YÇA’nın maksimum  $\text{Ni}^{+2}$  giderimi, ideal şartlarda ortalama %76 olarak elde edilmiştir. KÇA için giderme

verimi incelendiğinde ise YÇA’ya göre daha düşük verim elde edilmiş olup, %62 olarak hesaplanmıştır. YÇA ve KÇA için optimum şartlar şu şekildedir: YÇA (adsorbent dozu: 0.5 g/L, pH: 5.25, temas süresi: 15 dakika) ve KÇA (adsorbent dozu: 1.0 g/L, pH: 6.47, temas süresi: 30 dakika). Sonuç olarak, 4E (*Eco-friendly, Economical, Easily available, Efficient*) kuralına göre YÇA ve KÇA’nın sentetik su ortamından  $\text{Ni}^{+2}$ ’nin arıtımında çevre dostu, ekonomik, kolay temin edilebilir ve verimli birer adsorbent olduğuna varılmıştır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Atıksu Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

## Kaynakça

- Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W. J., Jaafar, J., & Ismail, A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029>
- Aslan, S., Yıldız, S., & Ozturk, M. (2018). Biosorption of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  Ions from Aqueous Solutions Using Waste Dried Activated Sludge Biomass. *Polish Journal of Chemical Technology*, 20(3), 20–28. <https://doi.org/10.2478/pjct-2018-0034>
- Aslan, Ş., Yıldız, S., & Öztürk, M. (2021). Biosorption of  $\text{Cu}^{2+}$  from synthetic wastewater by tea waste sorbent: kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(3), 360–368. <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.27374>
- Bartczak, P., Norman, M., Klapiszewski, Ł., Karwańska, N., Kawalec, M., Baczyńska, M., Wysokowski, M., Zdarta, J., Ciesielczyk, F., & Jesionowski, T. (2018). Removal of nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1209–1222. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.07.018>
- Bashir, A., Malik, L. A., Ahad, S., Manzoor, T., Bhat, M. A., Dar, G. N., & Pandith, A. H. (2019). Removal of heavy metal ions from aqueous system by ion-exchange and biosorption methods. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 729–754. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00828-y>
- Bolisetty, S., Peydayesh, M., & Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chemical Society Reviews*, 48(2), 463–487. <https://doi.org/10.1039/c8cs00493e>
- Burakov, A. E., Galunin, E. V., Burakova, I. V., Kucherova, A. E., Agarwal, S., Tkachev, A. G., & Gupta, V. K. (2018). Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 702–712. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>
- Çelebi, H. (2020). Recovery of detox tea wastes: Usage as a lignocellulosic adsorbent in  $\text{Cr}^{6+}$  adsorption. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104310. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104310>
- Çelebi, H., Gök, G., & Gök, O. (2020). Adsorption capability of brewed tea waste in waters containing toxic lead(II), cadmium (II), nickel (II), and zinc(II) heavy metal ions. *Scientific Reports*, 10(1), 17570.

- <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74553-4>
- Chandra Joshi, N., Sharma, R., & Singh, A. (2017). Biosorption: A Review on Heavy Metal Toxicity and Advances of Biosorption on Conventional Methods. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, 7(9), 714–724. [www.chemistry-journal.org](http://www.chemistry-journal.org)
- Chouchane, T., Khireddine, O., & Boukari, A. (2021). Kinetic studies of Ni(II) ions adsorption from aqueous solutions using the blast furnace slag (BF slag). *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00039-3>
- Do, Q. C., Choi, S., Kim, H., & Kang, S. (2019). Adsorption of lead and nickel on to expanded graphite decorated with manganese oxide nanoparticles. *Applied Sciences*, 9(24), 5375. <https://doi.org/10.3390/app9245375>
- Esvandi, Z., Foroutan, R., Mirjalili, M., Sorial, G. A., & Ramavandi, B. (2019). Physicochemical Behavior of Penaeuse semisulcatuse Chitin for Pb and Cd Removal from Aqueous Environment. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(2), 263–274. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1345-x>
- Foroutan, R., Peighambaroust, S. J., Ahmadi, A., Akbari, A., Farjadfar, S., & Ramavandi, B. (2021). Adsorption mercury, cobalt, and nickel with a reclaimable and magnetic composite of hydroxyapatite/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/polydopamine. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105709. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105709>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Ghorbel-Abid, I., & Trabelsi-Ayadi, M. (2015). Competitive adsorption of heavy metals on local landfill clay. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.02.030>
- Güler, İ., Gürel, L., Bahadır, T., & Büyükgüngör, H. (2007). Biosorption of nickel(II) ions from aqueous solutions by rhizopus arrhizus attached on rice bran. *Journal of Biotechnology*, 131S, S79. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2007.07.137>
- Guo, S., Kumar Awasthi, M., Wang, Y., & Xu, P. (2021). Current understanding in conversion and application of tea waste biomass: A review. *Bioresource Technology*, 338, 125530. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125530>
- Han, C., Wang, M., Ren, Y., Zhang, L., Ji, Y., Zhu, W., Song, Y., & He, J. (2021). Characterization of pruned tea branch biochar and the mechanisms underlying its adsorption for cadmium in aqueous solution. *RSC Advances*, 11(43), 26832–26843. <https://doi.org/10.1039/d1ra04235a>
- Jakhrani, S. H., Ryou, J. S., Atta-ur-Rehman, Jeon, I. K., Woo, B. H., & Kim, H. G. (2019). Prevention of autogenous shrinkage in high-strength mortars with saturated tea waste particles. *Materials*, 12(7), 2654. <https://doi.org/10.3390/ma12172654>
- Kamatchi, C., Arivoli, S., & Prabakaran, R. (2022). Thermodynamic, Kinetic, Batch Adsorption and Isotherm Models for the Adsorption of Nickel from an Artificial Solution Using Chloroxylon Swietenia Activated Carbon. *Phys. Chem. Res*, 10(3), 315–324. <https://doi.org/10.22036/PCR.2021.300561.1956>
- Koçyigit, H., & Sahin, B. (2018). Effects of egg shells for lead ions removal from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 127, 97–103. <https://doi.org/10.1080/10447966.2018.1488888>
- <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22659>
- Lim, S. F., & Lee, A. Y. W. (2015). Kinetic study on removal of heavy metal ions from aqueous solution by using soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(13), 10144–10158. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4203-6>
- Malakahmad, A., Tan, S., & Yavari, S. (2016). Valorization of Wasted Black Tea as a Low-Cost Adsorbent for Nickel and Zinc Removal from Aqueous Solution. *Journal of Chemistry*, 2016, 5680983. <https://doi.org/10.1155/2016/5680983>
- Öztürk, M., Yıldız, S., & Aslan, Ş. (2020). Nikel(II) İyonlarının Atık Çay'a Biyosorpsiyonu: Denge, Kinetik ve Termodinamik Çalışmaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 985–998. <https://doi.org/10.21923/jesd.742918>
- Rao, R. A. K., & Kashifuddin, M. (2016). Adsorption studies of Cd(II) on ball clay: Comparison with other natural clays. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1233–S1241. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.010>
- Reinoso-Guerra, E., Aristizabal, J., Arce, B., Zurob, E., Dennett, G., Fuentes, R., Suescún, A. V., Cárdenas, L., Rodrigues Da Cunha, T. H., Cabezas, R., García-Herrera, C., & Parra, C. (2021). Nanostructured Didymosphenia geminata-based membrane for efficient lead adsorption from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105269. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105269>
- Shafiee, M., Foroutan, R., Fouladi, K., Ahmadlouydarab, M., Ramavandi, B., & Sahebi, S. (2019). Application of oak powder/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic composite in toxic metals removal from aqueous solutions. *Advanced Powder Technology*, 30(3), 544–554. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2018.12.006>
- Shah, J., Jan, M. R., Ul Haq, A., & Zeeshan, M. (2015). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for sorption of Ni (II) from aqueous solution using formaldehyde treated waste tea leaves. *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(3), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.04.004>
- Shen, Z., Zhang, Y., McMillan, O., Jin, F., & Al-Tabbaa, A. (2017). Characteristics and mechanisms of nickel adsorption on biochars produced from wheat straw pellets and rice husk. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12809–12819. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8847-2>
- Siddiqui, M. N., Ali, I., Asim, M., & Chanbasha, B. (2020). Quick removal of nickel metal ions in water using asphalt-based porous carbon. *Journal of Molecular Liquids*, 308, 113078. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113078>
- Sishi, M., Muller, M., de Beer, D., van der Rijst, M., & Joubert, E. (2019). Rooibos agro-processing waste as herbal tea products: optimisation of soluble solids extraction from dust and application to improve sensory profile, colour and flavonoid content of stem infusions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3653–3661. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9587>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., Sierra-Ardila, C., Meza-Acuña, M., & Ortega-Toro, R. (2021). Adsorption in a binary system of Pb (II) and Ni (II) using lemon peels. *Revista Facultad de Ingeniería 101*, 31–44. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200691>
- Ukanwa, K. S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., Anthony, E., & Mandavgane, S. (2019). A review of chemicals to produce activated carbon from agricultural waste biomass. *Sustainability*, 11(22), 6204. <https://doi.org/10.3390/su11226204>
- USEPA. (2019). *National Primary Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency*. Washington, DC. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>

- water/national-primary-drinking-water-regulations
- Vakili, M., Rafatullah, M., Yuan, J., Zwain, H. M., Mojiri, A., Gholami, Z., Gholami, F., Wang, W., Giwa, A. S., Yu, Y., Cagnetta, G., & Yu, G. (2021). Nickel ion removal from aqueous solutions through the adsorption process: A review. *Reviews in Chemical Engineering*, 37(6), 755–778. <https://doi.org/10.1515/revce-2019-0047>
- Vilela, A., & Pinto, T. (2019). Grape Infusions: The Flavor of Grapes and Health-Promoting Compounds in Your Tea Cup. *Beverages*, 5(3), 48. <https://doi.org/10.3390/beverages5030048>
- WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality Fourth Edition Incorporating The First Addendum*.
- Wołowicz, A., & Wawrzkiwicz, M. (2021). Screening of ion exchange resins for hazardous Ni(II) removal from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium batch adsorption method. *Processes*, 9(2), 1–24. <https://doi.org/10.3390/pr9020285>
- Yadav, S., Yadav, A., Bagotia, N., Sharma, A. K., & Kumar, S. (2021). Adsorptive potential of modified plant-based adsorbents for sequestration of dyes and heavy metals from wastewater - A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102148. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102148>
- Yang, S., Wu, Y., Aierken, A., Zhang, M., Fang, P., Fan, Y., & Ming, Z. (2016). Mono/competitive adsorption of Arsenic(III) and Nickel(II) using modified green tea waste. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.07.007>
- Yildiz, S. (2018). Artificial neural network approach for modeling of Ni(II) adsorption from aqueous solution by peanut shell. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25(4), 581–604. <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0039>



# Farklı Tuz Konsantrasyonlarında Semiz Otu (*Portulaca oleracea*) ve Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) Bitkileri Uygulanarak Tuzlu Toprakların Fitoremediasyon Yöntemiyle İyileştirilmesi

Hasan Er<sup>1,2\*</sup>, Semih Elibol<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7880-8697), [hasaner@bingol.edu.tr](mailto:hasaner@bingol.edu.tr)

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Arı ve Doğal Ürünler AR-GE ve ÜR-GE Uyg. ve Arş. Merkezi / Rektörlük, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7880-8697), [hasaner@bingol.edu.tr](mailto:hasaner@bingol.edu.tr)

<sup>3</sup> Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5385-2571), [selibol@bingol.edu.tr](mailto:selibol@bingol.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1069094)

**ATIF/REFERENCE:** Er, H., & Elibol, S. (2022). Farklı Tuz Konsantrasyonlarında Semiz Otu (*Portulaca oleracea*) ve Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) Bitkileri Uygulanarak Tuzlu Toprakların Fitoremediasyon Yöntemiyle İyileştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 70-74.

## Öz

Tuzluluk tarımı olumsuz etkileyen en önemli çevresel faktörlerin başında gelmektedir. Tuzlu toprakların iyileştirilmesi maliyet ve yüksek iş gücü gerektirdiğinden dolayı fitoremediasyon alternatif bir yöntem olarak düşünülmektedir. Toprakta bulunan fazla tuzların bitkiler kullanılarak giderilmesi olarak ifade edilmektedir. Bu amaçla Semizotu (*Portulaca oleracea*) ve Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) bitkilerinin farklı tuz konsantrasyonlarında fitoremediasyon yöntemi ile değerlendirme potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada Toprak tuzluluğunu sağlamak amacıyla 4 farklı tuz (NaCl) konsantrasyonu (0, 75, 150 ve 200 mM) uygulanmıştır. Araştırmada bitki boyu, bitki kuru ağırlığı ve yaş ağırlığı parametreleri ölçülmüştür. Hasad öncesi ve sonrası toprakta elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), katyon değişim kapasitesi (KDK) özellikleri incelenmiştir. bitki boyu, yaş ağırlığı ve kuru ağırlık değerlerine bakıldığında kamışsı yumak bitkisinin bitki boyu %6.33 arttığı, bitki kuru ağırlığı % 5.05 ve bitki yaş ağırlığı (% 11.12) azaldığı görülmüştür. Semizotu bitkisinde ise bitki boyu %39.1 azalmış, bitki yaş ve kuru ağırlığı % 45 ve % 42.11 artmıştır. İki farklı bitki grubundan oluşan çalışmada bitkilerin ekiminden önce ve hasatlarından sonra tuzlu toprakta EC, ESP ve KDK okumaları gerçekleştirilmiştir. Her iki bitkide de düşüş gözlemlenmiştir. Hesaplamalar neticesinde kamışsı yumak bitkisi, semiz otu bitkisine göre EC ve ESP değerlerini daha fazla azalttığı belirlenmiştir. KDK değerlerine bakıldığında bütün uygulamalar için önemli değişimlerin olmadığı hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda her iki bitkininde tuzlu toprakların ıslahında kullanılan diğer yöntemlere ek olarak düşünülen fitoremediasyon yönteminde tercih edilebilecek bitkiler olarak görülebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fitoremediasyon, Tuzlu topraklar, *Portulaca oleracea*, *Festuca arundinacea*, Yeşil ıslah

## Improvement of Salty Soils by Phytoremediation Method by Applying (*Portulaca oleracea*) and (*Festuca arundinacea*) Plants at Different Salt Concentrations

### Abstract

Salinity is one of the most important environmental factors affecting agriculture negatively. Phytoremediation is considered as an alternative method because of the high cost and labor requirement of remediation of saline soils. It is expressed as the removal of excess salts in the soil by using plants. For this purpose, the evaluation potential of Purslane (*Portulaca oleracea*) and Reed Yumak (*Festuca arundinacea*) plants at different salt concentrations by phytoremediation method was investigated. In the study, 4 different salt (NaCl) concentrations (0, 75, 150 and 200 mM) were applied to ensure soil salinity. In the study, plant height, plant dry weight and fresh weight parameters were measured. Electrical conductivity (EC), exchangeable sodium percentage (ESP), cation exchange capacity (CDC) properties were investigated in the soil before and after harvest. Considering the plant height, fresh weight and dry weight values, it was observed that the plant height of the cane ball plant increased by 6.33%, the plant dry weight was 5.05% and the plant fresh weight (11.12%) decreased. In the purslane plant, the plant height decreased by 39.1%, the fresh and dry weight of the plant increased by 45%

\* Sorumlu Yazar: [hasaner@bingol.edu.tr](mailto:hasaner@bingol.edu.tr)



and 42.11%. In the study consisting of two different plant groups, EC, ESP and CDC readings were performed in saline soil before planting and after harvesting. A decrease was observed in both plants. As a result of the calculations, it was determined that the cane ball plant decreased the EC and ESP values more than the purslane plant. Considering the CDC values, it was calculated that there were no significant changes for all applications. As a result of the research, both plants can be seen as plants that can be preferred in the phytoremediation method, which is considered in addition to other methods used in the reclamation of saline soils..

**Keywords:** Phytoremediation, Saline soils, Portulaca oleracea, Festuca arundinacea, Green breeding

## 1. Giriş

Toprak tuzluluğu yarı ve kurak bölgelerde tarımsal üretkenlik ve sürdürülebilirlik üzerinde ciddi olumsuz etkileri olan önemli bir çevresel faktör olarak görülmektedir (Shereen vd. 2016). Tuzluluk doğal süreçler veya aşırı sulama ve gübreleme sonucu toprak çözeltisi içerisinde toplam çözünmüş tuz konsantrasyonunun artması olarak ifade edilmektedir (Machado ve Serralheiro 2017). Birleşmiş Milletler Çevre Programı, dünyadaki tarım arazilerinin yaklaşık %20'sinin ve ekili alanların %50'sinin tuz stresi altında olduğunu tahmin etmektedir (Ravindran vd. 2007). Sulanabilir tarım alanlarının yaklaşık %20'si tuzluluktan etkilenmiş ve tarımsal üretim önemli derecede azalmıştır (Qadir vd. 2014). Dünya tarım arazilerinin sınır değerlerine ulaştığı dikkate alındığında tuzlu topraklar gibi sorunlu arazilerin ıslah edilerek tekrar tarıma kazandırılması önem teşkil etmektedir (Angın 2014). Tuzlu toprakların ıslahında yıkama, drenaj, derin sürüm, kumlama, kimyasal ıslah malzemeleri vb. gibi günümüzde birçok yöntem mevcuttur (Chhabra 2017). Bu yöntemlerin maliyetli olması, uzun sürmesi ve kimyasal ıslah işlemlerinde, tuzluluğun giderilmesi sırasında uygulanacak yıkama suyunun sürdürülebilir su kaynaklarının kullanımını daha etkin kullanmak amacıyla ıslah işlemleri için yeni yöntemler arayışına gidilmesi gerekmektedir.

Fitoremediasyon, tuzlu toprakların ıslahı için son zamanlarda araştırması yapılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Han 2013; Karakas 2016; Er vd. 2021). Bitki ile ıslah olarak da adlandırılan fitoremediasyon, toprakta bulunan fazla tuzların bitkiler kullanılarak giderilmesi olarak tanımlanmaktadır (Qadir 2007; Shmaefsky 2020). Fitoremediasyon yöntemi ile tuzlu toprakların iyileştirilmesi işleminde ıslah amacıyla halofit bitkilerin kullanılması olumlu açıdan daha etkin olduğu düşünülmektedir (Nouri vd. 2017). Halofit bitkiler tuza dayanımı yüksek bitkiler olarak bilinmektedir. Bu bitkiler tuzlu koşullarda yetiştirilebilir ve tuzları dokularında biriktirerek fitoremediasyona yardımcı oldukları düşünülmektedir (Hasanuzzaman vd. 2014).

Bu çalışmada tuzlu toprakların fitoremediasyon yöntemi ile tekrardan ekonomik olarak üretken hale getirebilmeyi ve tuzluluğun verdiği olumsuz sebeplerden dolayı herhangi bir bitki deseni bulunmayan arazilerin toprak erozyonu ve çölleşmeyi azaltmak amacıyla halofit bitkilerin yetiştirilme potansiyeli ve kullanım olanaklarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma 2021 yılında Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne bağlı seralarda saksı çalışması olarak yürütülmüştür. Denemede materyali olarak Semizotu (*Portulaca oleracea*) ve Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) bitkileri kullanılmıştır. Halofit türleri gölgede kurutulmuş ve 2 mm lik elekten geçirilmiş 8 litrelik saksılara yerleştirilmiştir. Toprak tuzluluğunu sağlamak amacıyla 0, 75, 150 ve 200 mM NaCl saf suda çözültilerek toprağa verilmiştir. Çalışma tam şansa bağlı tesadüf desenine göre üç tekrarlamalı olarak 12 saksıda yürütülmüştür. Gelişme süresince bitkiler yaklaşık tarla kapasitesine getirilecek şekilde, ihtiyaç duyuldukça sulanmıştır.

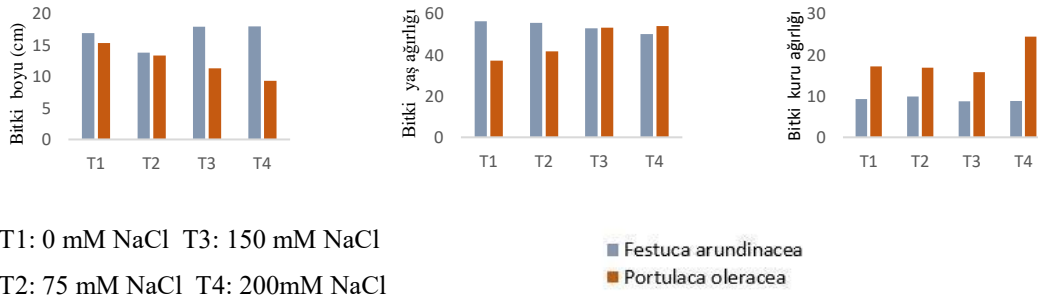
Bitki fiziksel analizleri; Bitki boyu Rastgele seçilen bitkilerin toprakla temas ettiği kök boğazından uç kısmın uzunluğu ölçülerek aritmetik ortalaması alındı. Bitki yaş ağırlığı her bir saksıdan biçilerek hasat edilen otsu bitkiler tartılarak belirlendi. Bitki kuru ağırlığı her bir saksıdan alınan yaş örneklerinin 70 °C'de ağırlıkları sabitleninceye kadar 48 saat kurutulmasından sonra tartılarak belirlendi.

Toprak analizleri; Bünye analizi: Toprakların kum, kil ve silt fraksiyonlarının oransal dağılımı Bouyoucos hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Canbolat 2011). Toprak reaksiyonu (pH) ve Toprak numunelerinin Elektriksel iletkenlik (EC) ölçümü EC metre ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toprak kireç miktarı (%CaCO<sub>3</sub>) analizi, Toprağın Scheibler kalsimetresinde seyreltik hidroklorik asitle reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO<sub>2</sub> gazının kapalı bir boruda tutularak hacminin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin hesaplanması ile belirlenmiştir (Allison ve Moodie 1965). Suda çözünebilir katyonları, Satürasyon çamurundan elde edilen süzüğün kullanılmasıyla AASP ile ölçülerek Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve K<sup>+</sup> gibi katyonlar belirlenmiştir. Katyon değişim kapasitesi (KDK), Na asetat ve Amonyum asetat çözümleri ile iyon değiştirme esasına dayanan yöntem (atomik absorpsiyon spektrometre (AASP) ile hesaplanmıştır (Sumner ve Miller 1996). Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP): Toprakların KDK sı ve değişebilir Na iyonlarından oransal ifadesi olarak belirlenmiştir. Deneme boyunca gözlemlenen parametreler tesadüf deneme desenine göre SPSS istatistik programında varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar %5 önem seviyesinde Duncan testi ile karşılaştırılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) ve Semiz otu (*Portulaca oleracea*) bitkilerinin 100 gün süren hasadın sonunda bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı ve bitki boyları ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Dört farklı tuzluluk seviyesi için Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) ve Semiz otu (*Portulaca oleracea*) bitkilerinin vejetatif ölçüm grafikleri



Tablo 2. Dört farklı tuzluluk seviyesi için Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*) ve Semiz otu (*Portulaca oleracea*) bitkilerinin vejetatif ölçüm istatistikleri

Toprak Tuz Düzeyleri	Kamışsı Yumak ( <i>Festuca arundinacea</i> )						Semiz otu ( <i>Portulaca oleracea</i> )					
	Bitki boyu		Bitki kuru ağırlığı		Bitki yaş ağırlığı		Bitki boyu		Bitki yaş ağırlığı		Bitki kuru ağırlığı	
	N	Ort.	N	Ort.	N	Ort.	N	Ort.	N	Ort.	N	Ort.
T1	3	16.9a	3	9.29a	3	56,37a	3	15.33a	3	37.23a	3	17.19a
T2	3	13.8b	3	9.88a	3	55,6a	3	13.33b	3	41,7a	3	16,93a
T3	3	17.96c	3	8.77b	3	52,92b	3	11.33c	3	53,2b	3	15,83b
T4	3	17.97c	3	8.82b	3	50,1b	3	9.33d	3	54b	3	24.43c

\* p<0,05, \*\*p<0,01 not: Aynı harfler aynı grubu ifade etmektedir.

Tablo 2'e göre tuz konsantrasyonları ile bitki boyu, bitki kuru ağırlığı ve bitki yaş ağırlığı arasında ilişki anlamlı bulunmuştur (P<0.05). Kamışsı yumak bitki boyu T3 ve T4 uygulamalarında aynı grupta yer almış olup T1 ve T2 uygulamalarında farklılaşmaktadır. Bitki kuru ağırlığı ve bitki yaş ağırlığı T1-T2 ve T3-T4 uygulamalarında aynı grupta yer almıştır. Semiz otu bitkisine bakıldığında bitki boyu bütün uygulamalarda farklı grupta yer almıştır. Bitki yaş ağırlığı T1-T2 ve T3-T4 uygulamalarında aynı grupta yer almıştır. Bitki kuru ağırlığı ise T1 ve T2 uygulamaları aynı T3 ve T4 uygulamaları farklı bulunmuştur. Bitki yaş ağırlığı incelendiğinde T4 uygulamasının T1 uygulamasına göre % 46'lık önemli bir artışın geldiği gözlemlenmiştir.

Topraklarda yapılan analizler sonucu elde edilen toprağa ait genel özellikler Tablo 3'de verilmiştir. İki farklı bitki grubundan oluşan çalışmada bitkilerin ekiminden önce ve hasatlarından sonra tuzlu toprakta EC okumaları gerçekleştirilmiştir. Her iki bitkide de düşüş gözlemlenmiştir. Kamışsı yumak bitkisi T2 uygulamasında 7.09 dS/m iken 2.1 dS/m (% 70 azalış), T4 uygulamasında 13.8 dS/m iken 4.2 dS/m (% 69.5 azalış) ile en önemli düşüşler hesaplanmıştır. Semizotu bitkisinde ise T3 uygulamasında 10.09 dS/m iken 4.3 dS/m (% 57.38 azalış), T4 uygulamasında 13.8 dS/m iken 5.5 dS/m (% 60.1 azalış) ile en önemli düşüşler hesaplanmıştır (Tablo 4). Hesaplamalar

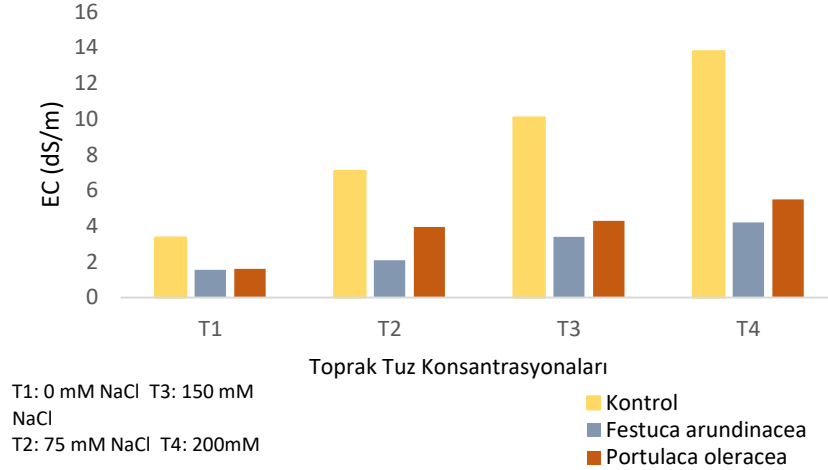
neticesinde kamışsı yumak bitkisi, semiz otu bitkisine göre EC değerlerini daha fazla azalttığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Araştırmada kullanılan toprağa ait genel özellikler

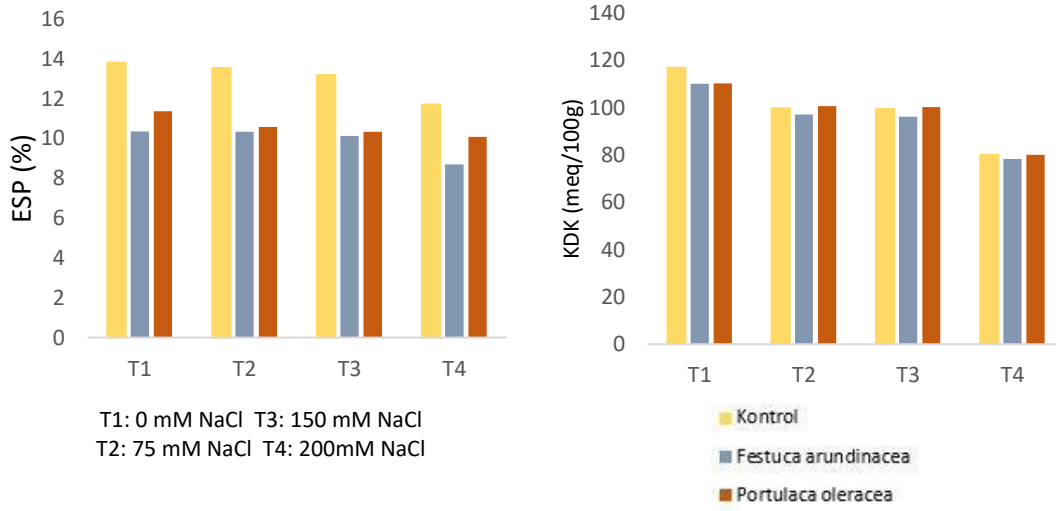
Tekstür(%)							
Kil	Silt	Kum	Smf	pH	OM (%)	K <sub>2</sub> O (kg/da)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/da)
58	23	19	killi	7.5	1.17	75.88	3.59

İki farklı bitkinin yetiştirildiği toprakta yapılan ekim öncesi ve hasat sonrası Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri incelendiğinde iki bitkide ESP değerlerini azalttığı görülmüştür. Kamışsı yumak bitki T4 uygulaması değişebilir sodyum yüzdesini % 11.7'den 8.7'ye, T1 uygulaması ise %13,81'den 10,36'ya düşürerek en önemli azalışlar gözlemlenmiştir. Semizotu bitkisinde ise T2 uygulaması % 13.54'den 10.58'e, T3 uygulaması %13.19'dan 10.34'e düşürerek en önemli azalışlar gözlemlenmiştir (Tablo 5). Hesaplamalar sonucunda iki bitki kıyasladığında kamışsı yumak bitkisinin ESP değerlerini daha fazla düşürdüğü belirlenmiştir. İki bitkinde KDK değerlerine bakıldığında bütün uygulamalar için önemli değişimlerin olmadığı hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 4. Hasat sonrasında toprakların gösterdikleri elektiriksel iletkenlik (EC) değerleri.



Tablo 5. Hasat sonrasında toprakların gösterdikleri Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) ve Katyon Değişim Kapasiteleri (KDK)



Akhter ve ark., (2003) tuzlu-sodik toprakların ışlavında baraj otu (*Leptochloafusca* L.) bitkisini kullanmıştır. Araştırma 5 yıl boyunca gözlemlenmiş ve araştırma sonucu olarak baraj otunun tuzlu sodik toprakların elektiriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri üzerine olumlu bir etki yaptığı belirtilmiştir. Ayrıca Akhter ve ark., (2004) fitoremediasyon üzerine yaptığı çalışmasında tuzlu-sodik topraklarda baraj otu (*Leptochloafusca* L.) bitkisini yetiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda toprakların kullanılabilir su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenliği ve toprağın strüktürel dayanımı üzerine olumlu sonuçlar belirlemişlerdir. Ravindran ve ark., (2007), fitoremediasyon yöntemi üzerine yaptığı araştırmada *Clerodendroninerna Gaertn.*, *Sesuvium portulacastrum* L., *Heliotropium curassavicum* L., *Suaedemaritima* Dum., *Ipomoea pes-caprae* Sweet., halofit bitkileri 0, 30, 60, 90 ve 120 gün boyunca yetiştirilmiş ve uygulama periyodu boyunca toprağın elektiriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerlerinde önemli derecede olumlu değişimler olduğu ifade edilmiştir. Karakaş (2017) yürüttüğü çalışmada farklı tuz seviyelerine sahip topraklarda (T1: 0.9 dS/m, T2: 4.2 dS/m, T3: 7.2 dS/m ve T4: 4.1 dS/m) yetiştirilen *Salsola* soda ve *Portulacaoleracea* bitkilerin, toprakların EC değerlerini önemli derecede azaltmış olup, kimyasal ışlav malzemeleri ile yapılan

uygulamalara alternatif bir yöntem olabileceği belirtilmiştir. Li ve ark., (2019) tuzlu toprakların iyileştirilmesi üzerine yaptığı çalışmada *Suaeda salsa* ve *Trichoderma asperellum* bitkilerinin fitoremediasyon tekniği olarak kullanılabilceği belirtmişlerdir.

#### 4. Sonuç

Tuzlu toprakların artması dünya genelinde büyük sorunlardan biri olup tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması tarıma ve gıdaya olan ihtiyacı da önemli derece de artırmaktadır. Bu bağlamda yaptığımız araştırmamızda tuzlu toprakların fitoremediasyon yöntemiyle iyileştirilmesinin etkisini belirlemek için 2 farklı bitki ve 4 farklı tuz konsantrasyonu uygulanmıştır. Çalışmada bitkinin bitki boyu, bitki yaş ağırlığı ve kuru ağırlığına ölçülmüş olup, toprakta ise elektiriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri analiz edilmiştir. Analizler neticesinde yetiştirilen her iki bitkide tuzlu toprakların ışlavında kullanılan diğer yöntemlere ek olarak düşünölen fitoremediasyon yönteminde tercih edilebilecek bitkiler olarak görölebilmektedir.

## **Kaynakça**

- Chhabra, R. (2017). Soil salinity and water quality. Routledge.
- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Ahmed, S., & Murray, R. (2003). "Amelioration of a saline sodic soil through cultivation of a salt-tolerant grass", *Leptochloa fusca*. *Environ. Conserv.*, 30, 168-174.
- Akhter, J., Murray, R., Mahmood, K., Malik, K.A., Ahmed, S. (2004). Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). *Plant and Soil*. 258, 207-216.
- Allison, L.E., Moodie C.D., (1965). Carbonate, In: C.A. Black (Ed.), *Methods Of Soil Analysis, Part 2, Agronomy*. 9, 1379-1400. USA
- Angin, İ. (2014). Tuzlu-Sodik ve Sodik Toprakların Islahına Farklı Bir Yaklaşım: Yeşil Islah. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 103-116.
- Canbolat, M. Y., (2011). Toprağa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Muamelesinin Day ve Bouyoucos Hidrometre Yöntemlerinde Dane Büyüklük Dağılımı Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(1).
- Er, H., Meral, R., & Kuşlu, Y. (2021). Tuzlu Toprakların Halofit Bitkiler Kullanarak Fitoremediasyon Yöntemiyle İyileştirilmesi Olanaklarının Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 14(2), 101-110.
- Han, L., Liu, H., Yu, S., Wang, W., & Liu, J. (2013). Potential application of oat for phytoremediation of salt ions in coastal saline-alkali soil. *Ecological engineering*, 61, 274-281.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M.M., Bhowmik, P.C., Hossain, M.A., Rahman, M.M., Prasad, M.N.V., Ozturk, M., Fujita, M., (2014). Potential use of halophytes to remediate saline soils. *Biomed. Res. Int.* 2014, 589341.
- Karakas S., Çullu MA., & Dikilitaş M, (2017). "Comparison of two halophyt species (*Salsola soda* and *Portulacaoleracea*) for salt removal potential under different soil salinity conditions", *Turk J AgricFor*, vol. 41, pp.183-190.
- Karakas, S., Cullu, M. A., Kaya, C., & Dikilitaş, M. (2016). Halophytic companion plants improve growth and physiological parameters of tomato plants grown under salinity. *Pak. J. Bot*, 48(1), 21-28.
- Li, X., Zhang, X., Wang, X., Yang, X., Cui, Z, (2019). Bioaugmentation-assisted phytoremediation of lead and salinity co-contaminated soil by *Suaeda salsa* and *Trichoderma reesei*. *Chemosphere*, 224, 716-725.
- Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30.
- Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., Nirola, R., Hassanli, A., Beecham, S., Alaghmand, S., & Mulcahy, D. (2017). Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation. *Process Safety and Environment Protection*, 107, 94-107.
- Qadir M, Quillerou E, & Nangia V, (2014), "Economics of salt-induced land degradation and restoration". *Natural Resources Forum*, vol. 38, pp.282-295.
- Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D., & Sahrawat, K. L. (2007). Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in agronomy*, 96, 197-247.
- Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K.P., Balasubramanian, T, (2007). Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology & Biochemistry*. 39, 2661-2664.
- Shereen, A., Ansari, R., Raza, S., Shirazi, M. U., Khan, M. A., & Mumtaz, S. (2016). Effect of transpiration rate on sodium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) grown under saline conditions. *Pak. J. Bot*, 48(1), 47-51.
- Shmaefsky, B. R. (2020). Principles of Phytoremediation. *Phytoremediation: In-situ Applications*.
- Sumner, M.E. Miller, W.P., (1996). Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. In: D.L. Sparks et. al., (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series No: 5. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. Of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA. pp.1201-1230.



# Kemik Rejenerasyonu için Farklı Gözenek Oranlarındaki Kafes Tabanlı Gözenekli Yapının Geçirgenlik Performansının Değerlendirilmesi

Derya Karaman<sup>1</sup>, Hücçet Kahramanzade<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5371-9332), [deryakaraman@ktu.edu.tr](mailto:deryakaraman@ktu.edu.tr)

<sup>1\*</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9078-1933), [h.kahramanzade@ktu.edu.tr](mailto:h.kahramanzade@ktu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1069194)

**ATIF/REFERENCE:** Karaman, D. & Kahramanzade, H. (2022). Kemik Rejenerasyonu için Farklı Gözenek Oranlarındaki Kafes Tabanlı Gözenekli Yapının Geçirgenlik Performansının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 75-79.

## Öz

Günümüzde, travmalar, kemik tümörleri veya osteonekroz gibi çeşitli nedenler ve artan yaşlı nüfusa da bağlı olarak kemik kayıplarına sıklıkla rastlanılmaktadır. Kemik kayıplarının giderilmesi ile hastanın kemik fonksiyonlarını devam ettirmesi, estetik görünümün korunması gibi hasta yaşam kalitesi korunmaya çalışılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte, kemik kayıplarının yerini alması için gözenekli yapıya sahip protezlerin tasarlanması ve üretilmesi oldukça yaygındır. Protezler, hasta için kullanıma sunulmadan önce birçok sayısal ve deneysel analizlere tabi tutularak biyomekanik olarak uygunluğu araştırılmaktadır. Bu çalışmada kirış tabanlı kafes yapılardan bir mimari belirlenerek bu geometriye sahip farklı gözeneklilik oranlarındaki iskelelerin kemik rejenerasyonu için uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, iskele modellerinin kemik benzeri davranışlarını belirlemek için akış analizleri sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi ile yapılan akış analizleri sonucunda geçirgenlik değerleri hesaplanmış olup, yapı içerisinde geçen akış çizgileri ve yüzeylerde oluşan duvar kayma gerilmeleri kaydedilmiştir. Tasarlanan modellerin geçirgenlik performanslarına bakıldığında, tüm modeller trabeküler kemik geçirgenliğinin alt sınırının üstünde olduğu görülmektedir. Ayrıca, duvar kayma gerilmesi bakımından %50 ve %60 gözeneklilikteki iskelelerde kemik hücre gelişimi için olumsuz olabilecek gerilme değerleri meydana geldiği görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kemik rejenerasyonu, Geçirgenlik, Gözenekli Yapı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

## Evaluation of Permeability Performance of Lattice-Based Porous Structure at Different Pore Ratios in Bone Regeneration

### Abstract

Today, bone loss is frequently encountered due to various reasons such as traumas, bone tumors or osteonecrosis, and the increasing elderly population. With the elimination of bone loss, the patient's quality of life is tried to be preserved, such as maintaining the bone functions of the patient and preserving the aesthetic appearance. With the developing technology, it is quite common to design and manufacture prostheses with a porous structure to replace bone losses. The biomechanical suitability of the prosthesis is investigated by subjecting it to many numerical and experimental analyzes before being put into use for the patient. In this study, it was aimed to investigate the suitability of scaffolds with different porosity ratios with this geometry for bone regeneration by determining an architecture from beam-based truss structures. Accordingly, flow analyzes were carried out numerically to determine the bone-like behavior of the scaffold models. The permeability values were calculated as a result of the flow analyzes made with the Computational Fluid Dynamics method, the flow lines passing through the structure and the wall shear stresses on the surfaces were recorded. All models considered for their permeability performance are above the lower limit of trabecular bone permeability. In terms of wall shear stress, it was observed that stress values that could be negative for bone cell development occurred in scaffolds with 50% and 60% porosity.

**Keywords:** Bone regeneration, Permeability, Porosity, Computational Fluid Dynamics

\* Sorumlu Yazar: [h.kahramanzade@ktu.edu.tr](mailto:h.kahramanzade@ktu.edu.tr)

## 1. Giriş

Kemik rejenerasyonu, yetişkin bir bireyde yaşamı boyunca hasar görebilecek herhangi bir kemik yapısının fizyolojik olarak yeniden şekillenmesini kapsayan kemik oluşumdur (Dimitriou vd., 2011). Kazalar, enfeksiyon veya kemik tümörü gibi durumlarda oluşacak fazla hacme sahip olan kemik kayıpları için büyük miktarda kemik rejenerasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşan kemik kayıplarının yerine, bu alanları doldurmak amacıyla kemik geometrisini ve işlevini devam ettirebilen protezler geliştirilmektedir.

Eklemli imalat yönteminin yaygınlaşmasıyla birlikte, protez tasarımlarında gözenekli yapıların kullanılması oldukça popüler bir durum olmuştur (Nelms ve Palmer, 2019). Gözenekli yapılar, yerleştirilecek çevre kemik dokusunun hem geometrisine hem de biyomekanik özelliklerine benzer davranışlar sergilemektedirler (Campoli vd., 2013). Biyomekanik özellikler, gözenekli yapı sayesinde kemik hücrelerinin yapışması/tutunması ve gelişimini destekleyen ortamların oluşturulması ile sağlanmaktadır. Bu ortamın kemik rejenerasyonunu desteklemesi için geçirgenlik, duvar kayma gerilmesi ve akış hızlarının kemik benzeri davranış sergilemesiyle elde edilmektedir. Kemik hücrelerinin belirli bir oranda göçünü sağlayan geçirgenlik özelliği, kemik hücrelerinin yüzeylere tutunmasında ve bunların beslenmesinde oldukça önemli bir parametredir (Melchels vd., 2011). Yüzeyle tutunan kemik hücrelerinin gelişimi için mekanik olarak uyarılmasını sağlayan parametre ise duvar kayma gerilmesi olduğu literatürden bilinmektedir (Zhao vd., 2018). Mekanik uyarım ile gelişime teşvik edilen hücreler kemik yapının oluşumunu sağlamaktadır. Gözenekli yapıların akışkan geçişine müsaade edebilen yapısından dolayı literatürdeki çalışmalarda geçirgenlik ve duvar kayma gerilmesinin belirlenmesi için sayısal yöntem olarak güvenilirliği bakımından oldukça etkili olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılmaktadır. Ali ve ark. (2020), farklı mimarilere sahip gözenekli yapıların geçirgenliklerini belirlemek için HAD yöntemi uyguladıkları akış analiz sonuçlarından, gözenekli yapılarda geçirgenliklerin hesaplanmasında literatürce yaygın kullanılan Darcy Yasası ile hesaplamışlardır. Bu hesaplamalara göre aynı gözenekliliğe sahip kafes tabanlı iskele yapının, üç yönlü periyodik minimal yüzey mimarilerinden olan gyroid yapıya göre daha yüksek geçirgenlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Arjunan ve ark. (2020), kemiğe daha yakın geçirgenlik değerlerini sağlayacak fonksiyonel olarak derecelendirilmiş gözeneklilik oranlarına sahip yapıların olacağını sayısal olarak kanıtlamışlardır. Zhao ve ark. (2016), küresel ve kübik geometriye sahip gözenekli kafes yapılarında duvar kayma gerilmesinin belirlenmesi için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Akış analizleri yapılan bu çalışma sayesinde iskele tasarım ve optimizasyonuna izin vererek duvar kayma gerilmesi açısından arzu edilen bir mekanik uyarım seviyesi oluşturan modeller oluşturmuşlardır.

Literatürdeki bilgiler doğrultusunda, bu çalışmada 5 farklı gözeneklilik oranlarına sahip giriş tabanlı Beam-Mix kafes yapısının kemik rejenerasyonu açısından uygunluk performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu değerlendirmede akış analizleri için sayısal olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılmıştır. Analizler ile her bir yapının geçirgenlik değerleri, yüzeylerde meydana gelen duvar kayma gerilmesi ve akış hız profilleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

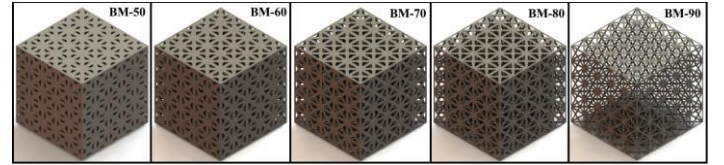
### 2.1. Kafes Yapı Modellemesi

Çalışmada kafes tabanlı gözenekli birim hücresi, basit kübik, hacim merkezli ve yüzey merkezli olmak üzere üç temel yapının bir araya getirilmesiyle modellenmiştir. Bu birleşim ile ortaya çıkan model Beam-Mix (BM) olarak adlandırılmış ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Birim hücre olarak  $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$  boyutlarında %50, %60, %70, %80 ve %90 gözenekliliğe sahip modeller oluşturulmuştur.



Şekil 1. Beam-Mix Kafes Birim Hücresi

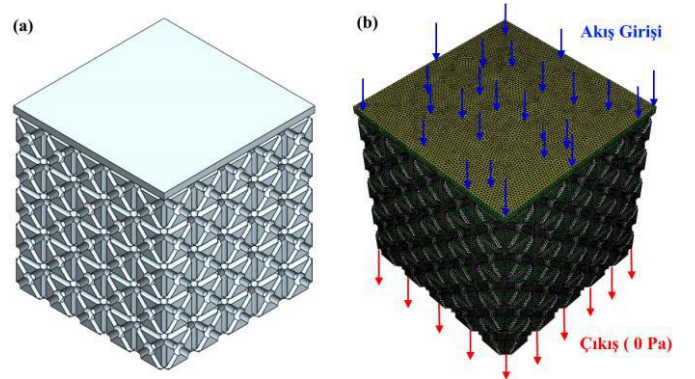
Farklı gözeneklilik oranlarına sahip birim hücre modelleri  $5 \times 5 \times 5$  diziliminde iskele yapıları oluşturulmuştur (Şekil 2). Bu modeller sırasıyla BM-50, BM-60, BM-70, BM-80 ve BM-90 olarak isimlendirilmiştir. Bütün modelleme işlemleri için SolidWorks yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 2. Farklı gözenek oranlarına sahip Beam-Mix iskeleleri

### 2.2. Akış Analizi Sınır Şartları

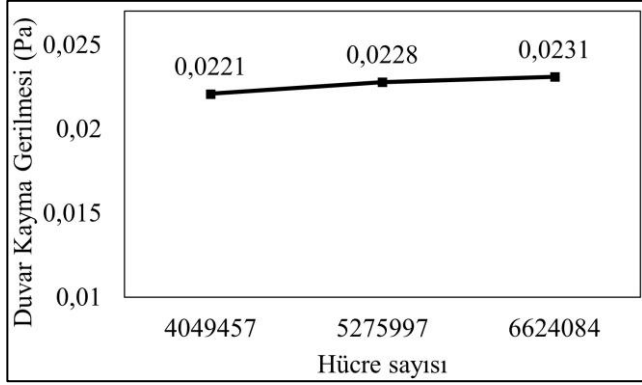
Bu çalışmada oluşturulan modellerin geçirgenlik performanslarının değerlendirilmesi için akış analizleri sayısal olarak ANSYS yazılımında gerçekleştirilmiştir. Akış analizi için modeller, iskele modellerinin dolu bir küpten çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Bu akış modelleri ANSYS Fluent'e aktararak akış analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3-a).



Şekil 3. Akış analizi için oluşturulan temsili model (a) ve analiz sınır şartları (b)

Laminer akışa sahip olacak şekilde yapılan analizlerde çıkış basıncı 0 Pa olarak kabul edilmiştir (Şekil 3-b). Akışkan, yoğunluğu  $1000 \text{ kg/m}^3$  ve dinamik viskozitesi  $0,0037 \text{ Pa.s}$  değerlerine sahip su tanımlanmıştır (Sinha vd., 2016) ve akışkan giriş hızı  $0,1 \text{ mm/s}$  alınmıştır (Truscello vd., 2012). Ağdan bağımsız analiz sonuçlarının elde edilebilmesi için BM-50 modeli kullanılarak üç farklı hücre sayısına ait analizler

gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçlarında modelde oluşan duvar kayma gerilmesinin değişimi dikkate alınmıştır. 5.275.997 ile 6.654.084 hücrelere sahip analizler arasında küçük bir farklılığın olması nedeniyle 5.275.997 ve buna yakın hücre sayısının analizlerde kullanılmasının yeterli olacağına karar verilmiştir (Şekil 4). Analizlerin yakınsama değeri için yakınsama kriteri değeri 1E-05 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. BM-50 için yapılan ağ bağımsızlık sonuçları

Modellere ait geçirgenlik değerleri Denklem 1’de verilen Darcy Yasasına göre hesaplanmıştır (Gómez vd., 2016).

$$k = \frac{Q \mu L}{A \Delta P} \quad (1)$$

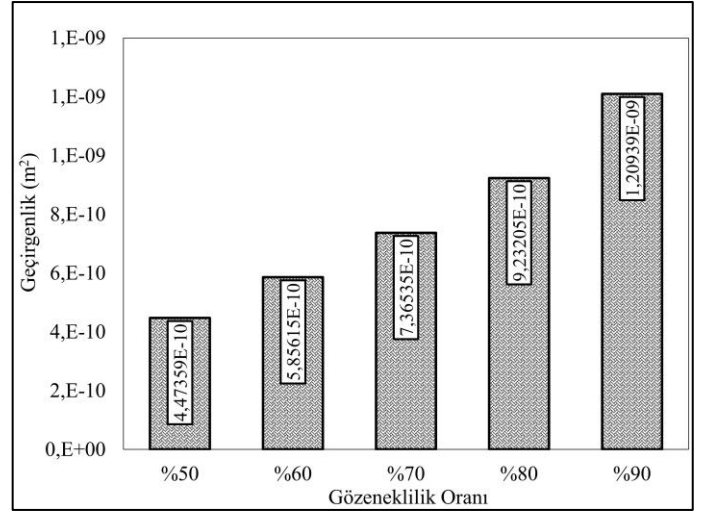
Burada  $Q$ ,  $\mu$ ,  $L$ ,  $L$  ve  $\Delta P$  sırasıyla sıvı akış debisi ( $m^3/s$ ), dinamik viskozite ( $kg/m.s$ ), model uzunluğu ( $m$ ), sıvı giriş kesit alanı ( $m^2$ ) ve basınç düşüş ( $Pa$ ) miktarıdır. Buna ek olarak analiz sonuçlarında duvar kayma gerilmesi verileri ve akış hız profilleri kaydedilmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Akış analizleri sonucunda modellerde oluşan giriş ve çıkış basıncı arasındaki farklar ile basınç düşüş değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1).

Gözeneklilik oranının artışı ile birlikte model giriş basınç değerlerinde azalmalar görülmektedir. Azalma miktarları modeller arasında değerlendirildiğinde BM-50 ile BM-60 arasında ~%46, BM-60 ile BM-70 arasında ~%42, BM-70 ile BM-80 arasında ~%41 ve BM-80 ile BM-90 arasında ~%44 olduğu tespit edilmiştir. En yüksek basınç düşüş değeri %50 gözenekliliğe sahip modelde, en düşük basınç düşüş değeri ise %90 gözenekliliğe sahip modelde kaydedilmiştir. Gözeneklilik oranlarına göre değişen bu basınç değerleri, Şekil 5’te verilen basınç dağılımlarına bakıldığında açık bir şekilde görülmektedir. Giriş yüzeylerine bakıldığında %50’den %90’a doğru maksimum değerlerinin (kırmızı renkli) daha az bir alana sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 1’de kaydedilen giriş alanı ve basınç düşüş değerleri ile Darcy Yasasına (Denklem 1) göre modellere ait geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 6). Geçirgenlik değerleri, Beam-Mix iskelelerde gözeneklilik oranının artışıyla arttığı görülmektedir. Her bir model, önceki gözeneklilik oranına sahip modele kıyasla %25-30 oranları arasında değişen bir artış göstermiştir. En düşük geçirgenlik değerine %50 gözeneklilikteki iskele, en yüksek geçirgenliğe %90 gözeneklilikteki iskele sahiptir. %90 gözenekliliğe sahip iskele, %50 gözeneklilikteki iskeleye kıyasla %170 daha fazla geçirgenlik davranışı göstermiştir.

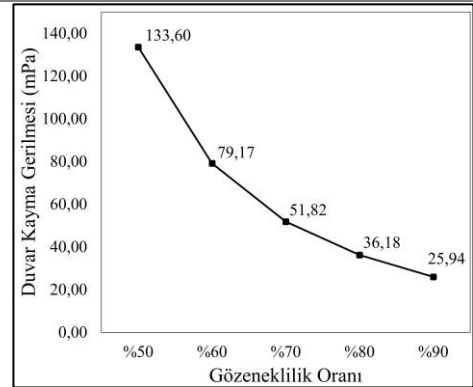


Şekil 6. Beam-Mix iskelelerinin geçirgenlik değerleri

Duvar kayma gerilmesi, akışkanın yapı boyunca geçtiği yüzeylerde oluşan gerilmeler olarak değerlendirilmektedir. Beam-Mix iskelelerde oluşan maksimum duvar kayma gerilme değerleri ( $mPa$ ) Şekil 7’de verilmiştir. Verilen grafik incelendiğinde, gözeneklilik oranı arttıkça iskele yüzeyinde oluşan duvar kayma gerilmesi azalmaktadır. En yüksek değere sahip olan BM-50 iskelesinde, BM-60 iskeleye göre %40 daha fazla gerilme meydana gelmiştir.

Tablo 1. Akış analiz sonuçları

Model	Giriş Alanı ( $m^2$ )	Giriş Basıncı (Pa)	Çıkış Basıncı (Pa)	$\Delta P$ (Pa)
BM-50	4,361421E-06	2,465251	0	2,465251
BM-60	6,121981E-06	1,341656	0	1,341656
BM-70	8,323971E-06	0,784551	0	0,784551
BM-80	1,117317E-05	0,466305	0	0,466305
BM-90	1,517646E-05	0,262064	0	0,262064



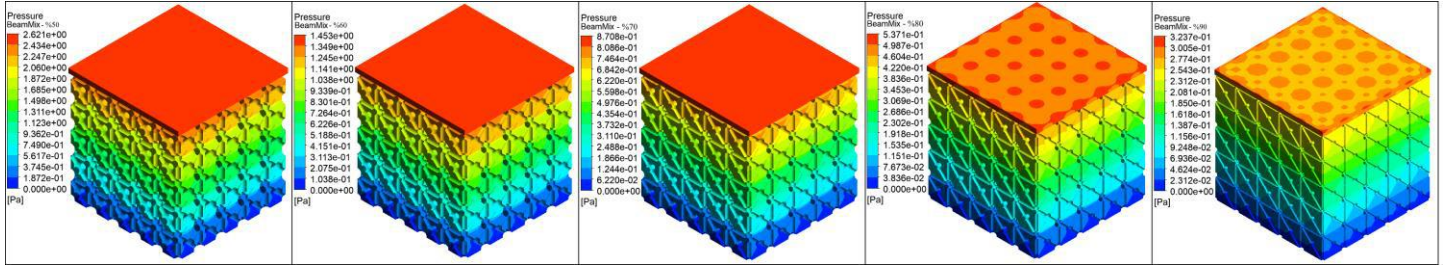
Şekil 7. Beam-Mix iskelelerde oluşan maksimum duvar kayma gerilmeleri

%70 gözeneklilik oranına sahip modelden sonraki modeller arasındaki fark nispeten daha azdır. Şekil 8’de verilen duvar kayma gerilmelerinin dağılım profillerine bakıldığında oluşan farklılıklar açık bir şekilde görülmektedir. Gözeneklilik arttıkça, iskele yüzeyinde oluşan gerilmelerin daha homojen bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Bu dağılım Şekil 9’da verilen akış

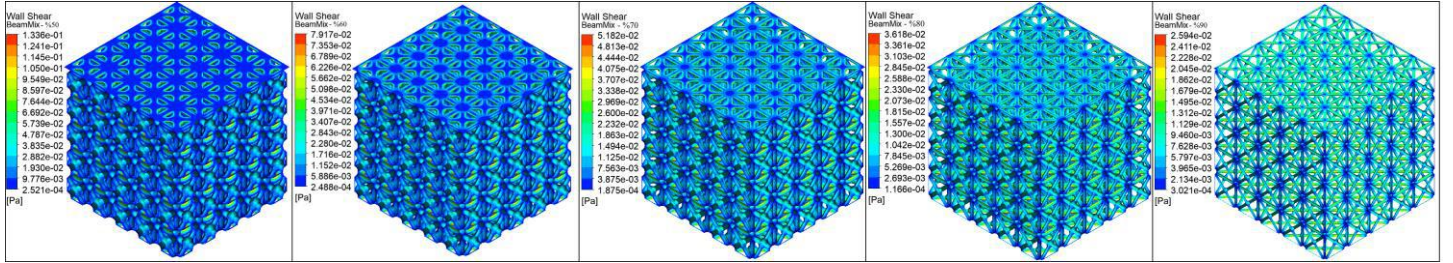
çizgilerine göre beklenen bir durumdur. %50'den %90'a doğru artan gözeneklilik oranlarında akışkana olan müsaade yeteneğinin değiştiği görülmektedir. En yüksek hız değerine sahip olan BM-90 iskelelerin orta seviyeli hız çizgileri diğer iskelelere kıyasla daha fazla alanı kapsamaktadır.

Kemik rejenerasyonu için gerçekleştirilen çalışmaların biyouyumluluğu sağlaması gerekmektedir. Bunlar için malzeme ve tasarım parametreleri önemli iki adımdır. Bu çalışmada son dönemlerde protez tasarımlarında yaygın olarak kullanılan kafes yapıları içerisinde kirış tabanlı kafesin bir örneği ele alınarak akış performansı değerlendirilmiştir. Geçirgenlik değeri, kemikler arasında bağlantılı olan protezlerin akışı ne derece sağlayabileceğinin bir ölçütüdür ve kemik hücrelerinin iletimi açısından oldukça önemlidir. İnsan trabeküler kemiğinin geçirgenlik değeri, Grimm ve Williams (1997) tarafından  $0,4-11 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  aralığında olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada Beam-Mix iskeleleri için hesaplanan geçirgenlik değerleri minimum  $4,47359 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  (BM-50) ve maksimum değer  $1,20939 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  (BM-90)'dir. Değerlere bakıldığında, ele alınan

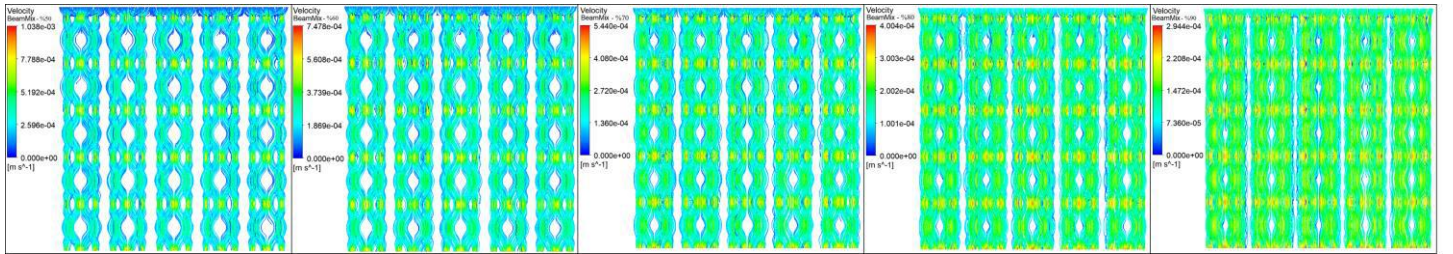
gözenekli modellerin tümü literatürde referans olarak dikkate alınan geçirgenlik değerleri arasındadır. Bu durum kemik rejenerasyonu için Beam-Mix modellerinin geçirgenlik bakımından uygun olduğunu göstermektedir. Hücre gelişimi için bir diğer önemli parametre ise duvar kayma gerilmesidir. Duvar kayma gerilmeleri, yapı içerisinde uyarıcı etkiye sahiptir. Uyarıcı etki ile yüzeylere yapışan/tutunan kemik hücrelerinin farklılaşması ve proliferasyonu gibi hücre gelişimi tetiklemektedir. Fakat bu uyarıcı etki alt sınır olarak  $0,11 \text{ mPa}$  değerindedir. Bunun altındaki gerilme değerlerinde hücre uyarılmamaktadır. Üst sınır ise  $60 \text{ mPa}$  olup, bu değer aşılması ile hücre ölümleri veya yüzeyden ayrılmaları meydana geldiği literatürce ifade edilmektedir (Olivares vd., 2009), (McCay vd., 2012). Bu çalışmadaki maksimum duvar kayma gerilme değerlerine bakıldığında (Şekil 7), BM-50 ve BM-60 iskelelerinde  $60 \text{ mPa}$ 'dan daha fazla gerilmeler kaydedilmiştir. BM-70, BM-80 ve BM-90 modellerinde oluşan gerilme değerleri sınır değerleri arasında kalmaktadır. Bu sınır değerleri arasında kalan Beam-Mix iskeleleri, hücre gelişimini destekleyici etkiye sahiptir.



Şekil 5. Beam-Mix modellere ait basınç dağılımları



Şekil 8. Beam-Mix modellerinde oluşan duvar kayma gerilmelerinin dağılımı



Şekil 9. Beam-Mix modellerine ait akış çizgileri

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada kirış tabanlı kafes yapılarından oluşturulan Beam-Mix birim hücrenin, farklı gözeneklilik oranlarındaki akış performansları incelenmiştir. %50'den başlayan gözeneklilik oranlarına göre bütün modellerin geçirgenlik değerlerinin trabeküler kemik benzeri özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Duvar kayma gerilmeleri bakımından, kemik rejenerasyonu için

%70, %80 ve %90 gözeneklilik oranına sahip Beam-Mix modellerinin kullanılmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

#### Kaynakça

Ali, D., Ozalp, M., Blanquer, S. B., & Onel, S. (2020). Permeability and fluid flow-induced wall shear stress in bone scaffolds with TPMS and lattice architectures: A CFD



- analysis. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 79, 376-385.
- Arjunan, A., Demetriou, M., Baroutaji, A., & Wang, C. (2020). Mechanical performance of highly permeable laser melted Ti6Al4V bone scaffolds. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 102, 103517.
- Campoli, G., Borleffs, M. S., Yavari, S. A., Wauthle, R., Weinans, H., & Zadpoor, A. A. (2013). Mechanical properties of open-cell metallic biomaterials manufactured using additive manufacturing. *Materials & Design*, 49, 957-965.
- Dimitriou, R., Jones, E., McGonagle, D., & Giannoudis, P. V. (2011). Bone regeneration: current concepts and future directions. *BMC medicine*, 9(1), 1-10.
- Gómez, S., Vlad, M. D., López, J., & Fernández, E. (2016). Design and properties of 3D scaffolds for bone tissue engineering. *Acta biomaterialia*, 42, 341-350.
- Grimm, M. J., & Williams, J. L. (1997). Measurements of permeability in human calcaneal trabecular bone. *Journal of Biomechanics*, 30(7), 743-745.
- McCoy, R. J., Jungreuthmayer, C., & O'Brien, F. J. (2012). Influence of flow rate and scaffold pore size on cell behavior during mechanical stimulation in a flow perfusion bioreactor. *Biotechnology and bioengineering*, 109(6), 1583-1594.
- Melchels, F. P., Tonarelli, B., Olivares, A. L., Martin, I., Lacroix, D., Feijen, J., ... & Grijpma, D. W. (2011). The influence of the scaffold design on the distribution of adhering cells after perfusion cell seeding. *Biomaterials*, 32(11), 2878-2884.
- Nelms, L., & Palmer, W. J. (2019). Tissue engineering in mandibular reconstruction: Osteogenesis-inducing scaffolds. *Plastic and Aesthetic Research*, 6, 21.
- Olivares, A. L., Marsal, È., Planell, J. A., & Lacroix, D. (2009). Finite element study of scaffold architecture design and culture conditions for tissue engineering. *Biomaterials*, 30(30), 6142-6149.
- Sinha, R., Le Gac, S., Verdonchot, N., van den Berg, A., Koopman, B., & Rouwkema, J. (2016). Endothelial cell alignment as a result of anisotropic strain and flow induced shear stress combinations. *Scientific reports*, 6(1), 1-12.
- Truscello, S., Kerckhofs, G., Van Bael, S., Pyka, G., Schrooten, J., & Van Oosterwyck, H. (2012). Prediction of permeability of regular scaffolds for skeletal tissue engineering: a combined computational and experimental study. *Acta biomaterialia*, 8(4), 1648-1658.
- Zhao, F., van Rietbergen, B., Ito, K., & Hofmann, S. (2018). Flow rates in perfusion bioreactors to maximise mineralisation in bone tissue engineering in vitro. *Journal of Biomechanics*, 79, 232-237.
- Zhao, F., Vaughan, T. J., & McNamara, L. M. (2016). Quantification of fluid shear stress in bone tissue engineering scaffolds with spherical and cubical pore architectures. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 15(3), 561-577.



# Yakıt Hücreli Araçlarda Enerji Yönetim Stratejileri ve Optimizasyon Hedeflerinin İncelenmesi

Ceyda Kök<sup>1\*</sup>, Suha Orçun Mert<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5536-3488), [ceydakok.ee19@iste.edu.tr](mailto:ceydakok.ee19@iste.edu.tr)

<sup>2</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7721-1629), [orcun.mert@iste.edu.tr](mailto:orcun.mert@iste.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1070927)

**ATIF/REFERENCE:** Kök, C., Mert, S.O. (2022). Yakıt hücreli araçlarda enerji yönetim stratejileri ve optimizasyon hedeflerinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 80-86.

## Öz

Günümüzde enerji kullanımı çerçevesinde çevre kirliliği ön plana çıkmaktadır. Enerji kullanımı esnasında meydana gelen ve ekosisteme zarar veren bu kirlilikler, fosil yakıtların kullanımı oluşmaktadır. Çevre kirliliğinin sebepleri incelendiğinde; fosil yakıt kullanan içten yanmalı motorlu araçlardan kaynaklı emisyon gazlarının etkisinin önemli düzeyde olduğu görülmektedir. Bu nedenle, enerjinin verimli kullanımı ve çevresel faktörler dikkate alındığında yakıt hücreli elektrikli araçlar giderek yaygınlaşmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlar kadar hızlı ivmelenme beklentisinden dolayı bu araçlarda yakıt hücreleri batarya ve süperkapasitör ile birlikte kullanılmaktadır. Ancak bu araçlarda farklı güç kaynaklarının birlikte kullanımı ile karmaşık güç akışını yönetmek için enerji yönetim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji yönetimi stratejileri ise maksimum verim koşulları dikkate alınarak optimizasyon hedeflerine göre belirlenmektedir.

Bu çalışmada, yakıt hücreli araçların farklı enerji yönetim stratejileri incelenmiş olup; enerji yönetim sistemleri belirlenen üç hedef açısından detaylı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen bulgular, enerji yönetim sistemleri ve optimizasyon çalışmalarını konu alan bilimsel ve sektörel faaliyetler için önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yakıt hücreli araçlar, Enerji yönetim sistemleri, Optimizasyon hedefleri, Yakıt hücresi, Batarya

## Investigation of Energy Management Strategies and Optimization Targets in Fuel Cell Vehicles

### Abstract

Today, environmental pollution comes to the fore in the framework of energy use. These pollutions, which occur during the use of energy and harm the ecosystem, are caused by the use of fossil fuels. When the causes of environmental pollution are examined; It is seen that the effect of emission gases originating from internal combustion engine vehicles using fossil fuels is at a significant level. For this reason, fuel cell electric vehicles are becoming increasingly common, considering the efficient use of energy and environmental factors. Due to the expectation of acceleration as fast as internal combustion engine vehicles, fuel cells are used with batteries and supercapacitors in these vehicles. However, energy management systems are needed to manage complex power flow with the use of different power sources together in these vehicles. Energy management strategies, on the other hand, are determined according to optimization targets, taking into account the maximum efficiency conditions.

In this study, different energy management strategies of fuel cell vehicles have been examined; energy management systems were evaluated in detail in terms of three objectives. The findings obtained as a result of the study are important for scientific and sectoral activities on energy management systems and optimization studies.

**Keywords:** Fuel cell vehicles, Energy management systems, Optimization targets, Fuel cell, Battery.

\* Sorumlu Yazar: [ceydakok.ee19@iste.edu.tr](mailto:ceydakok.ee19@iste.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde sanayinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu enerji ihtiyacı, güneş, rüzgar, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Geçmişten günümüze kadar birçok sektörde kullanılan fosil yakıtlar enerjinin yaklaşık %80'nini sağlamaktadır [1]. Ancak fosil yakıtların kullanılmasıyla birlikte açığa iki temel sorun çıkmaktadır. Bu sorunlardan ilki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı zamanla tükenmesidir. Diğeri ise küresel ısınmaya, asit yağmurlarına, ozon incelmesine ve iklim değişikliklerine sebep olmasıdır. Fosil yakıtların en çok ulaşım sektöründe kullanıldığı açıkça bilinmektedir. Ulaşım hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş ve taşıtlar günlük yaşantımızdaki hareketliliği kolaylaştırmıştır. Ancak içten yanmalı motorlu taşıtlar, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC) gibi zararlı emisyonları açığa çıkarmaktadır [2]. Bu emisyonlar insan sağlığı ve çevre için önemli tehditler oluşturmaktadır. Bu nedenle, bilim insanları tarafından hem fosil yakıt tüketimini azaltmak hem de çevre kirliliğini engellemek için Elektrikli Araçlar(EA) ve Hibrit Elektrikli Araçları (HEA) çözüm olarak sunulmuştur.

Hibrit elektrikli araçlar, günümüz araçları ile bataryalı elektrikli araçlar arasında bir geçiş aracı olarak bilinmektedir. HEA, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan oluşmaktadır, bu nedenle benzin ve dizel gibi fosil yakıtları kullanmaktadır. Bu araçlar sera gazı emisyonlarını azaltmış olsa da fosil yakıt kullandığı için istenilen çözüme ulaştıramamıştır. Bu nedenle, fosil yakıtları kullanmayan çevre dostu araçlar ülkelerin gündeminde yer almıştır. Bilim adamları, bu sorunları hafifletmek için Elektrikli Araçları önermişlerdir. EA'lar elektrik motoru ve bataryalardan oluşmaktadır, fosil yakıt kullanmadıkları için sıfır emisyonla sahiptir. Bu araçlarda kullanılan Lityum İyon (Li-ion) bataryalar uzun raf ömrü, geniş çalışma aralığı, yüksek güç ve enerji yoğunluğu gibi birçok avantaja sahipken uzun şarj süresi, düşük menzil problemi ve şarj olanaklarının kısıtlı olması gibi dezavantajları vardır. Otomotiv endüstrisi, bu araçlara alternatif olarak daha kısa sürede şarj olabilen ve daha uzun menzile sahip Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (YHEA) adlı yeni bir teknoloji geliştirmişlerdir.

YHEA, yakıt hücresinden gelen enerji ile beslenen elektrik motoru tarafından çalıştırılmaktadır. Bu araçlardaki birincil enerji taşıyıcısı hidrojendir. Hidrojen; hacimce çok düşük enerji içeriğine sahip olmasına rağmen, ağırlıkça bir yakıtın en yüksek içeriğine sahiptir. Bu yüksek içeriği sayesinde yakıt hücrelerinde ve roketlerde kullanılır. Fosil yakıtların aksine kullandıklarında sıfır emisyon oluşturmaktadır bu nedenle, geleceğin ulaşım yakıtı olarak öngörülmektedir [2].

Yakıt hücreleri, yakıttaki kimyasal enerjiyi elektrokimyasal tepkimelerle elektrik enerjisine dönüştürerek çalışırlar bu süreçte çevreye sadece su ve ısı verirler. Yakıt hücreleri temiz ve verimli enerji üretim teknolojilerinden biri olarak kabul edildiğinden dolayı otomobillerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Proton değişim membranlı yakıt hücreleri düşük çalışma sıcaklığı ve yüksek verim gibi avantajlara sahip olduğundan YHEA tercih edilmektedir. Ancak, Yakıt Hücre sistemleri yavaş dinamiklere sahip olduğu için hızlı güç geçişleri gaz açığına yol açarak verimsizliklere ve hatta kalıcı hasara neden olabilmektedir. Bu nedenle, dinamik performansı iyileştirmek ve ömrünü uzatmak

için bataryalar ve süperkapasitörler sisteme entegre edilerek sistem esnekliği ve performansı artırılmaktadır [3].

Yakıt hücrelerinin batarya ve süperkapasitör ile birlikte kullanılmasının temel amaçları yakıt hücresinin boyutunu, hidrojen tüketimini ve maliyeti azaltmaktır [4]. YHEA'ların günümüz içten yanmalı motor tabanlı araçlara benzer güç yoğunluğuna ve başlangıca sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle batarya rejeneratif fren enerjisi ile yakıt hücresine ek güç sağlamaktadır. Aynı zamanda YHEA'da birincil güç kaynağı olarak da kullanılabilir [4]. Süperkapasitörler yüksek güç yoğunluğuna ve kısa süreli geçici yanıtlara sahip enerji depolama sistemi olduğundan dolayı araç uygulamalarında tercih edilmektedir. Yakıt hücresinin yavaş dinamiği ile süperkapasitörün hızlı yanıtı en yüksek gücü sağlamak amacıyla ideal bir seçim oluşturmaktadır.

Toyota, Honda, Hyundai gibi öncü otomobil sektörleri yakıt hücresi ve batarya hibrit sistemini kullanarak araç üretmeye başlamışlardır. Tablo 1'de YHEA'ların özeti gösterilmiştir.

Birden fazla güç kaynağına sahip araçlar hibrit araçlar olarak adlandırılır ve karmaşık güç akışına sahiptir. Talep edilen gücü farklı kaynaklar arasında bölüştürmek için enerji yönetim sistemine (EYS) ihtiyaç duyulmaktadır. EYS'nin hedefleri arasında yakıt ekonomisini iyileştirmek, emisyonları azaltmak, güvenilirliğini ve dayanıklılığını dikkate alarak enerji depolama sisteminin şarj durumunu ve ömrünü sürdürmek yer almaktadır. Yakıt hücreli araçlarda hidrojen tüketimini azaltmak, sistem ve batarya ömrünü uzatmak için EYS tasarlanmalıdır. EYS stratejileri literatürde farklı kontrol yöntemleri ile sınıflandırılmıştır. Ancak sınıflandırma genel olarak HEA hedeflerine yönelik olduğundan dolayı bu çalışmada YHEA optimizasyon hedefleri etrafında özetlenmiştir.

## 2. Enerji Yönetim Sistemi

Hibrit araçlar birden fazla güç kaynağı içerdiğinden dolayı karmaşık bir kontrol sistemine sahiptir. Kontrol algoritmalarının genel amacı; farklı güç kaynaklarını uygun çalışma modlarında ve yüksek verimle sürücü güç isteğini karşılayacak şekilde senkron olarak çalıştırmaktır.

Hibrit araçların kontrol stratejisi, üst seviye kontrol ve alt seviye kontrol stratejisi olmak üzere iki temel seviyede incelenmektedir. Alt seviye kontrol stratejisi, sürücünün tork talebine göre araç bileşenlerinin kontrolünü sağlamaktadır. Üst seviye kontrol stratejileri ise aracın tüm sistem üzerindeki kontrolünden sorumludur. Alt seviyeden gelen batarya doluluk oranı, sürücü güç talebi ve yol durumu geri dönüşlerini alan üst seviye kontrolü aracın çalışma moduna ve güç aktarım organları arasında verimli bir şekilde gücü paylaşırma gibi konulara karar verir.

Literatürde yer alan üst seviye kontrol sınıflandırması Şekil 1'de gösterilmiştir. Enerji yönetim sistemleri genel olarak kural tabanlı ve optimizasyon tabanlı olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. Kural tabanlı stratejiler insan zekasına, matematiksel modellere dayalı olarak önceden sürüş döngüleri hakkında bilgisi olmadan belirlenmektedir [2]. Kural tabanlı stratejiler kendi arasında deterministik kural tabanlı, bulanık kural tabanlı ve filtreleme tabanlı olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Optimizasyon tabanlı stratejiler ise maliyet fonksiyonunu en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu stratejiler gerçek zamanlı optimizasyon stratejisi ve küresel optimizasyon stratejisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

## 2.1. Kural Tabanlı Strateji

### 2.1.1. Deterministik Kural Tabanlı Strateji

Deterministik kural tabanlı stratejiler, mühendislik deneyiminden yararlanarak önceden planlanmış tablolar aracılığıyla kullanılmaktadır. Bu stratejiler arasında termostat açma kapama yöntemi, yük takipçi stratejisi, durum makinesi kontrolü yer almaktadır [6].

Termostat açma kapama yöntemi, enerji depolama sistemi şarj durumu belirlenen eşğin altında olduğunda yakıt hücrelerini maksimum verimlilik noktasında çalıştırarak enerji depolama sisteminin şarj edilmesine yardımcı olur. Şarj durumu üst seviyeye ulaştığında ise yakıt hücrelerini çalışmayı durdurur. Yakıt hücrelerinin sürekli açıp kapatmaktan dolayı bataryanın derin deşarjına yol açarak ömrünü kısaltır.






Yük takipçi stratejisi, talep edilen yakıt hücresi gücünün takip etmesi için güç kaynağını takip eden ve düzenleyen kontrol sistemidir. Durum makinesi kontrol yöntemi, aracın çalışma modlarındaki geçişleri kontrol eden bir yöntemdir. Sürücü hız talebi, sürüş koşulları ve olası hatalarda sürüş modları değişmektedir. Mod geçişlerinde sürücünün taleplerini yerine getirebilme ve olası hatalara cevap verebilme yeteneğine sahiptir.

### 2.1.2. Bulanık Tabanlı Kontrol Stratejisi

Hibrit araçlar doğrusal olmayan, belirsiz ve zamanla değişen yapıya sahip olduğu için bulanık tabanlı kontrol stratejileri iyi bir alternatiftir. Kural tabanlı stratejiler kesin kuralları içermektedir, bulanık tabanlı kontrol stratejileri kesin sistemlere dayandırılmadığı için araç uygulamalarında esneklik sağlamaktadır. 'if-then' kuralına sahiptir ve durumları üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Bulanık kuralların tasarımı ve belirlenen üyelik fonksiyonları kullanıcı deneyimine bağlıdır. Yakıt ekonomisi ve enerji kaynaklarının kullanım ömrünü artırmak için bulanık tabanlı kontrol sistemleri optimizasyon tabanlı yaklaşımlar ile birlikte kullanılabilirler.

Bulanık mantık tabanlı kontrol yöntemleri, geleneksel, uyarlanabilir ve kestirimci olmak üzere üç grupta incelenmektedir. *Geleneksel bulanık kontrol yöntemi*, yakıt hücrelerinin daha verimli kullanılması için uygulanmaktadır. Verimliliğe veri setlerindeki giriş, çıkış ve bulanık kuralları ile karar vermektedir. *Uyarlanabilir bulanık kontrol yöntemi*, hibrit araçlar için optimize edilmesi gereken en önemli konuları ele almaktadır. Bunlar yakıt tüketimi, emisyon azaltımı, sürüş performansını artırma ve şarj durumunu en iyi hale getirmektir. *Kestirimci bulanık mantık*, önceden belirlenmiş sürüş çevrimlerini kullanarak hareket etmektedir. (Global Positioning System) GPS'den alınan veriler trafik yol durumu ve eğimlerde karşılaşacağı zorlukları içermektedir. Bu zorluklara karşı vereceği tepkiler öngörmek için tasarlanmıştır [7].

Tablo 1. Öncü otomobil sektörlerinin ürettiği YHEA'ların özellikleri [5]

YHEA Modeli	Araç Görünümleri	Araç Gücü (ps)	Yakıt	Yakıt Kapasitesi (kg)	Batarya Kapasitesi (kWh)	Menzil
<i>Honda Clarity Fuel cell 2017</i>		174	H <sub>2</sub>	5	-	589
<i>Hyundai NEXO 2019</i>		163	H <sub>2</sub>	6.3	1.56	611
<i>Mercedes-Benz GLC F-CELL</i>		211	H <sub>2</sub>	4.4	13.5	478
<i>Audi A7 Sportback h-tron quattro</i>		220	H <sub>2</sub>	5	8.8	500
<i>Nissan e-Bio Fuel-Cell</i>		-	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	-	24	600

### 2.1.3. Filtreleme Tabanlı Strateji

Filtreleme tabanlı strateji, aracın toplam yük gücünü düşük ve yüksek frekans gücü olarak iki grupta incelemektedir. Düşük frekans gücü yakıt hücresi tarafından karşılanırken, yüksek frekans gücü diğer enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır.

## 2.2. Optimizasyon Tabanlı Strateji

Optimizasyon tabanlı stratejilerin amacı yakıt ekonomisi ve maliyet fonksiyonunu en aza indirmektir. Kontrol sisteminin ve araçtaki güç kaynaklarının doğru ve verimli çalışması için optimizasyon problemlerindeki kısıtlamaları dikkate almaktadır [6].

### 2.2.1. Küresel Optimizasyon Stratejisi

Küresel optimizasyon stratejisi, yol durum bilgisi ile birlikte güç kaynaklarının optimum çalışabilmesini hesaplamaktadır. Gerçek bir sürüş döngüsünü elde etmek kolay olmadığından dolayı hesaplama yükü büyüktür. Bu durum bu küresel optimizasyon stratejisini deneysel olarak elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

*Dinamik programlama*, hem bilgisayar programlama yöntemi hem de matematiksel optimizasyon yöntemi olduğundan dolayı karmaşık bir problemi öz yinlemeli bir şekilde en basite indirgeyerek çözmeyi hedeflemektedir. Bu stratejide önceden tanımlanmış görev döngüsü bilgisi gerekli olduğundan dolayı gerçek zamanlı uygulanamamaktadır. Kontrolörleri formüle etmek ve ayarlamak için kullanılmaktadır.

*Genetik algoritma*, optimizasyon ile en iyi sonuca ulaşmak için kullanılır ve Darwin teorisine dayanmaktadır. Popülasyon adı verilen aday çözümler yeni optimal popülasyon oluşturmak için geliştirilirler. Optimum çözüm bulunana kadar iterasyona devam etmektedir.

*Parçacık sürü optimizasyonu*, doğrusal olmayan sistemler için geliştirilmiş olan bu teknik hızlı, ucuz, sağlam bir optimizasyon tekniğidir. Doğadaki kuş sürülerinden esinlenerek geliştirilen buluşsal bir yöntemdir. Popülasyon ile başlayarak yinlemeli yöntem ile en optimal çözüm bulunana kadar devam etmektedir.

### 2.2.2. Gerçek Zamanlı Optimizasyon

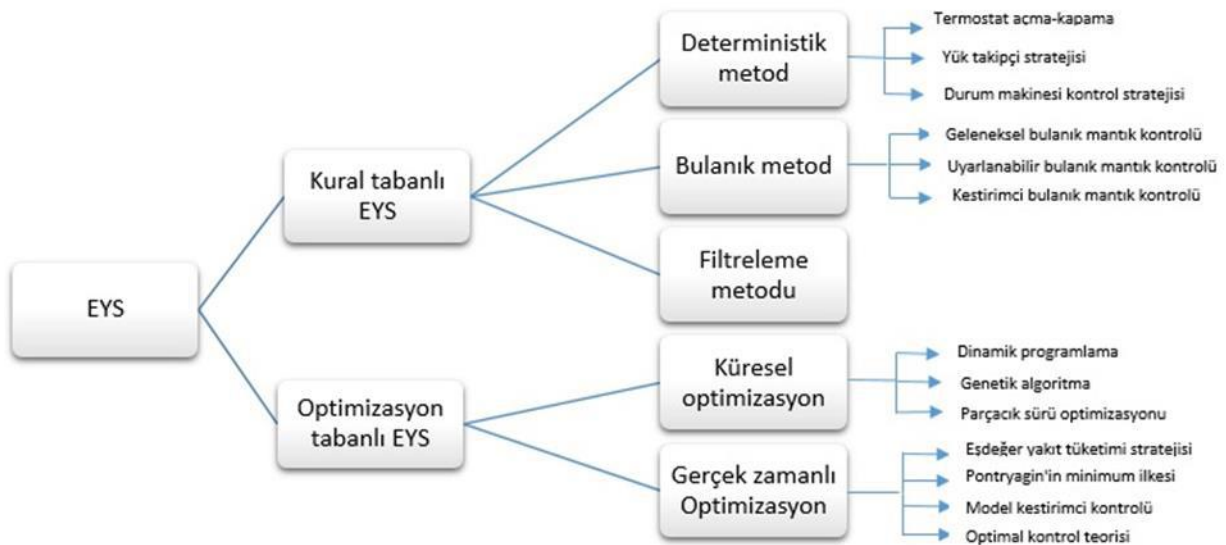
Gerçek zamanlı optimizasyonda, küresel optimizasyon sorununu gerçek zamanlı optimizasyona dönüştürmek için maliyet fonksiyonunu gerçek zamanlı olarak minimize ederek eşdeğer maliyet fonksiyonu oluşturur. Bunu farklı güç kaynakları arasında anlık güç paylaşımı hesaplamak için yapmaktadır.

*Eşdeğer yakıt tüketimi stratejisi*, enerji depolama sistemlerinde depolanan enerjiyi elektrik enerjisinden eşdeğer hidrojen tüketimine dönüştürür. Bu strateji aracın hem hidrojen tüketimini hem de eşdeğer hidrojen tüketimini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Sürüş döngüsünden ve batarya SOC sınırlarından etkilenen eşdeğer faktör bu strateji için oldukça önemlidir. Eşdeğer faktör ayarlanarak yakıt tüketimini azaltmanın yanında aynı zamanda güç kaynaklarının ömrünü de uzatabilmektedir.

*Pontryagin'in minimum ilkesi*, kısıtlamaların varlığında bir durum ya da girdi kontrolünü sağlarken mümkün olan en iyi sonucu sağlamaktadır. Bu işlem sonucunda optimizasyonu dinamik programlamaya daha yakın olmaktadır.

*Model kestirimci kontrolü*, içinde bulunduğu zaman dilimi ile birlikte gelecekteki zaman dilimini de hesaba katarak optimize edebilmektedir. Bu durum yalnızca mevcut zaman aralığını kullanarak elde edilmektedir. Bu strateji gelebilecek olayları önceden tahmin ederek kontrol önlemlerini alabilir.

*Optimal kontrol teorisi*, matematiksel bir optimizasyon yaklaşımıdır. Uyarlanabilir kontrol algoritmasına sahiptir, yakıt tüketimini en aza indirgeyebilir.



Şekil 1. Üst seviye kontrol sınıflandırması

### 3. Yakıt Hücreli Hibrit Araçlarda Enerji Yönetim Sistemi Hedefleri

Yakıt hücreli araçların günümüz içten yanmalı araçlar ve hibrit araçlarla rekabet edebilmesi için aracın maliyetini azaltmak ve güç kaynaklarının dayanıklılığını artırmak hedeflenmektedir [8]. YHEA'da, sürücünün isteklerine göre talep edilen gücü karşılarken hidrojen tüketiminin en aza indirgeyip, yakıt hücresi ve bataryanın ömrünü artırmayı hedeflen EYS tasarlamak karşılaşılan zorluklardan biridir. Tüm hedeflere aynı anda ulaşmak zor olacağından dolayı, yalnızca bir hedef seçmek ya da belirli hedefler arasında seçim yapmak en popüler yöntemdir. Şekil 2'de EYS stratejilerinin yakıt hücresi ömrü, batarya ömrü ve yakıt tüketimi hedeflerine uygunluğu özetlenmiştir. Enerji yönetim sistemlerinin farklı hedeflerde kullanımı Tablo 2'de listelenmiştir.

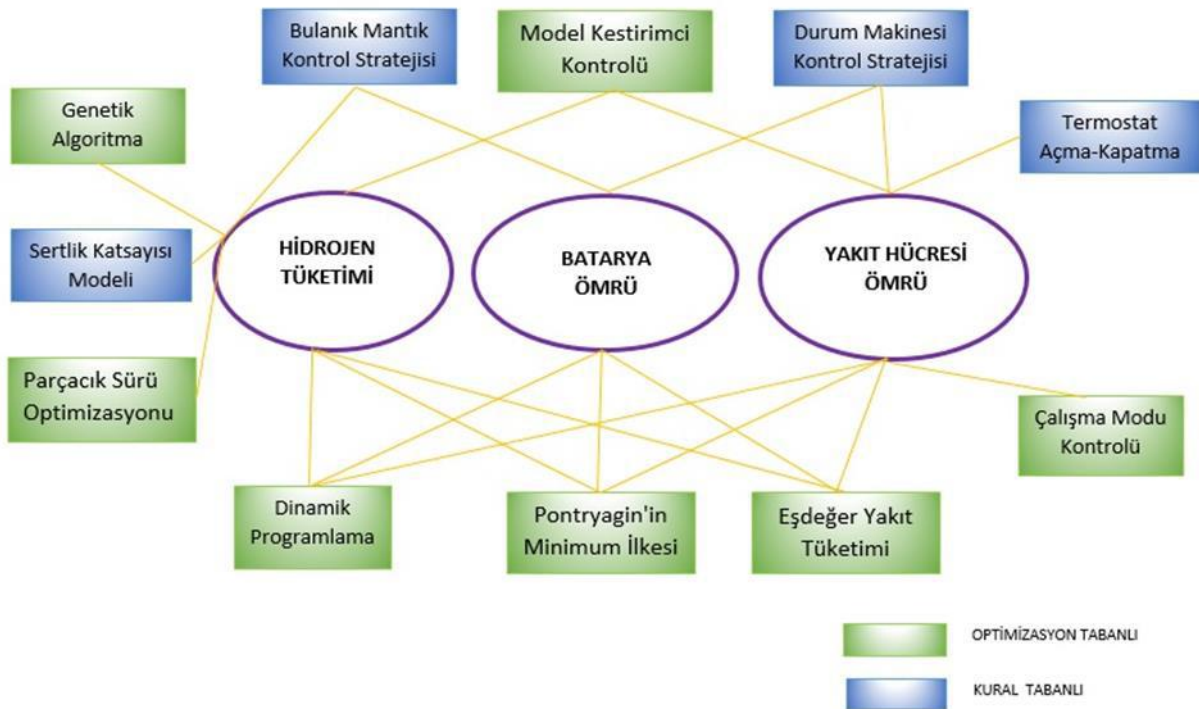
**Enerji Tüketimi:** Yakıt hücresini verimli aralıkta ve bataryayı yeterli şarjda çalıştıran kontrol algoritması tasarlandığında YHEA enerji tüketimi azaltma hedefine ulaşılmaktadır.

**Yakıt Hücresi Ömrü:** Yakıt hücresinin sık açılıp kapanmasını önleyen ve voltajını makul bir çalışma aralığında tutan kontrol algoritması ile yakıt hücresi ömrü artırılmaktadır.

**Batarya Ömrü:** Batarya sıcaklık, akım ve derinlik deşarjı gibi özelliklerden etkilenmektedir. Bu nedenle, EYS batarya ömrünü artırmak için pil gücünü ve deşarj derinliği ile ilgilenmektedir.

Kural tabanlı stratejiler, yakıt tüketimi ve güç kaynaklarının kullanım ömrünü hedefleri olan denetim stratejisidir. Yakıt hücresinin yüksek verimlilik bölgesinde çalışmasını sağlamak ve güç kaynaklarının ömrünü ve verimliliğini artırmak için sistemleri denetler ve kısıtlamalar getirmektedir. Deterministik kural tabanlı strateji ve bulanık mantık stratejisi yakıt tüketimini azaltmak ve güç kaynaklarının performansını artırmak için iş birliği yapmaktadır. Filtreleme tabanlı stratejiler, yakıt hücresinin ve bataryanın kullanım ömürlerini artırmak için tercih edilen stratejilerdendir.

Optimizasyon tabanlı stratejiler yakıt tüketimi ve güç kaynaklarının kullanım ömrünü ölçmek maliyet fonksiyonunu kullanabilir aynı zamanda yakıt tüketimini azaltmak ve dayanıklılığı artırmak için güç kaynaklarına sınırlamalar getirebilir. Küresel optimizasyon stratejisi tıpkı gerçek zamanlı optimizasyon stratejisi gibi amaç fonksiyonundan yararlanır ve amacına ulaşmak için güç kaynaklarına sınırlamalar getirir.



Şekil 2. EYS hedefleri

Tablo 2. Amaçlarına göre enerji yönetim sistemleri

		Hidrojen Tüketimi	Batarya Ömrü	Yakıt Hücresi Ömrü
Kural Tabanlı Strateji	Çalışma Modu Kontrolü			[9],[10]
	Durum makinesi kontrol stratejisi		[11]	[11]
	Sertlik Katsayısı Modeli	[12]		
	Bulanık Mantık Kontrolü	[13], [14]	[15],[16]	
Optimizasyon Tabanlı Strateji	Pontryagin'in minimum ilkesi	[17],[18],[19]	[17],[19]	[17]
	Eşdeğer tüketim minimizasyon stratejisi	[21],[23]	[21]	[20],[22]
	Model Kestirimci Kontrolü	[24],[25]		[25]
	Dinamik Programlama	[26],[27],[28],[29]	[26],[28]	[26],[29]
	Genetik Algoritma	[30],[31]		
	Parçacık Sürü Optimizasyonu	[32],[33]		

#### 4. Sonuçlar

Yakıt hücreli araçlardan beklenen yüksek performans için enerji yönetim stratejileri kilit rol oynamaktadır. Enerji yönetim stratejileri belirlenen hedeflere göre seçilmelidir. İstenilen hedeflere göre aracın talep edilen gücünü karşılaması için enerji yönetim stratejileri ve bu stratejilere uygun kontrol şemaları oluşturulmalıdır. Birçok çalışmada enerji yönetim stratejileri ve yakıt tüketimi hedefi ele alınmaktadır. Ancak yakıt hücreli araçlar genellikle bataryalarla birlikte kullandıkları için batarya ve yakıt hücresi ömrü de oldukça önemlidir. Bu çalışmada, enerji yönetim stratejilerinin özellikleri yakıt tüketimini azaltma, batarya ve yakıt hücresi ömrünü artırma hedeflerine göre sınıflandırılmıştır.

#### 5. Teşekkür

Bir numaralı yazar, YÖK 100/2000 Elektrikli ve Hibrit Araçlar Doktora Programı bursuyla desteklenmektedir.

#### Kaynakça

- [1]. Sorlei, I. S., Bizon, N., Thounthong, P., Varlam, M., Carcadea, E., Culcer, M., ... & Raceanu, M. (2021). Fuel cell electric vehicles—A brief review of current topologies and energy management strategies. *Energies*, 14(1), 252.
- [2]. Panday, A., & Bansal, H. O. (2014). A review of optimal energy management strategies for hybrid electric vehicle. *International Journal of Vehicular Technology*, 2014.
- [3]. Sulaiman, N., Hannan, M. A., Mohamed, A., Ker, P. J., Majlan, E. H., & Daud, W. W. (2018). Optimization of energy management system for fuel-cell hybrid electric vehicles: Issues and recommendations. *Applied energy*, 228, 2061-2079.
- [4]. Xu, L., Li, J., Ouyang, M., Hua, J., & Yang, G. (2014). Multi-mode control strategy for fuel cell electric vehicles regarding fuel economy and durability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(5), 2374-2389.
- [5]. Teng, T., Zhang, X., Dong, H., & Xue, Q. (2020). A comprehensive review of energy management optimization strategies for fuel cell passenger vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(39), 20293-20303.
- [6]. Li, H., Ravey, A., N'Diaye, A., & Djerdir, A. (2017, December). A review of energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicle. In *2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [7]. İnci, M., Büyük, M., Demir, M. H., & İlbey, G. (2021). A review and research on fuel cell electric vehicles: Topologies, power electronic converters, energy management methods, technical challenges, marketing and future aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110648.
- [8]. Pollet, B. G., Staffell, I., & Shang, J. L. (2012). Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta*, 84, 235-249.
- [9]. Aouzellag, H., Ghedamsi, K., & Aouzellag, D. (2015). Energy management and fault tolerant control strategies for fuel cell/ultra-capacitor hybrid electric vehicles to enhance autonomy, efficiency and life time of the fuel cell system. *International journal of hydrogen energy*, 40(22), 7204-7213.
- [10]. Lachhab, I., & Krichen, L. (2014). An improved energy management strategy for FC/UC hybrid electric vehicles

- propelled by motor-wheels. *International journal of hydrogen energy*, 39(1), 571-581.
- [11]. Li, Q., Yang, H., Han, Y., Li, M., & Chen, W. (2016). A state machine strategy based on droop control for an energy management system of PEMFC-battery-supercapacitor hybrid tramway. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(36), 16148-16159.
- [12]. Yun, H., Liu, S., Zhao, Y., Xie, J., Liu, C., Hou, Z., & Wang, K. (2015). Energy management for fuel cell hybrid vehicles based on a stiffness coefficient model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(1), 633-641.
- [13]. Li, Q., Chen, W., Li, Y., Liu, S., & Huang, J. (2012). Energy management strategy for fuel cell/battery/ultracapacitor hybrid vehicle based on fuzzy logic. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 514-525.
- [14]. Mohammedi, M., Kraa, O., Becherif, M., Aboubou, A., Ayad, M. Y., & Bahri, M. (2014). Fuzzy logic and passivity-based controller applied to electric vehicle using fuel cell and supercapacitors hybrid source. *Energy Procedia*, 50, 619-626.
- [15]. Hwang, J. J., Hu, J. S., & Lin, C. H. (2015). Design of a range extension strategy for power decentralized fuel cell/battery electric vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(35), 11704-11712.
- [16]. Saib, S., Hamouda, Z., & Marouani, K. (2017, October). Energy management in a fuel cell hybrid electric vehicle using a fuzzy logic approach. In *2017 5th International Conference on Electrical Engineering-Boumerdes (ICEE-B)* (pp. 1-4). IEEE.
- [17]. Xu, L., Li, J., Ouyang, M., Hua, J., & Yang, G. (2014). Multi-mode control strategy for fuel cell electric vehicles regarding fuel economy and durability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(5), 2374-2389.
- [18]. Zheng, C. H., Xu, G. Q., Park, Y. I., Lim, W. S., & Cha, S. W. (2014). Prolonging fuel cell stack lifetime based on Pontryagin's Minimum Principle in fuel cell hybrid vehicles and its economic influence evaluation. *Journal of Power Sources*, 248, 533-544.
- [19]. Ettihir, K., Boulon, L., & Agbossou, K. (2016). Optimization-based energy management strategy for a fuel cell/battery hybrid power system. *Applied Energy*, 163, 142-153.
- [20]. Tian, H., Wang, X., Lu, Z., Huang, Y., & Tian, G. (2017). Adaptive fuzzy logic energy management strategy based on reasonable SOC reference curve for online control of plug-in hybrid electric city bus. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(5), 1607-1617.
- [21]. Han, J., Park, Y., & Park, Y. S. (2012). A novel updating method of equivalent factor in ECMS for prolonging the lifetime of battery in fuel cell hybrid electric vehicle. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(30), 227-232.
- [22]. Geng, B., Mills, J. K., & Sun, D. (2011). Two-stage energy management control of fuel cell plug-in hybrid electric vehicles considering fuel cell longevity. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 61(2), 498-508.
- [23]. Aiteur, I. E., Vlad, C., & Godoy, E. (2015, October). Energy management and control of a fuel cell/supercapacitor multi-source system for electric vehicles. In *2015 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)* (pp. 797-802). IEEE.
- [24]. Zhang, S., Luo, Y., Li, K., & Wang, J. (2017, May). Predictive energy management strategy for fully electric vehicles based on hybrid model predictive control. In *2017 American Control Conference (ACC)* (pp. 3625-3630). IEEE.
- [25]. Torreglosa, J. P., Garcia, P., Fernández, L. M., & Jurado, F. (2013). Predictive control for the energy management of a fuel-cell-battery-supercapacitor tramway. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(1), 276-285.
- [26]. Fares, D., Chedid, R., Panik, F., Karaki, S., & Jabr, R. (2015). Dynamic programming technique for optimizing fuel cell hybrid vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(24), 7777-7790.
- [27]. Zhou, W., Yang, L., Cai, Y., & Ying, T. (2018). Dynamic programming for New Energy Vehicles based on their work modes part I: Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles. *Journal of power sources*, 406, 151-166.
- [28]. Martel, F., Kelouwani, S., Dubé, Y., & Agbossou, K. (2015). Optimal economy-based battery degradation management dynamics for fuel-cell plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 274, 367-381.
- [29]. Martel, F., Dubé, Y., Kelouwani, S., Jaguemont, J., & Agbossou, K. (2016). Long-term assessment of economic plug-in hybrid electric vehicle battery lifetime degradation management through near optimal fuel cell load sharing. *Journal of Power Sources*, 318, 270-282.
- [30]. Odeim, F., Roes, J., & Heinzl, A. (2015). Power management optimization of an experimental fuel cell/battery/supercapacitor hybrid system. *Energies*, 8(7), 6302-6327.
- [31]. Fernández, R. Á., Caraballo, S. C., Cilleruelo, F. B., & Lozano, J. A. (2018). Fuel optimization strategy for hydrogen fuel cell range extender vehicles applying genetic algorithms. *Renewable and sustainable energy reviews*, 81, 655-668.
- [32]. Kandi Dayeni, M., & Soleymani, M. (2016). Intelligent energy management of a fuel cell vehicle based on traffic condition recognition. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(6), 1945-1960.
- [33]. Habib, M., Khoucha, F., Benbouzid, M. E. H., & Kheloui, A. (2015). Rule-Based Energy Management Strategy Optimized Using PSO for Fuel Cell/Battery Electric Vehicle.





# Using Nature in Architecture: A perspective from Antoni Gaudi

Şeyda Emekci<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt University, Architecture and Fine Arts Faculty, Department of Architecture, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5470-6485), [semekci@ybu.edu.tr](mailto:semekci@ybu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1073073)

**ATIF/REFERENCE:** Emekci, Ş. (2022). Using Nature in Architecture: A perspective from Antoni Gaudi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 87-91.

## Abstract

Beginning in the early 1990s, environmental concerns began to take a more prominent position on the world agenda. The necessity for establishing a relationship between architecture and nature has become apparent as a result of increased public awareness of the repercussions of uncontrolled urban expansion and climate change. The consequences of reforms aimed at integrating environmentally friendly solutions into the construction of buildings have altered public perceptions of the modern built environment. Although this relationship is perceived as new, it is rooted in ancient times. Over the course of history, many architects have recognized the need of developing a link with the environment and have taken steps to achieve this relationship. Antoni Gaudi is one of the architects who made a significant contribution to this collaboration. The aim of this article is to rediscover the relationship between nature and architecture through the works of Antoni Gaudi.

**Keywords:** Sustainable architecture, Energy efficiency, Biomimicry, Antoni Gaudi.

## Doğayı Mimarlıkta Kullanmak: Antoni Gaudi'den Bir Perspektif

### Öz

1990'ların başlarından itibaren çevresel kaygılar dünya gündeminde daha fazla yer almaya başladı. Kontrolsüz kentsel genişleme ve iklim değişikliğinin yansımaları konusunda artan kamuoyu bilincinin bir sonucu olarak, mimarlık ve çevre arasında ilişki kurmanın gerekliliği ortaya çıkmıştır. Çevre dostu çözümleri binaların inşasına entegre etmeyi amaçlayan reformların sonuçları, modern yapıyı çevreye ilişkin kamu algısını değiştirmiştir. Bu ilişki yeni gibi algılansa da kökleri çok eskilere dayanmaktadır. Tarih boyunca birçok mimar, çevre ile bir bağ geliştirmenin gerekliliğini fark etmiş ve bu ilişkiyi gerçekleştirmek için adımlar atmıştır. Antoni Gaudi, bu iş birliğine önemli katkı sağlayan mimarlardan biridir. Bu makalenin amacı çevre ve mimarlık ilişkisini Antoni Gaudi'nin eserleri üzerinden yeniden keşfetmektir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir mimari, Enerji verimliliği, Biyomimikri, Antoni Gaudi.

\* Corresponding Author: [semekci@ybu.edu.tr](mailto:semekci@ybu.edu.tr)

## **1. Introduction**

As people grow more cognizant of the environmental impact of human activities, legislative constraints on architectural and urban design are becoming tighter. Building materials and construction procedures that are more ecologically friendly are being developed by architects in response to this trend. Inspirations from nature can be seen when they are used to improve energy efficiency, air quality control, water and sewage management systems, among other things. The features obtained from the environment can be included in the design of buildings, their surroundings, and their interiors. Therefore, it has been inevitable that nature and architecture establish a relationship. Despite the fact that this connection is viewed as new, it has roots that go back thousands of years. Throughout history, many architects have understood the need of building a connection with the surrounding environment and have taken measures to accomplish architecture this connection. For example, "Seven lamps of," according to Ruskin, can be used to promote growth and progress by taking into consideration the harmonic order seen in nature [1]. William Morris advocates for the restoration of open space in the countryside, as well as for the self-sufficiency of local industry [2]. The goal of this relationship is to minimize the negative impact on the environment caused by energy consumption and any other usage of natural resources [3].

Nature has always served as a key inspiration for many designs, and it continues to play a vital part in architectural design. The notion has been refined by a number of different architects throughout the years, and it continues to gain attention due to its relevance. Antonio Gaudi (1852-1926), the most prominent architect in Catalonia, is internationally renowned for his inventiveness, which he derived from nature's mimicry, among other sources of inspiration. Many of his structural and aesthetic breakthroughs were the result of his in-depth research of nature. Specifically, the purpose of analyzing Antoni Gaudi who demonstrate a significant difference in their work based on climatic and regional characteristics is to demonstrate that they were influenced by the environments in which he grew up and designed buildings and objects that reflected his own local tradition. He believed that nature and the surrounding environment had an inextricable relationship with architecture and that it was preferable to imitate the formal expression of current organic architecture in buildings rather than contemporary architecture [4]. This essay seeks to rediscover the link between nature and architecture by examining the works of Antoni Gaudi.

## **2. Nature as a Source of Inspiration**

The architecture draws inspiration from a diverse variety of sources in order to overcome challenging design obstacles and challenges. Nature is being studied, and researchers are striving to understand the ways in which it has evolved to cope with environmental issues as one option for solving the problem. In architecture, nature's inspiration serves as a driving force, inspiring the building of spectacular structures and monuments across the world.

Natural science and architecture are now being combined in order to establish a total synergy between the building and the surrounding environment, much as organic architecture started to emulate components from nature and the natural environment decades ago [5]. 'Biomimicry' is the term used to describe this

form of philosophy, which comes from two Greek words: 'Bios', which means life, and 'Mimesis,' which means imitation. It is a strategy of looking at natural phenomena seen in nature and using them to assist in the progress of humans that has been around for quite some time [6].

When it comes to construction activities and the built environment, sustainable development is often referred to as sustainable building or sustainable structure. The construction sector is one of the largest social and economic sectors in Europe and the world, and the built environment has a significant impact on the natural environment. The building sector and the built environment are presented as the two key areas in the development of global sustainable development, and they are also the most important in the development of global sustainable development.

Designers must take into account structural efficiency, water efficiency, zero-waste systems, thermal environment, and energy supply while creating a sustainable design in architecture. It is a new way of perceiving and valuing nature that is based not on what we can take from nature, but on what we can learn from it. Biomimicry is a new way of viewing and valuing nature that has emerged as an alternative approach [7].

## **3. Gaudi and His Works: Harmony and Unity Inspired by Nature**

Catalan architect Antonio Gaudi, who is the architect of seven works that have been designated as UNESCO World Heritage Sites, is often considered to be the greatest architect of twentieth-century architecture [8]. He has been praised for his artistic and creative ability, as well as the innovation of his naturalistic architectural style with its surprising shapes and colors. He has also been hailed for his interesting technical and constructive innovations, as well as the hygienic and bioclimatic qualities of his architecture, but his contribution to architectural history has received little attention as a pioneer in the disciplines of sustainability and biomimetics in modern architecture [9]. Construction practices have been more wasteful and aggressive with environmental resources from the mid-nineteenth century; sirens sounded around the end of the twentieth century in industrialized civilizations. However, many of the ideas that are now being researched in the subject of sustainability in architecture are already considered important by Gaudi, who lived a century before them and put them into effect in his works [10]. Gaudi was enhancing the energy efficiency of his buildings via the use of classic bioclimatic tactics as well as creating novel technology. At times, he developed new and unusual shapes utilizing old materials and processes [11]. With the use of passive mechanical air conditioning systems at Casa Batlló, Gaudi was able to maximize the usage of renewable energy. The Casa Batlló incorporates all of the benefits of solar energy, including thermal gains from direct solar radiation, diffused sunshine, and Aeolian energy, and does so in a comfortable and energy-efficient manner since there is no asymmetrical ventilation [12].

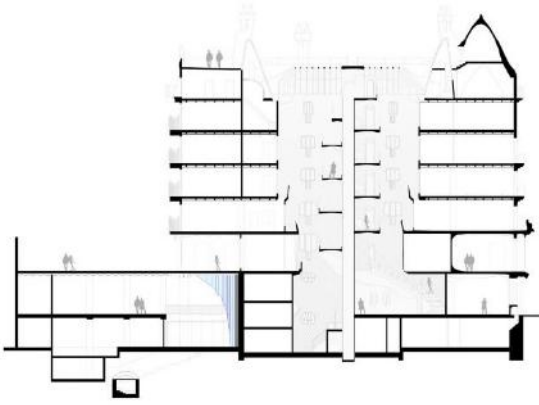


Fig. 1 Casa Batlló- Longitudinal section [13]

The center courtyard serves not only as a thermic regulator but also as a well for the surrounding buildings. As one looks along the longitudinal section of the structure, it becomes apparent that one of the façades has been relocated in both inner courtyards in order to increase the surface area of the zenithal skylight. With the help of the diaphragmatic functioning of the courtyard's hole, as well as the contribution of hot air, it is feasible to achieve temperatures of  $+2/3^{\circ}\text{C}$  at the lowest point of the courtyard. The quantity of light that enters the courtyard rises with the amount of light that leaves the courtyard [12].



Fig. 2 La Sagrada Família (Source: Author)

Gaudi's other prominent work The Sagrada Família's original aerodynamic design, which includes a parabolic vertical section as well as a circular horizontal section, reduces wind force by more than half, which is one of the main problems associated with high-rise constructions. This is in comparison to the steeples, which were designed with a continuous square horizontal section as was done in the original project; the openings in the surface of the bell towers designed by Gaudi also contribute to this reduction in wind force. It is able to do so while conserving a significant amount of resources [9].



Fig. 3 La Sagrada Família (Source: Author)

In an effort to exceed and improve upon the Gothic, Gaudi built the vaults of the Sagrada Família, which are formed by hyperboloids and can be seen throughout the structure. These ruled surfaces have an important hole in the center for overhead lighting, which was reached by the old Gothic vaults, which are placed in the middle of the governed surfaces. The ancient Gothic vaults are positioned in the middle of the governed surfaces. A significant amount of natural light can be brought into the buildings as a consequence of this. Similarly, Large patios of lights were also constructed at Casa Mila by Gaudi to improve lighting and ventilation on all levels, and the windows on the lower stories were also increased to compensate for the lack of sunlight.



Fig. 4 La Sagrada Família (Source: Author)

Furthermore, exterior moats were a common feature in Gaudi's designs for both the Casa Botines and the Episcopal Palace of Astorga. Casa Botines' skylights and patios stretch up to the roof, ensuring that no corners of the structure are obstructed by darkness, and allowing for more natural light to reach the bottom level. To accomplish thermal insulation in his structures, Gaudi investigates the best methods of doing so, particularly in the sections most exposed to cold and heat, such as roofs and walls. That is why he commonly said that the cover had to be "hat and umbrella," referring to the fact that it had to be double-sided [14]. Besides, Windows on the north façade of El Capricho de Comillas, a Cantabrian town distant from the mild Mediterranean climate, feature double glazing to better insulate the rooms' temperature from the outside elements. Considering the time period, this is a noteworthy development.



Fig. 5 Casa Milà [15]

El Capricho is a U-shaped home with a greenhouse on the southern side, designed by Antoni Gaudi in the early 20th century. By using the limited amount of sunlight available in this northern Spanish town, and introducing it into the residence, it is able to absorb thermal energy generated via the greenhouse effect. The main goal of the house's design is to maximize the amount of solar energy that can be harvested via the greenhouse, which is why each room is structured in the most efficient manner possible.



Fig. 6 El Capricho (Source: Author)

At the time, Gaudi was a trailblazer in the reuse and recycling of building waste from scrap or demolition, which was misunderstood and even ridiculed by several. An old Catalan term for using shattered pieces of glass or tile to cover things like chimneys or facades, “trencadís” means “broken” in Catalan [9].

The Park Güell, Casa Batlló, Casa Milà, and Temple of Sagrada Familia are examples of Gaudi's usage of this approach.

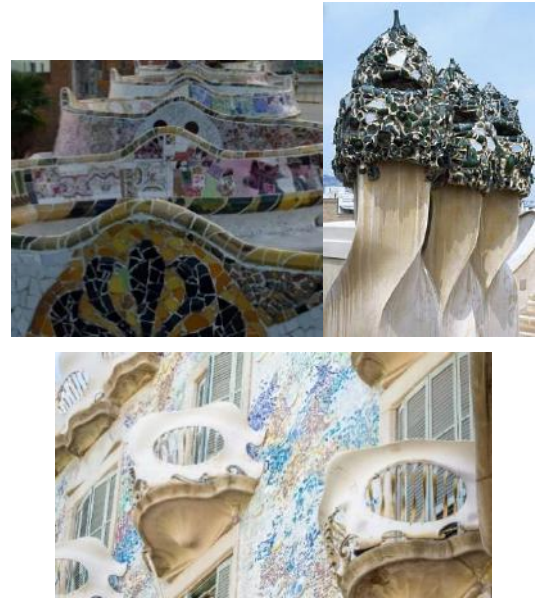


Fig. 6 Trencadís (Source: Author)

### 3. Conclusion

Humanity is being confronted with rising problems from climate change, as well as experiencing the consequences of climate change. Rising temperatures, heat waves, severe precipitation events, floods, and droughts are creating economic losses and social instability, as well as harming human health and well-being.

Throughout history, architects have turned to nature for inspiration. Nature-based solutions were effective in addressing social difficulties resulting from climate change in a long-term manner. Antoni Gaudi was one of them. Antoni Gaudi was influenced by nature and he was able to translate concepts from nature, such as those found in the hyperboloids and paraboloids, into his architecture.

Gaudi's works followed local tradition, namely Catalan Gothic, and stressed harmony and coherence between the structure and the surrounding environment, which was influenced by nature. And he represented organic architecture by using wood, bones, muscle-tendon, and other organic materials to make organic creations appear. Furthermore, stone has an almost limitless ability to be shaped into the shapes that Gaudi desired. It has readily unperceived continuous curves to create his architecture, which he can easily create. The example of Gaudi tells us that the sustainability of architecture is intricately linked to a variety of other values, including aesthetic, scientific, and technical values, and these days when climate change is being recognized as a significant issue, it is critical for the architecture of the 21st century to be ecologically friendly to be successful.

## References

- [1] Ruskin, J. (1849). *The seven lamps of architecture*. New York, NY, USA: J. Wiley.
- [2] Miller, E. (2011). Sustainable Socialism: William Morris on Waste. *The Journal of Modern Craft*, 4, 7–25. <https://doi.org/10.2752/174967811X12949160068974>
- [3] Emekci, S. (2021). Nature-centered design: a comparative analysis in current architectural approaches. Presented at the LIVENARCH VII livable environments & architecture, Trabzon, Turkey.
- [4] Kim soyeon & Yoon Jae Eun. (2015). A Study on Organic Architecture Characteristics in Works of Gaudi and Hundertwasser. *한국공간디자인학회 논문집*, 10(6), 23–32.
- [5] Mumford, M. (1989). Form Follows Nature: The Origins of American Organic Architecture. *Journal of Architectural Education*, 42(3), 26–37. <https://doi.org/10.1080/10464883.1989.10758528>
- [6] Pawlyn, M. (2019). *Biomimicry in architecture*. Routledge.
- [7] Amer, N. (2019). Biomimetic Approach in Architectural Education: Case study of ‘Biomimicry in Architecture’ Course. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(3), 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.11.005>
- [8] González Moreno-Navarro, A. (1990). Gaudí, constructor (la materialización de una arquitectura singular). *González Moreno-Navarro*, 42(408), 5–8. <https://doi.org/10.3989/ic.1990.v42.i408.1423>
- [9] Mirat, C., Bedoya, C., & Adell, J. (2018). Antonio gaudí, the forerunner of sustainability and biomimicry in architecture, 100 years in advance. *Architecture, City and Environment*, 12, 71–98. <https://doi.org/10.5821/ace.13.37.5348>
- [10] Pantano, M. (2013). *Reading Gaudí’ Reading Gaudí’s Great Book of Nature Reconsidering the Peripher peripheral Reception of al Reception of Proto-Environmental Architecture*. The University of Pennsylvania.
- [11] Nonell, J. (2012). La construcción tradicional en la arquitectura de Gaudí. *Informes de La Construcción*, 42, 9–14. <https://doi.org/10.3989/ic.1990.v42.i408.1424>
- [12] Guardiola Usón, E., & Cunill de la Puente, E. (2005). Passive solar design in Antonio Gaudí’s domestic architecture (p. 4). Presented at the International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment,” Santorini, Greece.
- [13] ArchDaily. (2021). Gallery of New Interior for Casa Batlló Stairs & Atrium / Kengo Kuma & Associates - 14. Retrieved January 17, 2022, from <https://www.archdaily.com/967908/new-interior-for-casa-batllo-stairs-and-atrium-kengo-kuma-and-associates/613141b825f70e016663f5bc-new-interior-for-casa-batllo-stairs-and-atrium-kengo-kuma-and-associates-section>
- [14] Bassegoda, J. (1989). *El gran Gaudí*. AUSA: Sabadell.
- [15] EMARQ. (2021). Casa Milà (La Pedrera) obra de Antoni Gaudí - EMARQ. Retrieved January 17, 2022, from <https://www.emarq.net/blog/casa-mila-la-pedrera>



## SiO<sub>2</sub> coated carbon interlayer for Li-S batteries

Meltem Yanılmaz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Technical University, Turkey, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0562-5715), [yanilmaz@itu.edu.tr](mailto:yanilmaz@itu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1073073)

**ATIF/REFERENCE:** Yanılmaz, M. (2022). SiO<sub>2</sub> coated carbon interlayer for Li-S batteries. *European Journal of Science and Technology*, (34), 92-94.

### Abstract

Lithium-sulfur batteries have received great attention because of the high theoretical specific capacity, natural abundance, low cost, and environmental friendliness of sulfur. However, poor cycling and C-rate performance limit the application of Li-sulfur batteries. Placing porous and highly conductive interlayer between separators and sulfur cathodes is an efficient approach to improve active materials' utilization and limit the polysulfide shuttle effect and thus enhance the electrochemical properties of Li-sulfur cells. Moreover, SiO<sub>2</sub> could further improve electrochemical performance via capturing large amount of polysulfides owing to the polar structure and strong chemical interactions. SiO<sub>2</sub> coated highly conductive carbon nanofibers were prepared and used as an interlayer in Li-sulfur batteries. The uniform coating of SiO<sub>2</sub> nanoparticles on carbon nanofibers were observed from SEM and TEM images. The cells with SiO<sub>2</sub> nanoparticles coated highly conductive carbon nanofiber (SiO<sub>2</sub>@CNF) interlayers delivered high first discharge capacity of 1547 mAh/g and retained the specific capacity of around 916 mAh/g in 200 cycles at 0.2C. The cells with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayers also showed improved C-rate performance compared the cells without SiO<sub>2</sub>@CNF interlayers. The enhanced electrochemical performance resulted not only from high polysulfides capturing ability of SiO<sub>2</sub> nanoparticles with high specific surface area but also highly conductive interconnected structure of carbon nanofibers. Highly porous structure of SiO<sub>2</sub>@CNF led to large amount of polysulfide adsorption and highly conductive structure resulted in reutilization of adsorbed polysulfides and thereby improved reversible specific capacities.

**Keywords:** SiO<sub>2</sub>, nanoparticles, nanofibers, coating, electrospinning

### 1. Introduction

Considering climate change and other environmental issues, developing energy storage and conversion systems is vital. Rechargeable batteries are also important for large-scale applications of electronics, electric vehicles and smart utility grids. Among rechargeable batteries, Li-sulfur batteries are gaining tremendous interest due to high theoretical capacity (1675 mAh/g), energy density (2567 Wh/kg, which is based on the redox reaction of  $16 \text{ Li} + \text{S}_8 = 8 \text{ Li}_2\text{S}$ ), low cost and environmentally friendliness of sulfur. However, the issues on large volume change of around 80% from S to Li<sub>2</sub>S during cycling, poor electronic conductivity of sulfur and lithium sulfide and shuttle effect caused by the dissolution of polysulfides (Li<sub>2</sub>S<sub>x</sub>,  $4 < x \leq 8$ ) have to be addressed to commercialize Li-sulfur batteries [1-4].

Many polysulfides dissolve in an electrolyte solution during cycling of the Li-sulfur cells. The capturing of polysulfides can suppress shuttling into the anode side and the cycling performance of the cell directly related to capturing polysulfides and reutilization of these trapped polysulfides. Placing conductive

carbon layer between separator and cathode is an effective approach to limit the shuttle effect. However, carbon structures have poor interaction with polysulfides due to nonpolar structure of carbon materials. Metal oxides could improve chemical adsorption of polysulfides [2, 5, 6]. There are few numbers of research on utilization of SiO<sub>2</sub> as interlayer in Li-sulfur batteries. Belgibayeva et al [5] fabricated SiO<sub>2</sub>/C nanofibers by using PVP and TEOS precursor solution. The initial discharge capacity was 1304 mAh/g and capacity was 934 mAh/g in 50 cycles at 0.1 C.

Electrospinning is a common method to prepare free standing highly porous CNFs. Highly porous structures provide large number of sites for polysulfide adsorption and high conductivity improves kinetics of the cells and thereby electrochemical performance. In this study, a facile approach was presented to fabricate high performance nanostructured interlayers that combine high polysulfide adsorption of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and high conductive of CNFs for Li-sulfur batteries. Highly porous carbon nanofibers were prepared by using electrospinning and coating of SiO<sub>2</sub> nanoparticles were utilized to further improve the polysulfide adsorption. SiO<sub>2</sub> coating on CNFs were seen from

\* Corresponding Author: [yanilmaz@itu.edu.tr](mailto:yanilmaz@itu.edu.tr)

SEM and TEM images. High reversible capacities were observed from the cells containing SiO<sub>2</sub>@CNF interlayers.

## 2. Materials and Method

Polyacrylonitrile (PAN, 150000)/polystyrene (PS, 192000) were dissolved in dimethylformamide (DMF) and 10 wt.% polymer solution was used for electrospinning. The feeding rate was 1 ml/h, the tip to collector distance was 15 cm and applied voltage was 15 kV during electrospinning. After stabilization at 280 °C for 5h and carbonization at 800 °C for 2h, porous carbon nanofibers were obtained and SiO<sub>2</sub> nanoparticles were coated on CNFs via electrospinning. Scanning electron microscope (SEM) and tunneling electron microscope (TEM) were used for morphology study. EDX and X-ray diffraction (XRD) were used for structural characterization. Cycling tests were conducted at room temperatures using CR2032 coin cells.

## 3. Results

Fig.1 shows the SEM image of SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer. Nanosized SiO<sub>2</sub> coated highly porous CNFs were observed. CNFs could employ as a buffer for volume change of active material. CNFs also capture polysulfides and improve active material utilization owing to highly porous and conductive structure. Moreover, uniformly distributed SiO<sub>2</sub> nanoparticles on CNFs further improve polysulfide migration because of strong chemical interaction between SiO<sub>2</sub> and polysulfides.

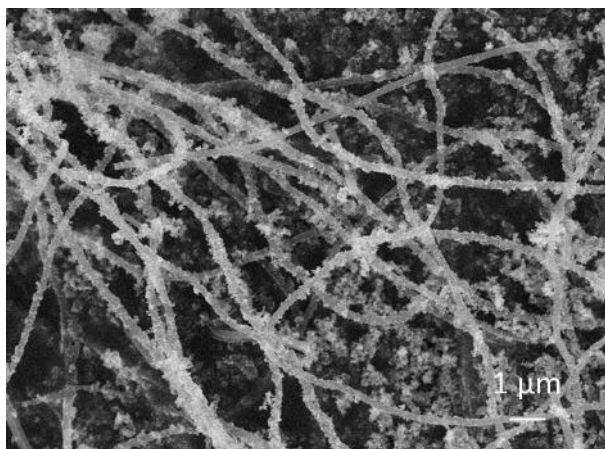


Fig. 1 SEM images of SiO<sub>2</sub>@CNFs

TEM image of SiO<sub>2</sub>@CNFs is also given in Fig.2 to prove uniform coating of SiO<sub>2</sub> on nanofibers. SiO<sub>2</sub> nanoparticles have amorphous structure with polar groups that is beneficial for chemical adsorption of polysulfides.

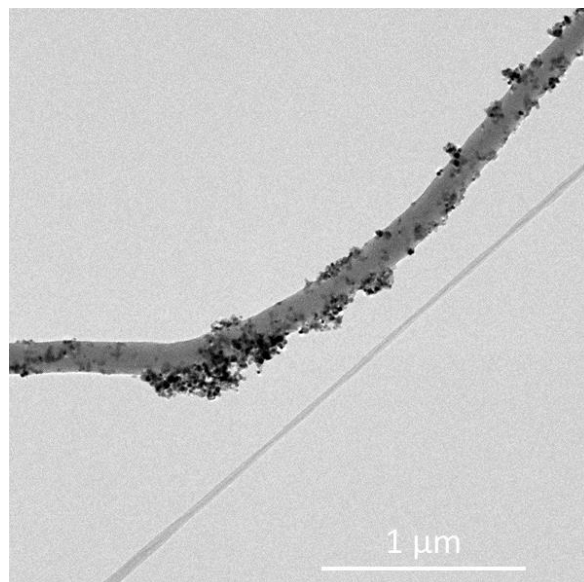


Fig. 2 TEM images of SiO<sub>2</sub>@CNFs

Fig. 3 shows XRD spectra of SiO<sub>2</sub>@CNFs. The large peak at around 23° is the characteristic of amorphous structure of carbon and SiO<sub>2</sub> which was also reported by Liu et al [7] for biomass derived SiO<sub>2</sub> containing carbons. SiO<sub>2</sub> coating was also proved by EDX spectra given in Fig.4.

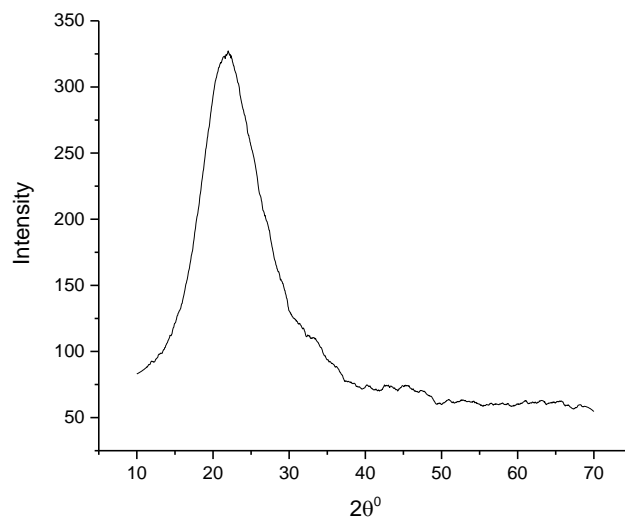


Fig. 3 XRD spectra of SiO<sub>2</sub>@CNFs

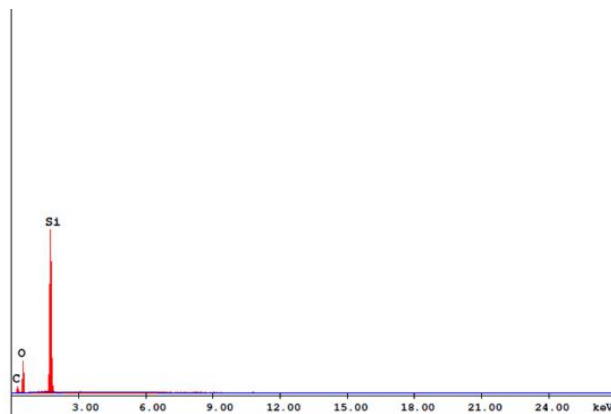


Fig. 4 EDX spectra of SiO<sub>2</sub>@CNFs

Cycling performance of the cells with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer is seen in Fig. 5. Initial discharge capacity of the cells with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer was 1547 mAh/g whereas that of the cell without interlayer was 884 mAh/g. The corresponding sulfur utilization were 92% and 53%, respectively, for the cells with and without SiO<sub>2</sub>@CNFs. Better sulfur utilization could be attributed to polar structure of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and highly conductive CNFs. Liu et al [7] also reported better cycling performance for the cells with SiO<sub>2</sub> containing hard carbons and the results were attributed to keeping polysulfides on the cathode side owing to polar structure of SiO<sub>2</sub> and highly conductive structure of carbons.

Reversible capacity for the cell with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer in 200 cycles was around 950 mAh/g while the cell without interlayer delivered specific capacity of around 223 mAh/g. The capacity decay was 0.2% per cycle for the cells with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer. However, the capacity decay was 0.38% per cycle for the cells without interlayer. The result could be explained limited polysulfide shuttling resulted via strong chemical interaction between SiO<sub>2</sub> nanoparticles and polysulfides. Zhang et al [8] prepared SiO<sub>2</sub> coated separators for Li-sulfur batteries and improved cycling performance was attributed to efficient suppression of polysulfide shuttling.

C rate performance is also given in Fig.6. C-rate was changed from 0.2 C to 2 C and then back to 0.2 C. The cells with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer delivered higher specific capacities at all C rates. The specific capacities were around 1180 mAh/g, 1030 mAh/g, 820 mAh/g, 710 mAh/g at 0.2, 0.5, 1 and 2C, respectively. However, the cells without interlayer showed poor C rate performance with low specific capacities because of severe shuttling of polysulfides. The capacities were 515 mAh/g, 385 mAh/g, 260 mAh/g, 100 mAh/g at 0.2, 0.5, 1 and 2C, respectively. Moreover, as the C rate was back to 0.2 C, the cells with SiO<sub>2</sub>@CNF interlayer delivered high capacity of around 1160 mAh/g. Strong interaction between Si-O bond and polysulfides led to better sulfur utilization while CNFs acted as a second current collector and improve reutilization of active material and thus led to better C rate performance.

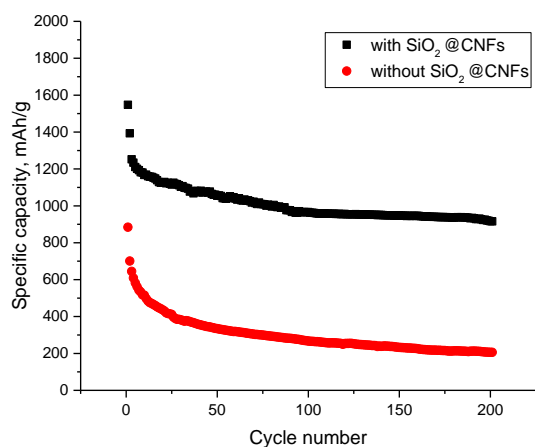


Fig. 5 Cycling performance of SiO<sub>2</sub>@CNFs

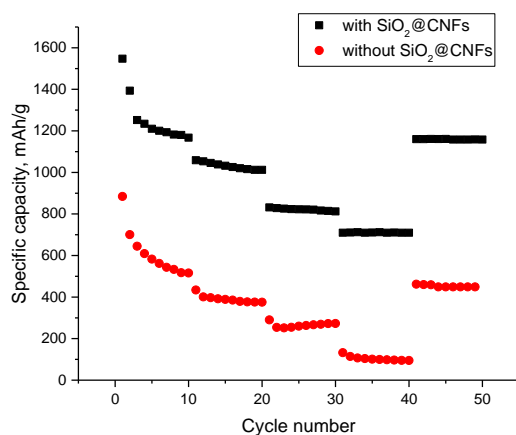


Fig. 6 C-rate performance of SiO<sub>2</sub>@CNFs

## 4. Conclusion

High performance SiO<sub>2</sub>@CNF interlayers were fabricated via electrospinning and uniform nanolayer of SiO<sub>2</sub> nanoparticles were coated on CNFs to combine large polysulfide adsorption ability of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and high conductivity of CNFs. Due to the facile and effective approach that combines high polysulfide chemisorption of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and highly conductive porous interconnected nanostructured carbon nanofibers, high reversible capacities and improved C rate performance was observed.

## References

- [1] W. Kou, X. Li, Y. Liu, X. Zhang, S. Yang, X. Jiang, G. He, Y. Dai, W. Zheng, G. Yu, Triple-layered carbon-SiO<sub>2</sub> composite membrane for high energy density and long cycling Li-S batteries, *ACS nano* 13(5) (2019) 5900-5909.
- [2] C. Zhang, K. Li, J. Dai, X. Zhang, R. Li, J. Zou, High-performance lithium-sulfur batteries achieved by a multifunctional SiO<sub>2</sub>-nanotubes/carbon composite interlayer, *Journal of Alloys and Compounds* 895 (2022) 162580.
- [3] J. Li, Y. Huang, S. Zhang, W. Jia, X. Wang, Y. Guo, D. Jia, L. Wang, Decoration of silica nanoparticles on polypropylene separator for lithium-sulfur batteries, *ACS applied materials & interfaces* 9(8) (2017) 7499-7504.
- [4] J. Wang, Y. Yang, F. Kang, Porous carbon nanofiber paper as an effective interlayer for high-performance lithium-sulfur batteries, *Electrochimica Acta* 168 (2015) 271-276.
- [5] A. Belgibayeva, I. Taniguchi, Insights into the improved electrochemical performance of lithium-sulfur battery with free-standing SiO<sub>2</sub>/C composite nanofiber mat interlayer, *Journal of Power Sources* 484 (2021) 229308.
- [6] M. Liu, N. Deng, J. Ju, L. Fan, L. Wang, Z. Li, H. Zhao, G. Yang, W. Kang, J. Yan, A review: electrospun nanofiber materials for lithium-sulfur batteries, *Advanced Functional Materials* 29(49) (2019) 1905467.
- [7] T. Liu, X. Sun, S. Sun, Q. Niu, H. Liu, W. Song, F. Cao, X. Li, T. Ohsaka, J. Wu, A robust and low-cost biomass carbon fiber@ SiO<sub>2</sub> interlayer for reliable lithium-sulfur batteries, *Electrochimica Acta* 295 (2019) 684-692.
- [8] C. Zhang, K. Li, W. Luo, J. Dai, X. Zhang, R. Li, J. Zou, Z. Xu, SiO<sub>2</sub> hollow nanotubes composite aramid fiber interlayer for absorption of polysulfides in highly stable lithium-sulfur batteries, *Vacuum* 195 (2022) 110684.





# Investigation of Thermophysical Properties of Polyester Composites Produced with Synthesized MSG and Nano-Alumina

Hakan Şahal<sup>1\*</sup>, Ercan Aydoğmuş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur Vocational School, Department of Food Processing, Tunceli, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8714-1735), [hakansahal@munzur.edu.tr](mailto:hakansahal@munzur.edu.tr)

<sup>2</sup>Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1643-2487), [ercanaydogmus@firat.edu.tr](mailto:ercanaydogmus@firat.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1072831)

**ATIF/REFERENCE:** Şahal, H. & Aydoğmuş, E. (2022). Investigation of Thermophysical Properties of Polyester Composites Produced with Synthesized MSG and Nano-Alumina. *European Journal of Science and Technology*, (34), 95-99.

## Abstract

In this study, synthesis of a new compound, 4-[(E)-(5-Bromo-2-hydroxy-3-methoxybenzylidene) amino]-N carbamimidoylbenzenesulfonamide (MSG) has been carried out. The structures of MSG are characterized using spectroscopic methods such as Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and proton nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR). In experimental studies, synthesized MSG has been reinforced with 1 wt.% and 2 wt.% unsaturated polyesters. Besides, 1 wt.% and 2 wt.% alumina nanoparticles, 1.5 wt.% methyl ethyl ketone peroxide (MEKP), and 0.5 wt.% cobalt octoate (Co Oc) were used to produce polyester composites. Although alumina nanoparticles increased the density of the produced polyester composite, MSG supplementation decreased it. While nano-alumina raised Shore D hardness of the polyester composite, synthesized MSG went down it. Both nano-alumina and MSG reinforcement have been increased the porosity in the surface morphology of the polyester composite. Also, nano-alumina reinforcement raised the activation energy of the polyester composite and MSG decreased it. In other words, since the alumina filler raises the activation energy, the thermal stability of the polyester composite has gone up.

**Keywords:** Alumina, Synthesis, MSG, Polyester composite, Characterization.

## Sentezlenmiş MSG ve Nano-Alümina ile Üretilen Polyester Kompozitlerin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

### Öz

Bu çalışmada yeni bir bileşik olan 4-[(E)-(5-Bromo-2-hidroksi-3-metoksibenziliden)amino]-N karbamimidoylbenzenesülfonamid (MSG) sentezi gerçekleştirilmiştir. MSG'nin yapıları, Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve proton nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (NMR) gibi yöntemler kullanılarak karakterize edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, sentezlenen MSG, ağırlıkça % 1 ve % 2 doymamış polyesterlerle takviye edilmiştir. Ayrıca, polyester kompozitleri üretmek için ağırlıkça % 1 ve % 2 alümina nanopartiküller, ağırlıkça % 1.5 metil etil keton peroksit (MEKP) ve ağırlıkça % 0.5 kobalt oktoat (Co Oc) kullanılmıştır. Alümina nanoparçacıkları üretilen polyester kompozitin yoğunluğunu arttırmasına rağmen, MSG takviyesi bunu azaltmıştır. Nano-alümina, polyester kompozitin Shore D sertliğini yükseltirken, sentezlenen MSG onu düşürmüştür. Hem nano-alümina hem de MSG takviyesi, polyester kompozitin yüzey morfolojisindeki gözenekliliği arttırmıştır. Ayrıca nano-alümina takviyesi, polyester kompozitin aktivasyon enerjisini yükseltmiş ve MSG ise bunu azaltmıştır. Diğer bir deyişle, alumina takviyesi aktivasyon enerjisini yükselttiği için polyester kompozitin termal kararlılığı da yükselmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alümina, Sentez, MSG, Polyester kompozit, Karakterizasyon.

## 1. Introduction

Since Schiff bases were discovered by Hugo Schiff in 1864, many specific properties have been discovered in studies of this class of compounds. For this reason, this group of compounds is used in optics, sensors, catalysis, biomedicine, composites, etc. areas that have been extensively studied. It has been reported that some Schiff bases with relatively stable structures can improve the thermal degradation of materials by forming ablative surfaces [1-3]. Meanwhile, polyimines/Schiff-base-based polymers with a system of conjugated  $-C=N-$  bonds exhibit valuable properties mainly associated with the presence of conjugated backbone and imine sites [4,5].

Composite materials can be produced by using organic and inorganic fillers in a pure polymer. In the study conducted in the literature, some thermal and mechanical properties have been investigated by adding a filler (borax) to the polyester composite. Borax reinforcement raised the thermal conductivity and elastic modulus of the polyester composite. Shore D hardness and limit oxygen value of the obtained composite also tend to increase compared to pure polyester. Besides, it has been determined that the porosity in the surface morphology increased as the percentage of the filler in the mixture raised [12].

In another article, both a waste polymer (polyethylene terephthalate) and synthesized modified palm oil have been reinforced to the polyester composite. As the waste PET ratio in polyester increased, the density, elastic modulus, and activation energy of the composite increased. Also, as the amount of waste PET raised, both the thermal conductivity coefficient and Shore D hardness of the polyester composite increased [11].

In another study in the literature, the thermal decomposition behavior of aerosil ( $SiO_2$ ) reinforced polyester composite has been investigated. Nanoparticle (aerosil) reinforcement increased the activation energy of the composite, that is, its thermal stability. Moreover, when the aerosil ratio in the polyester composite went up, the thermal conductivity coefficient went down [13].

In another research, some nanoparticles (fumed silica, silicon carbide, graphene) have been reinforced to unsaturated polyester. Although graphene and silicon carbide supplementation increased the thermal conductivity of the polyester composite, fumed silica reinforcement decreased it. Fumed silica and silicon carbide have been raised Shore D hardness of the polyester composite. Also, fumed silica reinforcement decreased the density of the composite, the other nanoparticles raised it. Moreover, when the thermal stability of the polyester composites is listed from the largest to the smallest, it has been determined that they are fumed silica, graphene, silicon carbide, and pure polyester [14].

In this study, polyester composite materials have been obtained with newly synthesized MSG and nano-alumina reinforcement. The effect of alumina reinforcement with synthesized Schiff base (MSG) on some thermophysical properties of polyester composite has been evaluated. Some physical and chemical properties of the obtained polyester composite have been compared.

## 2. Material and Method

Unsaturated polyester (UP), methyl ethyl ketone peroxide (MEKP), and cobalt octoate (Co Oc) used in experimental studies have been supplied from Turkuaz Polyester. Alumina ( $Al_2O_3$ ; 99.9 e-ISSN: 2148-2683

% purity) nanoparticle (<50 nm) has been also purchased from the Nanography Company. Also, other chemical components required for MSG synthesis have been obtained from Merck.

FTIR spectra have been carried out by a Shimadzu QATR-S (IR Spirit S1102SC) in the range of  $4000-600\text{ cm}^{-1}$ .  $^1H$  (400 MHz) NMR spectra were obtained in DMSO- $d_6$  solutions by Bruker DRX-400 high-performance digital FT-NMR spectrometer.

The experimental work plan for polyester composite production is given in Table 1. First of all, after unsaturated polyester (UP) and fillers are homogenized, MEKP and Co Oc catalysts are added to the mixture. The mixture is poured into standard molds after mixing at 1000 rpm for 120 seconds. It has waited for 24 hours for the curing of the obtained polyester composites and then the necessary tests are carried out.

Table 1. Experimental working plan

Experiment No	UP (wt.%)	MSG (wt.%)	Alumina (wt.%)	MEKP (wt.%)	Co Oc (wt.%)
1	98	-	-	1.5	0.5
2	97	1	-	1.5	0.5
3	96	2	-	1.5	0.5
4	97	-	1	1.5	0.5
5	96	-	2	1.5	0.5
6	96	1	1	1.5	0.5

In Figure 1, polyester composite production and application method are expressed.

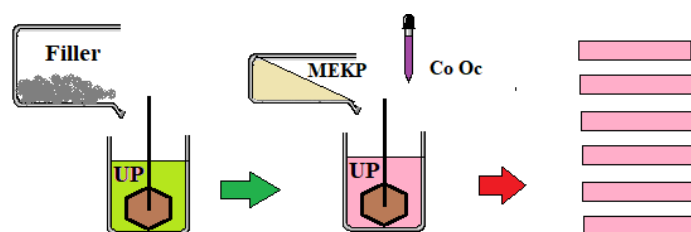


Figure 1. Polyester composite production scheme

### 2.1 Synthesis MSG

To a solution of 0.855 g (0.004 mol) of sulfaguandine dissolved in 50 mL of absolute ethyl alcohol, 0.924 g (0.004 mol) of 5-Bromo-3-methoxy salicylaldehyde dissolved in 10 mL of pure ethyl alcohol was added dropwise and dispersed in the sound bath under room conditions for 10 minutes. This reaction mixture has interacted at  $130\text{ }^\circ\text{C}$  for 12 hours using the hydrothermal technique. The sediments were filtered, washed with cold ethyl alcohol, and dried at room temperature. Then got the product  $C_{15}H_{15}BrN_4O_4S$ :  $M=427.27$ ). Yield 1.54 g (90 %). IR (KBr),  $\nu_{\text{max/cm}^{-1}}$ : 3435(O—H), 3330, 3301, 3230, 3145, 1617 (C=N), 1543, 1476 (C—O), 1401(—SO $_2$  str), 1382, 1348, 1277, 1136,

1093, 974, 913, 861, 822, 781, 658, 634, 583, 541;  $^1\text{H}$  NMR(DMSO- $d_6$ ),  $\delta$ : 12.77(s, 1H, O—H), 8.95(s, 1H, CH=N), 7.83—7.30(m, 6H, Ar—H), 6.75—6.54(m, 4H, —NH, —NH<sub>2</sub>), 3.39 (s, 3H, -OCH<sub>3</sub>).

In Figure 2, the chemical reaction mechanism of synthesized MSG is shown.

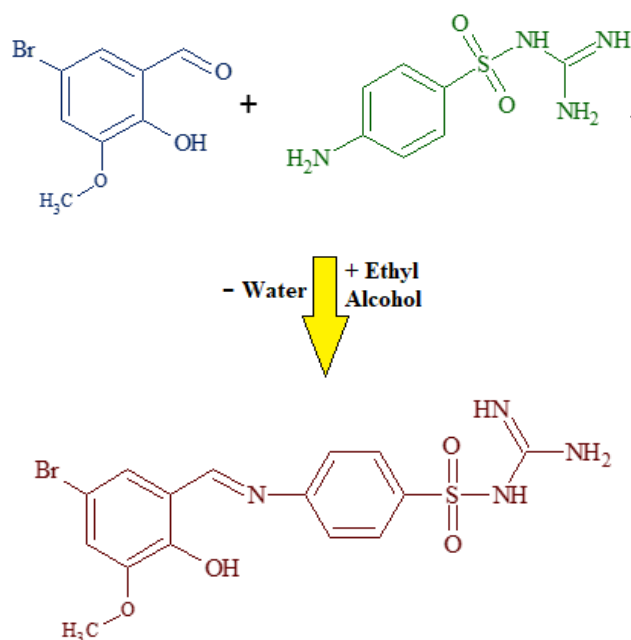


Figure 2. Chemical synthesis mechanism of MSG

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Synthesis and characterization of MSG

In this study, a novel Schiff base derivative was synthesized by the reaction of equimolar amounts of sulfaguandine with 5-Bromo-3-methoxy salicylaldehyde in absolute ethyl alcohol, then purified and isolated. The structures of the compounds were elucidated by general spectroscopic methods and elemental analysis, and the findings supported each proposed structure. The characteristic IR peaks of compounds are the peaks of C=N, C-O, O-H, S=O, and (C=N) Ar stretching vibrations. Others are C=C and C=O stretch vibration peaks, aliphatic C-H and N-H, and aromatic C-H stretch vibration peaks. When the IR spectrum of the compound (MSA) is examined, the OH stretching vibration of the phenolic -OH group is wide around  $3435\text{ cm}^{-1}$ , while the C=N stretching vibration of the azomethine group is seen sharply at  $1617\text{ cm}^{-1}$ . These bands support the completion of the formation reaction of (MSG) compound. These values agree with those found for similar compounds [6-8]. The most useful infrared spectral bands of the compound are listed in the experimental section.

$^1\text{H}$  NMR spectra of the compound MSG were recorded in DMSO- $d_6$  at room temperature. It belongs to a singlet -OH proton of one proton observed in the range of 12.77 ppm in the  $^1\text{H}$ -NMR spectrum of compound MSG. In addition, the peak observed as a singlet at a proton intensity in the range of 8.95 ppm also belongs to the azomethine proton in the structure. Besides, the chemical shift observed in the spectrum in the range of 7.49 ppm belongs to the (-NH) proton(s) attached to the -SO<sub>2</sub> group in the structure (Figure 3). The most useful  $^1\text{H}$ -NMR spectrum bands of the

compounds are listed in the experimental section. The observed peaks are in agreement with the structure and literature [9,10].

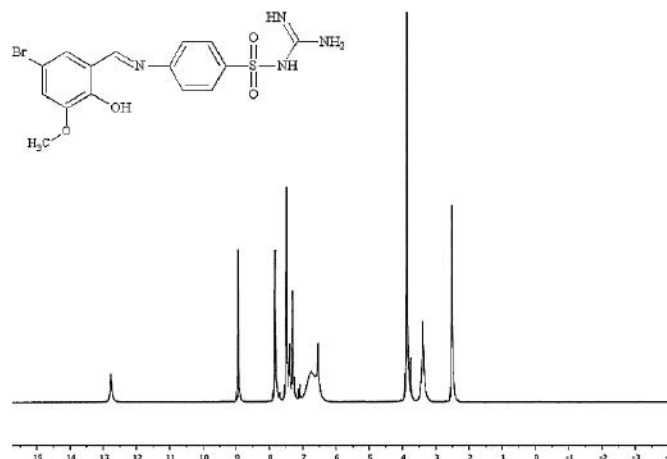


Figure 3.  $^1\text{H}$  NMR spectrum of MSG

The variation of densities of polyester composites obtained with alumina reinforcement in Figure 4 and MSG reinforcement in Figure 5 are expressed.

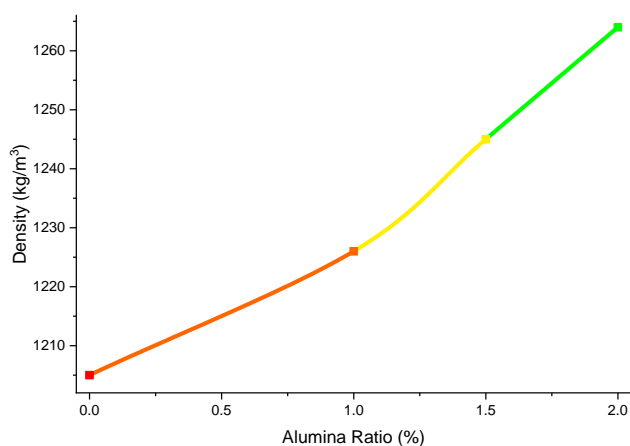


Figure 4. The effect of alumina ratio on the density of the composite

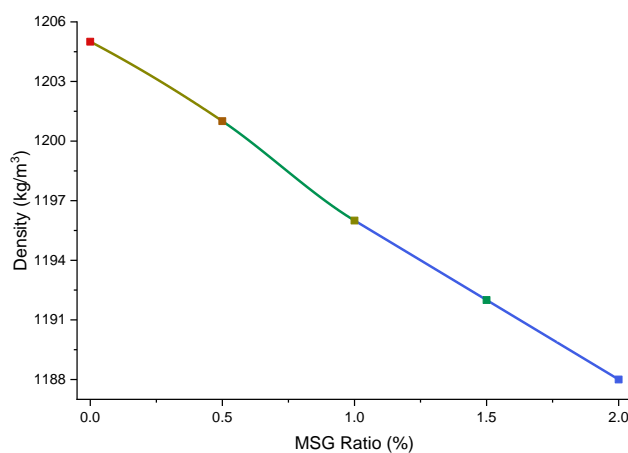


Figure 5. The effect of MSG ratio on the density of the composite

The effect of alumina and MSG ratios on Shore D hardness of polyester composite is shown in Figure 6 and Figure 7.

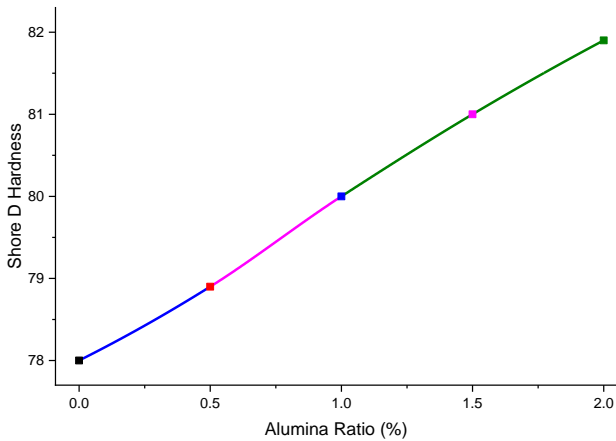


Figure 6. The effect of alumina ratio on the hardness of the composite

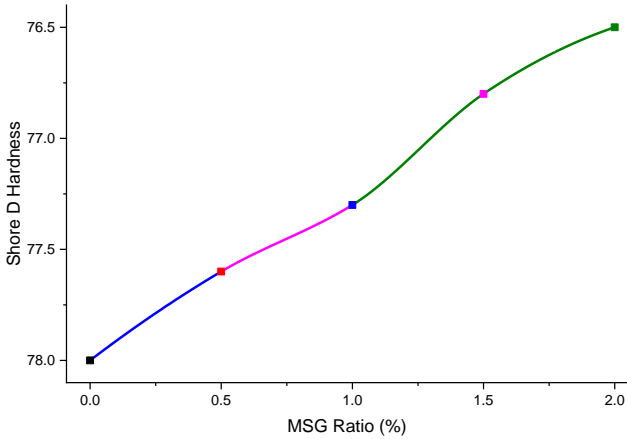


Figure 7. The effect of MSG ratio on the hardness of the composite

In Figure 8, the variation of the thermal conductivity coefficients of the synthesized polyester composite is seen. Alumina reinforcement has been increased the thermal conductivity of the composite more than MSG.

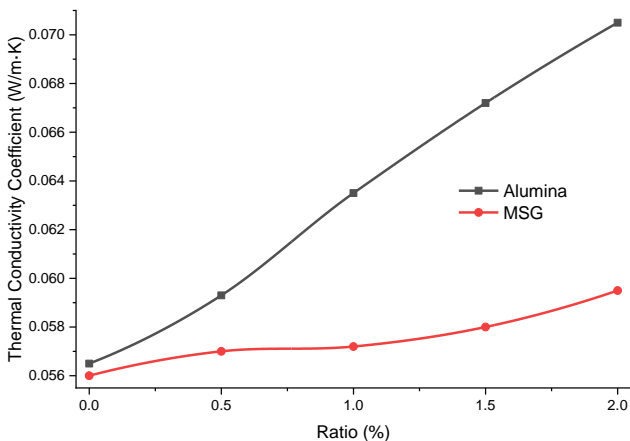


Figure 8. The effect of alumina and MSG ratios on the thermal conductivity of the composite

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, the effect of newly synthesized MSG and alumina reinforcement on the thermophysical properties of unsaturated polyester has been evaluated. Nano-alumina filler increased the density, thermal conductivity coefficient, Shore D hardness, and thermal stability of the polyester composite more than MSG. Also, alumina reinforcement has been raised the activation energy of the polyester composite more than MSG.

In this research, it has been seen that polyester composite can be obtained for the desired purpose by using organic and inorganic additives or fillers. It has been understood that organic and inorganic fillers could be used together, especially in the composite obtained in the 6th experiment.

## References

- A. D. Naik, G. Fontaine, S. Bellayer, and S. Bourbigot, *Crossing the traditional boundaries: salen-based schiff bases for thermal protective applications*, ACS Applied Materials & Interfaces, 7, 21208–21217, 2015.
- A. D. Naik, G. Fontaine, S. Bellayer, and S. Bourbigot, *Salen based Schiff bases to flame retard thermoplastic polyurethane mimicking operational strategies of thermosetting resin*, RSC Advances, 5, 48224–48235, 2015.
- D. Zhao, J. Wang, X.L Wang, and Y. Z. Wang, *Highly thermostable and durably flame-retardant unsaturated polyester modified by a novel polymeric flame retardant containing Schiff base and spirocyclic structures*, Chemical Engineering Journal, 344, 419–430, 2018.
- F. He, L. Tian, W. Xie, et al., *Highly efficient blue organic light-emitting devices based on improved guest/host combination*, Journal of Physical Chemistry C, 112(31), 12024–12029, 2008.
- M. Grigoras, and C. O. Catanescu, *Imine oligomers and polymers*, Journal of Macromolecular Science: Part C: Polymer Reviews, 44(2), 1–37, 2004.
- C. W. Thornber, *Isosterism and molecular modification in drug design*, Chemical Society Reviews, 8, 563-580, 1979.
- R. C. Ogden, and C. W. Flexner, *Protease Inhibitors In AIDS Therapy*, Marcel Dekker, New York, Basel, 2001.
- A. Scozzafava, and C. T. Supuran, *Carbonic Anhydrase and Matrix Metalloproteinase Inhibitors: Sulfonated Amino Acid Hydroxamates with MMP Inhibitory Properties Act as Efficient Inhibitors of CA Isozymes I, II, and IV, and N-Hydroxysulfonamides Inhibit Both These Zinc Enzymes*, Journal of Medicinal Chemistry, 43, 3677-3687, 2000.
- H. Şahal, M. Pişkin, G. A. Organ, Ö. F. Öztürk, M. Kaya, E. Canpolat, *Zinc(II) phthalocyanine containing Schiff base containing sulfonamide: Synthesis, characterization, photophysical, and photochemical properties*, Journal of Coordination Chemistry, 71, 3763–3775, 2018.
- M. Pişkin, E. Canpolat, and Ö. F. Öztürk, *The new zinc phthalocyanine having high singlet oxygen quantum yield substituted with new benzenesulfonamide derivative groups containing schiff base*, Journal of Molecular Structure, 1202, 127181, 2020.

- E. Aydoğmuş, H. Arslanoğlu, and M. Dağ, *Production of waste polyethylene terephthalate reinforced biocomposite with RSM design and evaluation of thermophysical properties by ANN*, Journal of Building Engineering, 44, 103337, 2021.
- R. Orhan, E. Aydoğmuş, S. Topuz, and H. Arslanoğlu, *Investigation of thermo-mechanical characteristics of borax reinforced polyester composites*, Journal of Building Engineering, 42, 103051, 2021.
- E. Aydoğmuş, and H. Arslanoğlu, *Kinetics of thermal decomposition of the polyester nanocomposites*, Petroleum Science and Technology, 39(13–14), 484–500, 2021.
- C. Yanen, and E. Aydoğmuş, *Characterization of Thermo-Physical Properties of Nanoparticle Reinforced the Polyester Nanocomposite*, Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Science, 10(2), 121–132, 2021.



## Drenaj Alan-Oran Metodu Kullanılarak Nehir Akım Verilerinin Yanlılık Düzeltmesi ile Doğruluğunun İncelenmesi

Serin Değerli<sup>1</sup>, Evren Turhan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0208-9152), [sdegerli@atu.edu.tr](mailto:sdegerli@atu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0742-4848), [eturhan@atu.edu.tr](mailto:eturhan@atu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1075180)

**ATIF/REFERENCE:** Değerli, S. & Turhan, E. (2022). Drenaj Alan-Oran Metodu Kullanılarak Nehir Akım Verilerinin Yanlılık Düzeltmesi ile Doğruluğunun İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 100-104.

### Öz

Su kaynaklarının planlanma süreçleri içerisinde havza modelleme çalışmalarında kullanılacak meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin detaylı bir şekilde araştırılması oldukça önemlidir. Özellikle baraj, gölet, köprü, menfez gibi su yapıları tasarlanırken, uzun periyotları kapsayan verilerin eksiksiz olması, noksan olması halinde ise uygun yöntemlerle tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Ancak birçok sebepten ötürü bu verilerin tam olamadığı görülebilmektedir. Eğer akım ölçümü su yapısının planlandığı yerde yapılamıyor ise mevcut verilerin istenilen bölgeye doğru bir şekilde taşınabilmesi gerekebilir. Bu kapsamda Drenaj Alan-Oran (DAR) yöntemi, bahsedilen ölçümlerin taşınmasında kullanılan metotlardan biridir. Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Havzası'ndaki Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından işletilmiş olan 1712, 1717 ve 1721 nolu Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) gözlemlenmiş akım verilerinden faydalanılmıştır. 1987-2011 yılları arası aylık akım verileri değerlendirilmiş olup, 1712 nolu istasyonun verileri, birbirlerinden farklı uzaklıktaki 1717 ve 1721 nolu istasyonların bulunduğu konuma DAR metodu ile taşınmıştır. Elde edilen değerler orijinal (ham) veriler ile karşılaştırılarak yöntemin doğruluğu sınanmıştır. Ayrıca Yanlılık Düzeltmesi (Bias Correction) uygulandığında taşınan verilerin gözlenen veriler ile ne oranda yakınsak olduğu irdelenmiştir. Çalışma sonucunda Yanlılık Düzeltmesi ile ortaya konan hesapların düzeltme yapılmadan taşınan değerlere göre orijinal veriler açısından daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Dolayısı ile su kaynaklarının doğru ve etkili yönetimi aşamaları düşünüldüğünde eksik akımların tamamlanması çalışmalarında havza genelindeki eşdeğer gözlem istasyonları verilerinin drenaj alanlarına göre düzeltmeleri yapılarak taşınmasının tasarım ve maliyet hesaplamalarına olumlu anlamda etki yapabileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Kaynakları Yönetimi, Akım Doğruluk Analizi, Drenaj Alan-Oran Metodu, Yanlılık Düzeltmesi, Doğu Akdeniz Havzası.

## Investigation of Streamflow Data Accuracy with Bias Correction Using Drainage Area-Ratio Method

### Abstract

It is very important to analyze in detail the meteorological and hydrological parameters that can be used in drainage basin modeling studies within the planning processes of water resources. Especially when designing hydraulic structures such as dams, ponds, bridges and culverts, long-term data should be complete and in case of shortcoming, it should be estimated by appropriate methods. However, it can be seen that these data are not complete for many reasons. If the flow measurement cannot be made where the water structure construction is planned, it may be necessary to transfer or transport the available data to determined region appropriately. In this context, Drainage Area-Ratio (DAR) method is one of the methods used to transport the relevant observation streamflow values. In

\* Sorumlu Yazar: [eturhan@atu.edu.tr](mailto:eturhan@atu.edu.tr)

this study, the observed streamflow data of Stream Gauge Stations (SGS) numbered 1712, 1717 and 1721 operated by the Electrical Works Survey Administration (knownly as EIEI) in the Eastern Mediterranean Basin, were used. The monthly flow data between 1987 and 2011 were utilized, and the data of the SGS-1712 were transferred to the location of the SGSs 1717 and 1721, which are at different distances from each other, with the DAR method. The accuracy of this method was tested by comparing the obtained values with the original (raw) data. In addition, when Bias Correction (BC) is applied, the extent to which the transferred data converge with the observed data was examined. As a result of the study, it has been seen that the results using the BC give closer values than the values transferred without the correction in terms of the original data. Therefore, considering the stages of accurate and effective water resources management, it is predicted that transporting the equivalent gauge stations streamflow data throughout the basin by correcting them according to the drainage areas in the completion of the missing flows, can be a positive effect on the design and cost calculations.

**Keywords:** Water Resources Management, Streamflow Accuracy Analysis, Drainage Area- Ratio Method, Bias Correction, Eastern Mediterranean Basin.

## 1. Giriş

Su, yeryüzündeki tüm canlılar açısından hayati bir öneme sahiptir. Suyun bu önemi geçmişten günümüze kadar su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını, kontrolünü, her türlü doğal afetlerden korunmayı temel hedef haline getirmiştir. İçme suyu ve tarımsal amaçlı kullanılan tatlı su hidroelektrik, suyu depolama, su getirme ve su ulaşımı gibi ihtiyaçları da karşılayabilmektedir. Bu doğrultuda su kaynaklarının doğru bir şekilde tasarımının yapılabilmesi ve işletilmesi için akım verilerinin hidrolojik olarak incelenmesi oldukça önemli olmaktadır [1-3]. Elde edilen bu verilerin eksiksiz bir şekilde olması planlama ve tasarım aşamaları açısından temel kriterlerdendir. Ancak havzalarda çoğu akarsu ve nehirlerin her noktası için bu ölçümlerin yapılabilmesi oldukça zor ve maliyetli olabilmektedir.

Bir havzadaki eksik olan ya da bazı sebeplerden (iklim koşulları, ulaşım zorlukları, ölçüm cihazındaki sorunlar,...vb.) dolayı ölçülemeyen veriler olabilmektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla birçok çalışma yapılmış ve metotlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada da değinildiği üzere literatürde eksik verilerin tamamlanması için Drenaj Alan-Oran (DAR) metodunun yardımıyla eksik verilerin tamamlanmasına yönelik uygulamalar göze çarpmaktadır [1-2, 4, 5].

Bu yöntem havzada var olan Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verilerinin farklı bir AGİ'ye alanlarının oranı şeklinde aktarılmasını ifade etmektedir. Eksik verilerin tamamlanmasında ya da ölçülen verilerin doğruluğunun analizinde DAR metodunun birçok alanda kullanılabildiği belirtilmektedir [6-8].

Çalışma kapsamında Türkiye'nin önemli drenaj alanlarına sahip havzalarından biri olan Doğu Akdeniz Havzası içerisinde yer alan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından işletilmiş olan 1712, 1717 ve 1721 nolu Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) 1987-2011 yılları arası 25 yıllık akım verileri doğruluk analizinin yapılması amacı ile tercih edilmiştir.

Söz konusu 1712 nolu istasyon verilerinin, birbirlerinden farklı uzaklıktaki 1717 ve 1721 nolu istasyonların bulunduğu konuma Drenaj Alan-Oran (DAR) Metoduyla taşınmıştır. Bu orijinal (ham) ve taşınan veriler arasındaki hata oranı yani sapma miktarları ve yaklaşıklık durumları incelenmiştir. Akım gözleminin mümkün olmadığı alanlarda bu tip yöntemlerin kullanımı neticesinde su yapılarının planlanması ve tasarımı aşamasında önemli katkıların olabileceği öngörülmektedir.

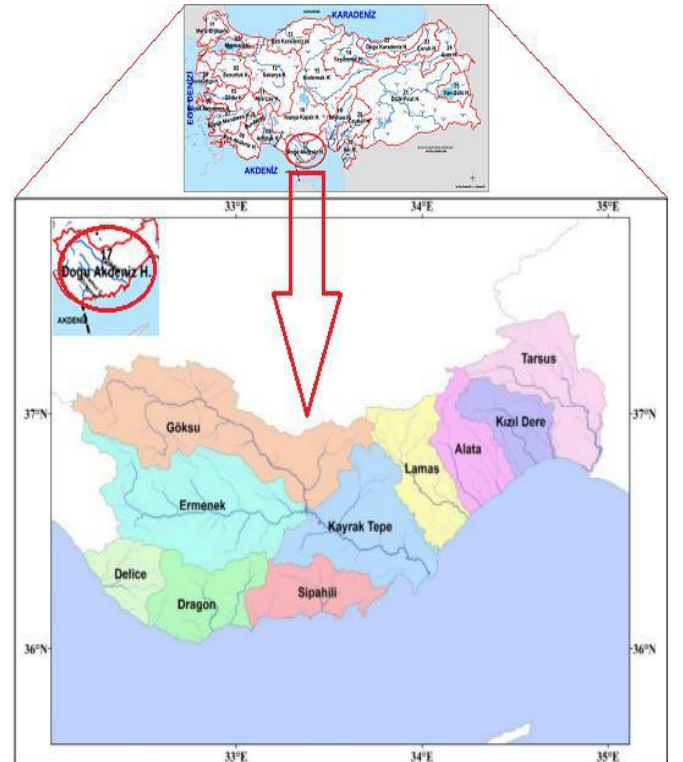
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Türkiye'de toplam 25 adet ana havza belirlenmiştir. Doğu Akdeniz Havzası bu havzalar içerisinde 17 nolu havza olarak ifade edilmektedir. Havza Türkiye'nin güneyinde 36°00'-37°28' Kuzey Enlemleri ve 32°06'-35°09' Doğu Boylamları arasında yer almaktadır. Doğu Akdeniz Havzası 21.676 km<sup>2</sup> drenaj alanına sahip olup Türkiye nüfusunun yaklaşık %2,4'ünü barındırmaktadır. Havzadaki yıllık ortalama yağış 745 mm olup, havzadaki yıllık su potansiyeli 11,07 km<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Havza yaklaşık 2.180.704 hektar (ha) ile ülke yüzölçümünün yaklaşık %2,8'ini oluşturmaktadır [9].

#### 2.1.1. Akım Gözlem İstasyonu Bilgileri

Bu çalışmada Doğu Akdeniz Havzası'nın Şekil 1'de görülen alt havzaları içerisinde yer alan 1712, 1717 ve 1721 nolu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) aylık ortalama akım verilerinden faydalanılmıştır.



Şekil 1. Doğu Akdeniz Havzası genel konumu [11]

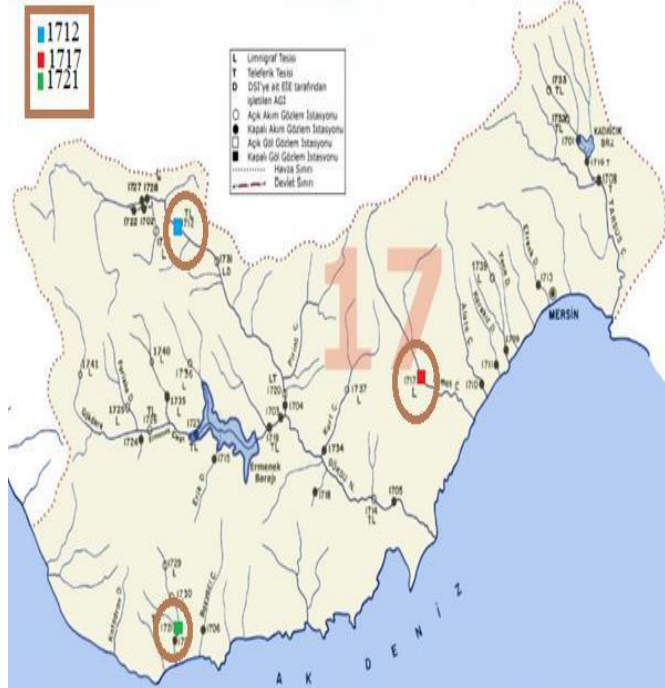
1712 nolu AGİ Karaman ili merkez ilçesinin 42 km güneyinde Bucakkışla Bucağında Göksu Nehri üzerinde bulunmaktadır. 1717 nolu AGİ Mersin ili Silifke ilçesi Kırobası Bucağına bağlı Kızılgeçit Köyündeki Lamas Çayı üzerindeki köprüdedir. Mersin'e bağlı Anamur ilçesinin kuzeyinde Ermenek yolu üzerindeki Ala Köprüdedir. İstasyon bilgileri Tablo 1'de verilmektedir. Ayrıca Şekil 2'de bahsi geçen AGİ'lerin havzadaki konumları gösterilmektedir [10].

### 2.1.2. Alan-Oran Metodu

DAR metodu, aynı havzada bulunan su kaynaklarının üzerinde kurulmuş olan bir AGİ tarafından ölçülen verilerin başka bir noktada ya da bir yerde kurulu olan AGİ'nin mansabındaki bir noktaya taşınmasını ifade etmektedir [1-2]. Bu metodun kullanılabilmesi için havzaya ait AGİ'lerden elde edilen  $\phi$  ve K katsayıları mutlaka belirlenmelidir. Genel olarak bu metotta  $Q=K.A\phi$  formülü kullanılmaktadır. Formülde  $Q$  m<sup>3</sup>/s cinsinden olup günlük, aylık ya da yıllık olarak akış miktarını ifade etmektedir, A km<sup>2</sup> cinsinden olup seçilen noktaya kadar olan yağış alanını ifade etmektedir.  $\phi$  üstel ve K ise düzeltme katsayılarıdır. Örneğin akarsu üzerinde 1 noktasında bir AGİ olduğu düşünülürse, bu AGİ'nin alanı, A<sub>1</sub> ve ölçülen debisi Q<sub>1</sub>'dir [4].

Tablo 1. Akım gözlem istasyonu bilgileri [10]

İstasyon No	Enlem (K)	Boylam (D)	Drenaj Alanı (km <sup>2</sup> )
1712	36°57'03''	33°02'11''	2689,2
1717	36°39'34''	34°00'02''	1005,2
1721	36°10'32''	32°23'44''	313,2



Şekil 2. 1712, 1717 ve 1721 AGİ'lerin harita üzerindeki konumları [10]

Verilerin taşınacağı 2 noktasının havza drenaj alanı A<sub>2</sub> ve debisi Q<sub>2</sub> olarak değerlendirilirse, Denklem 1 ve 2 aşağıdaki gibi yazılabilir [2]:

$$Q_1 = K_1 \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^\phi \quad (1)$$

$$Q_2 = K_2 \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^\phi Q_1 \quad (2)$$

Alan-Oran metodunun genel formülünü kullanabilmek için Yanlılık Düzeltmesi (Bias Correction) uygulanmadan yapılan işlemlerde aynı havza içerisinde bulunan akarsuların benzer özellik taşıyabileceğinden dolayı formülde bulunan  $\phi$  üstel ve K düzeltme katsayılarının 1 değerini aldığı görülebilmektedir ( $\phi=1$ ,  $K=1$ ) [4]. Düzeltme sonucunda denklemde bulunan  $\phi$  üstel sayıları hesaplanarak, elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınıp tek bir değere ulaşılmaktadır. Denklem 3 ve 4'te kullanılan formüller görülebilmektedir [8]:

$$\phi_{i1} = \frac{\log(Q_{1i}/Q_{2i})}{\log(A_1/A_2)} \quad (3)$$

$$\bar{\phi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (4)$$

Burada, n örnek sayısını; i ise i. sıradaki akım değerlerini ve o sıra için  $\phi$ 'yi ifade etmektedir. Hataları en aza indirebilmek amacı ile formülde kullanılan diğer bir katsayısı olan K'nın iki AGİ arasındaki değerini bulmak için aşağıda belirtilen denklem yardımı ile hesaplamaları yapılır (Denklem 5 ve 6) [8]:

$$12^{K_i} = \frac{Q_{1i}}{Q_{2i} \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^\phi} \quad (5)$$

$$21^{K_i} = \frac{Q_{2i}}{Q_{1i} \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^\phi} \quad (6)$$

Yanlılık Düzeltmesi ile DAR metodunun hesaplanabilmesi için tek bir K katsayısına ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda elde edilen bu değerleri tek bir sayıya dönüştürmek ve geliştirilmiş formülde kullanılabilmesi amacıyla Denklem 7 ve 8 uygulanmaktadır:

$$K = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n 12^{K_i} + 21^{K_i} \quad (7)$$

$$\bar{Q}_1 = Q_2 K \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^\phi \quad (8)$$

Bu denklemlerin gerçekleştirilmesi ile birlikte havzada iki nokta arasındaki DAR metodu uygulanabilir seviyeye gelebilmektedir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

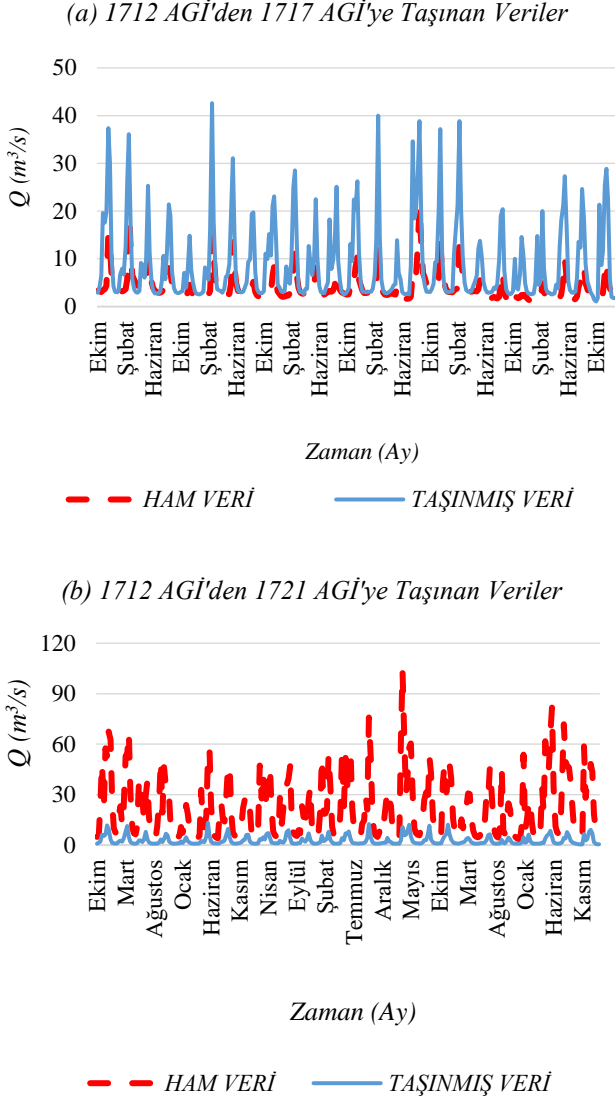
1712, 1717 ve 1721 nolu AGİ'lerin 1987-2011 yılları arası ortalama aylık veriler kullanılarak akım verilerinin doğruluğu analiz edilmiştir. Yanlılık Düzeltmesinin kullanılmadığı halde 1712 nolu istasyon verilerinin 1717'ye taşındığı durumda elde edilen grafik Şekil 3'te çizilmiştir.

Şekil 3'te görülebileceği üzere taşınan akım değerlerinin ham veya orijinal değerlerle arasında özellikle 1712 AGİ'den 1721 AGİ'ye doğru büyük sapmalar, önemli farkların olduğu gözlenmiştir. Buradan hareketle DAR metodunun uygulanabilir bir düzeyde olduğu fakat doğruluk analizi için gerçek sonuçlara göre hata oranının yüksek olduğu söylenebilir.

Sonuçların yaklaşıklığını arttırabilmek için Yanlılık Düzeltmesi uygulanmış, elde edilen sonuçlar üzerine tekrar değerlendirmeler yapılmıştır. Düzeltme taşınan değerlerin  $\phi$



üstel ve K katsayıları için sabit bir değer kullanılmayıp, ortalama bir değer elde edildikten sonra denklemlere dahil edilmesi şeklinde ele alınmıştır. Katsayı değerleri yapılan çalışmalar sonucunda Tablo 2’de verildiği gibi bulunmuştur. İlâveten Şekil 4’te Yanlılık Düzeltmesi sonucu ham ve taşınan verilerin grafikleri görülebilmektedir.

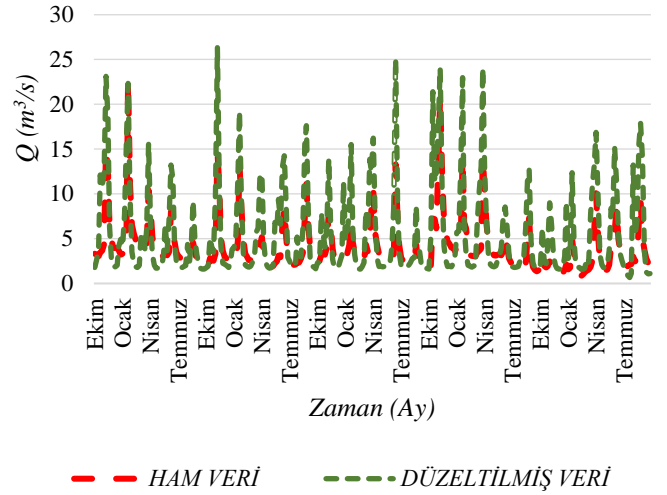


Şekil 3. (a) 1712 AGİ’den 1717 AGİ’ye taşınan verilerin, (b) 1712’den 1721 AGİ’ye taşınan verilerin grafikleri

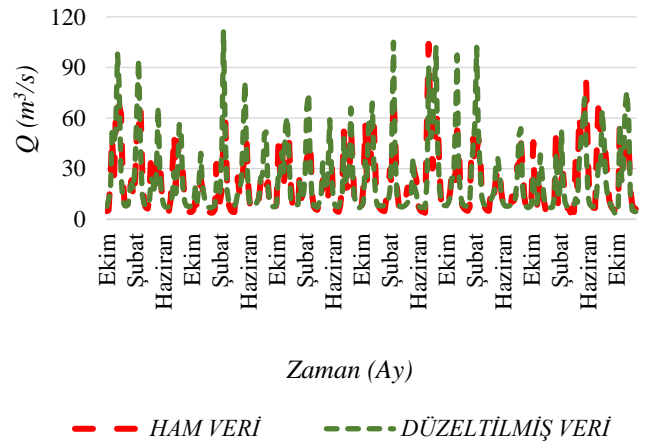
Tablo 2. Yanlılık düzeltmesi ile ortalama  $\phi$  üstel ve K düzeltme katsayıları

İstasyon No	$\phi_{ort}$	$K_{ort}$
1712-1717	1,6354722	1,155194
1712-1721	0,048722	1,088752

(a) 1712 AGİ’den 1717 AGİ’ye Taşınan Verilerin Düzeltilmesi



(b) 1712 AGİ’den 1721 AGİ’ye Taşınan Verilerin Düzeltilmesi



Şekil 4. (a) 1712 AGİ’den 1717 AGİ’ye taşınan verilerin düzeltilmesi, (b) 1712’den 1721 AGİ’ye taşınan verilerin düzeltilmesi grafikleri

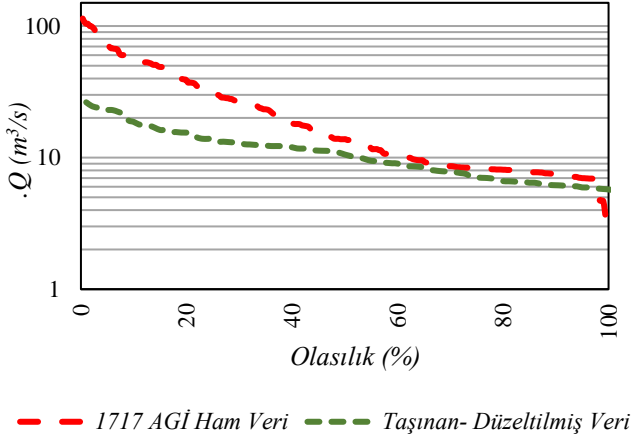
Şekil 4 göstermektedir ki 1712 AGİ’den 1717 AGİ ile 1721 AGİ’ye taşınan verilerin Yanlılık Düzeltmesi sonucunda elde edilen değerlerin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.  $\phi$  üstel ve K düzeltme katsayılarının Yanlılık Düzeltmesi sonucu ortalama değerlerin kullanılması sapmaları önemli ölçüde azaltmıştır [2]. 1712-1717 arası ile 1712-1721 arası mesafeler yakın olup düzeltme sonucu elde edilen değerler açısından bağıl hata yüzdeleri düşünüldüğünde 1712 AGİ’den 1721 AGİ’ye taşınan verilerin yaklaşık 1.64 hata oranında gerçek değerlere daha yakın sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5) [2, 4].

#### 4. Sonuç

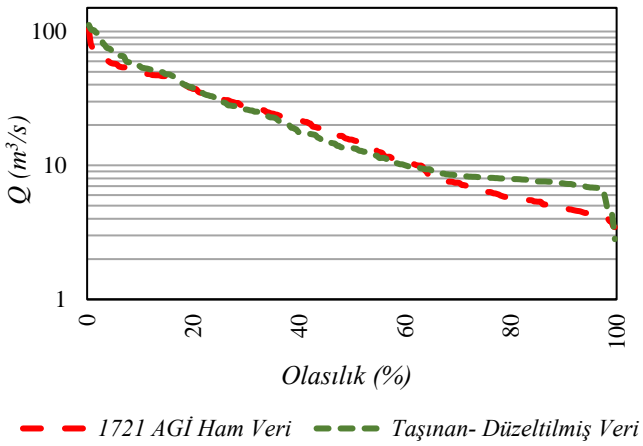
Bu çalışmada, Türkiye’nin önemli su potansiyeline sahip havzalarından biri olan Doğu Akdeniz Havzası’ndaki Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından işletilmiş olan 1712, 1717 ve 1721 nolu Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) gözlemlenmiş akım verileri kullanılarak 1987-2011 yılları arası 25 yıllık ortalama aylık akım verileri değerlendirilmiştir. 1712 nolu istasyonun verileri, birbirlerinden farklı mesafedeki 1717 ve 1721 nolu istasyonların bulunduğu konuma Drenaj Alan- Oran

(DAR) metodu ile taşınmıştır. Elde edilen değerler orijinal veriler ile karşılaştırılarak yöntemin doğruluğu kontrol edilmiştir.

(a) 1712-1717 Ham ve Düzeltilmiş Veri- Debi Süreklilik Eğrisi



(b) 1712-1721 Ham ve Düzeltilmiş Veri- Debi Süreklilik Eğrisi



Şekil 5. (a) 1712 AGİ'den 1717 AGİ'ye taşınan ve düzeltilmiş veri debi süreklilik eğrisi, (b) 1712'den 1721 AGİ'ye taşınan ve düzeltilmiş veri debi süreklilik eğrisi

Yanlılık Düzeltmesi (Bias Correction) uygulandığında taşınan verilerin gözlenen veriler ile ne oranda yakınsak olduğu üzerine incelemeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda düzeltmelerle birlikte elde edilen değerlerin gözlenmiş verilere daha yakın olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeninin metotta kullanılan  $\phi$  üstel ve K düzeltme katsayılarının sabit bir değer değil de ortalamalar üzerinde hesaplanması olarak belirtilebilir. İlerleyen zamanlarda drenaj havzalarının meteorolojik ve hidrolojik koşullarının da göz önüne alındığı farklı çalışmalarla akımların taşınmasında istasyonlar arasında mesafenin doğruluğu nasıl etkileyebileceği konusunda çalışmalar düşünülebilir. Su kaynaklarının doğru ve etkili yönetimi süreçleri ele alındığında doğruya yakın düzeltmelerle su yapılarının tasarım ve planlamalarına pozitif anlamda etkiler sağlayabileceği öngörülebilmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmayı hazırlarken, değerli yardımları için Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden Kutbettin ÖZCAN'a çok teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- [1] R. Bakış, ve S. Göncü, "Akarsu debi ölçümlerinde eksik verilerin tamamlanması: Zap Suyu Havzası Örneği" *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, vol. 16(1), pp. 63-79, 2015. doi: 10.18038/btd-a.45640
- [2] R. Bakış, F. Ç. Şirin, ve Y. Bayazıt, "Akım gözlem istasyonları için Alan- Oran metodunun doğruluğunun analizi" *İklim Değişikliği ve Çevre*, vol. 5(2), pp. 8-15, 2020.
- [3] K. Saplıoğlu, T. S. K. Öztürk, ve F. A. Şenel, "Eksik hidrolojik verilerin simbiyotik organizmalar arama algoritması ile tahmini" *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 6(1), pp. 93-104, 2020.
- [4] USGS Bureau of Reclamation, Evaluation of Drainage-Area Ratio Method Used to Estimate Streamflow for the Red River of the North Basin, North Dakota and Minnesota, 2005.
- [5] K. Ergen, ve E. Kentel, "An integrated map correlation method and multiple-source sites drainage-area ratio method for estimating streamflows at ungauged catchments: A case study of the Western Black Sea Region, Turkey" *Journal of Environmental Management*, vol. 166, pp. 309-320, 2016.
- [6] M. U. Yılmaz, ve B. Önöz, "Evaluation of statistical methods for estimating missing daily streamflow data" *Teknik Dergi*, vol. 30(6), pp. 9597-9620, 2019. <https://doi.org/10.18400/tekderg.421091>
- [7] M. U. Yılmaz, ve B. Önöz, "A comparative study of statistical methods for daily streamflow estimation at ungauged basins in Turkey" *Water MDPI*, vol. 12(2), 459, pp. 1-22, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12020459>
- [8] F. Saka, ve H. T. Babacan, "Discharge estimation by drainage area-ratio method at some specific discharges for 2251 stream gauging station in East Black Sea Basin, Turkey" *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, vol. 2(1), pp. 22-25, 2019.
- [9] Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), *Doğu Akdeniz Havzası Kuraklık Yönetim Planı*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [10] Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), *Akım Gözlem Yıllıkları*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2011.
- [11] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), *Resmi Su Kaynakları İstatistikleri*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 2019.



# Impacts of Sustainability on Supply Chain Management

Batin Latif Aylak\*

\* Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0067-1835), batin.latif@tau.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1075779)

**ATIF/REFERENCE:** Aylak, B. L. (2022). Impacts of Sustainability on Supply Chain Management. *European Journal of Science and Technology*, (34), 105-109.

## Abstract

Nowadays, environmental strategies are critical for improving organizational operations. Therefore, sustainable supply chain management plays a key role in supporting organizations improve their overall performance. This paper seeks to determine the level of correlation between sustainability practices and supply chain management within diverse organizational contexts. The research study was facilitated through a systematic review approach. It was based on a data pool consisting of 13 secondary sources that were obtained from online research databases such as Web of Science and Scopus. The sources were subsequently subjected to the exclusion and inclusion criteria. The results obtained indicated that sustainability practices can have a direct and statistically significant impact on organizational operations such as procurement, manufacturing, and logistics, which fall under supply chain management functions. However, it is unclear, whether sustainability practices impacts procurement or logistics processes more. The findings further implied that the implementation of sustainability practices at an organizational level can result in the establishment of novel linkages with partners in the supply chain. The linkages result from the necessity of forming relationships with additional suppliers to obtain relevant resources.

**Keywords:** Supply Chain Managemet, Sustainability, Logistics

## Sürdürülebilirliğin Tedarik Zinciri Yönetimi Üzerine Etkileri

### Öz

Günümüzde çevresel stratejiler, organizasyonel operasyonların iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi bu nedenle, kuruluşların genel performanslarını geliştirmelerine desteklemede kilit bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, çeşitli organizasyonel bağlamlarda sürdürülebilirlik uygulamaları ile tedarik zinciri yönetimi arasındaki korelasyon düzeyini belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma çalışması, sistematik bir inceleme yaklaşımıyla kolaylaştırılmıştır. Çalışma Web of Science ve Scopus gibi çevrimiçi araştırma veritabanlarından elde edilen 13 ikincil kaynaktan oluşan bir veri havuzuna dayanmaktadır. Bulunan kaynaklar daha sonra çıkartma ve dahil etme kriterlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilirlik uygulamalarının tedarik zinciri yönetimi fonksiyonlarına giren tedarik, üretim ve lojistik gibi organizasyonel operasyonlar üzerinde istatistiksel olarak önemli ve doğrudan bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Ancak, sürdürülebilirlik uygulamalarının etkisinin tedarik ve lojistik süreçleri arasında en yüksek olduğu yer net değildir. Çalışmanın bulguları ayrıca, sürdürülebilirlik uygulamalarının kurumsal düzeyde uygulanmasının tedarik zincirindeki ortaklarla yeni bağlantıların kurulmasıyla sonuçlanabileceğini göstermiştir. Bu bağlantılar ilgili kaynakları elde etmek için ek tedarikçilerle ilişkiler kurma gerekliliğinden kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tedarik Zinciri Yönetimi, Sürdürülebilirlik, Lojistik

\* Corresponding Author: [batin.latif@tau.edu.tr](mailto:batin.latif@tau.edu.tr)

## 1. Introduction

Sustainability practices are increasingly being incorporated into supply chain management within various organizations worldwide. There is extensive public discourse on the most appropriate definition of sustainability [1]. However, most of the definitions are based on ethical, economic, and social perspectives [2]. To get an outlook of what sustainability entails, it is vital to focus on its main processes, which comprise of economic, human, social, and environmental sustainability. Human sustainability is the act of undertaking health, education, and wellbeing-based investments to achieve an all-inclusive sustainability whereby all individuals within a particular social context have sufficient levels of development that can positively affect their behavioral pattern [3]. Conversely, economic sustainability refers to the processes that ensure organizational processes focus on both achieving higher returns on investments and reflecting development in all the aspects of the operation [4].

By contrast, environmental sustainability entails ideologies that focus on aligning green reasoning and raw materials procurement [3]. This alignment is vital in product manufacturing to deliver it to the end-user in a manner that achieves a competitive advantage [5]. Within the previous decade, research studies in the field of supply chain management have veered towards environmental awareness [6]. The trend resulted from the effect of international climate agreements on supply chains within organizations. Social sustainability refers to the procedure of facilitating trade-offs within the supply chain between economic objectives and social responsibilities, to consequently enhance shared value [7]. Business establishments should focus on achieving social sustainability through evaluation of their effect on society and overall performance [8].

One of the advantages to be gained from the incorporation of sustainability practices in supply chain management is the formation of novel collaborations and partnerships [9]. The collaboration with new suppliers is based on sustainable evaluation and selection processes [10]. Additionally, organizational financial gains are achievable upon implementation of sustainable practices. For instance, Nike managed to reduce its labor and material expenses by 50% and 20%, respectively, when they applied sustainability practices in their manufacturing processes [11]. Besides, sustainability is fundamental in minimizing the risks of reputational damage [12]. As environmental awareness is increasingly being incorporated into society, more individuals require organizations to be held accountable for their impact on the environment. Effective corporate social responsibility can earn an organization a positive

reputation. The purpose of the research is to determine the impact of sustainability on supply chain management.

## 2. Materials and Methods

The study was facilitated through the systematic review approach. This method of research was utilized to provide the convenience of readily available secondary data while eliminating the both inconvenience and time required to effectively conduct a primary research study.

The secondary data employed in the research study was obtained from online-based research databases like Web of Science and Scopus. Searching strategies like wildcard, truncation, Boolean, and TiAb keywords were utilized to obtain the necessary secondary sources. Under the wildcard searching strategy, both the question mark and pound sign options were utilized. In the truncation phase of the search strategy, only the asterisks were applied. Conversely, in the Boolean searching strategy all the AND, NOT, and OR operators were utilized to obtain data that was narrow and broad at the same time.

*Table 1. Search Terms*

	AND	AND	AND
OR	<i>Sustainability</i>	<i>Green supply chain management</i>	<i>Sustainable supply chain management</i>
OR	<i>Logistics</i>	<i>Manufacturing</i>	<i>Procurement</i>
OR	<i>Delivery</i>	<i>Production</i>	<i>Sourcing</i>

Finally, the TiAb keyword searching strategy was focused on the title and abstract section of the secondary sources to obtain articles based on keywords such as sustainability and supply chain management.

After the search strategy phase of the study had been completed, 50 potential sources were identified. Next, exclusion and inclusion criteria were applied to obtain secondary data that was highly relevant to the research study. An article was excluded if it was published in a language other than English, or only had the abstract section available for review (i.e., not fully available). All secondary data that was either published within the five preceding years in peer-reviewed journals and that were based on in-depth, sufficient, and detailed research were included in the data pool of the study. Upon completion of the exclusion and inclusion criteria, the data pool of the research study had a total of 13 secondary sources.

Table 2. Selected Papers

	Author	Year	Combination of search terms	Results
1	Neutzling et al.	2017	Sustainable supply chain management and Suppliers	Incorporation of sustainability in a supply chain leads to formation of new relationships
2	Trivellas et al.	2020	Green supply chain management and Logistics	Sustainability's impact is highest in logistics.
3	Taghikhah et al.	2019	Sustainable supply chain management	Sustainability's impact is highest in logistics.
4	Laari et al.	2018	Green supply chain management	Sustainability has a minimal effect on financial position
5	Katiyar et al.	2018	Sustainability and Manufacturing	Sustainability's impact is highest in procurement

### 3. Results and Discussion

The incorporation of sustainability practices in supply chain management leads to the need to create and develop novel inter-organizational relationships with suppliers [13]. Thus, sustainability practices within an organization have a direct and statistically significant impact on linkages within supply chain management. The correlation between sustainability practices and linkages within supply chain management is evident in a research study conducted in Brazil [14]. The study involved Braskem, an organization which is among the highest producers of green polyethylene in South America [15]. Green polyethylene can be understood as a bioplastic that is derived from ethanol, which is extracted from plants [16]. Hence, green polyethylene is highly sustainable, which was the motivating factor behind its production within the organization as they had an organizational objective of integrating sustainability in their operations. The direct and statistically significant relationship between sustainability practices and novel suppliers was motivated by the fact that the operations involved mostly required the development of a business line that is different from the core business. Table 1 illustrates search terms. Table 2 shows selected papers regarding the research topic.

The integration of sustainability practices in supply chain management can additionally result in the necessity of altering organizational operations to meet and satisfy the prevailing requirements and scarcities [17]. For instance, a research study conducted within an automobile company in India determined

that sustainability practices can have a positive and direct correlation with the performance levels of supply chain management functions like procurement, manufacturing, and logistics [18]. The correlation between sustainability practices and the supply chain management functions was, however, unequal across these three aspects. Evidence suggests that the relationship between the two variables was strongest from the perspective of procurement or sourcing for raw materials and services [16]. In the supply chain, sustainability practices had an immediate impact on procurement, followed by logistics, then manufacturing. The results obtained in this research study have been further supported by studies conducted in countries such as Iran, China, and the US. The pie chart illustrated in Figure 1 indicates the impact of sustainability practices on procurement, manufacturing, and logistics in the automotive industry.

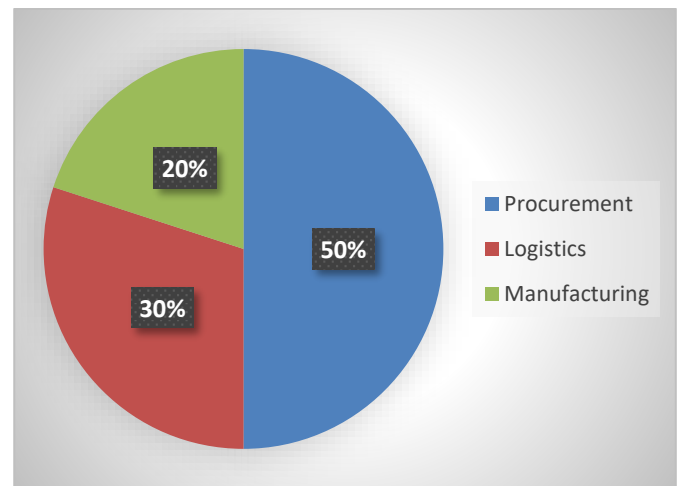


Figure 1. The percentage impact of sustainability practices in the automotive industry

However, a different study determined that the impact of sustainability practices was usually experienced at the highest levels within the logistics phase of the supply chain management. Figure 2 illustrates a hypothesized model that links the relationship between green logistics practices and supply chain performance [17].

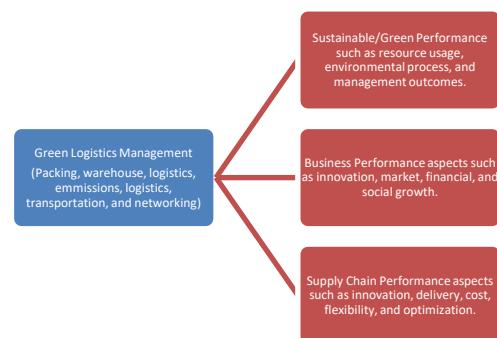


Figure 2: Hypothesized model that links the relationship between green logistics practices and supply chain performance

The research study stated that logistics is a fundamental step in supply chain management from the environmental and social sustainability perspective [3]. The study further focused on three major processes within logistics: network designing, transporting and distributing. According to the researchers, the reason behind this approach was that these logistical processes have the most significant impact on ecological and social sustainability. In the findings of the research, the researchers state that sustainability practices such as reduced carbon emissions, minimized energy consumption, enhanced societal welfare, optimal labor conditions, and ethical conduct have the highest effect on supply chain management functions.

Application of sustainability practices within supply chain management functions might not lead to significant financial gains. Therefore, there is no direct or positive correlation between profitability and sustainability practices in the short term at an organizational level. Evidence to support this claim was obtained in research facilitated within Finland involving business establishments that are specialized in the provision of logistical services [19]. Based on the theory that this step is the most significant in enhancing environmental sustainability within the supply chain, the researchers studied the logistics phase of supply chain management. In the research study, the researchers determined that organizations that had incorporated sustainability practices in their supply chain might not experience any considerable financial returns. The observation resulted from a lack of both knowledge within the logistics departments and strategies to convert environmental management into a competitive advantage. The researchers additionally noted that organizations that had a higher competitive advantage were more likely to implement various sustainability practices compared to other organizations that lacked a similar advantage [20].

The results obtained in this study from the perspective correlating sustainability and suppliers within the supply chain management could have been motivated by multiple factors. For example, integration of novel sustainability practices requires intensive and extensive sourcing for new raw materials. Further, it is necessary to procure novel services and equipment for sustainability practices to be successfully implemented. Sourcing for novel raw materials, services, and equipment requires organizations to establish different connections with suppliers of these particular resources.

Additionally, the findings obtained in the systematic review from the perspective relating sustainability with organizational operations in the supply chain could have occurred due to various reasons. For example, implementing new sustainability practices generally require logistical support and manufacturing of products that enhance sustainability objectives at an organizational level. The prevailing logistical support and manufacturing processes within a company might not be aligned with the intended sustainability goals. Consequently, novel procedures might be necessary since sustainability is a relatively new practice in supply chain management.

Moreover, the results obtained in the study from the perspective of the correlation between sustainability and financial outcome within supply chain management occur because of multiple factors. However, the most significant motivating factor is that the field of sustainable supply chain management is still relatively understudied.

There is a scarcity of data and information on how sustainability can be utilized to achieve sufficient profitability. This is the major reason behind companies lacking the necessary knowledge and strategies to achieve positive financial outcomes from sustainability practices.

## **4. Conclusions and Recommendations**

Overall, it can be determined that sustainability practices have a positive and statistically significant impact on novel suppliers at an organizational level. The higher the intensity of integration of sustainability in supply chain management, the higher the probability of novel suppliers being sourced. Additionally, there is sufficient evidence to show that sustainability practices can lead to a direct effect on organizational operations in the supply chain such as procurement, logistics, and manufacturing. However, it is unclear whether sustainability practices impact procurement or logistics processes more. Finally, statistical data indicated that organizations have yet to develop strategies that can turn sustainability practices into profitable business ventures.

The research was limited in that it was entirely based on secondary sources, as it was a systematic review. The ability to verify the data utilized to facilitate the research study was therefore limited to a significant capacity. This implies there is a probability of researcher bias in the data utilized in this study. Further, the research was limited by the fact that a major portion of the data obtained for the study was collected and published a period preceding the five previous decades. Hence, a lot of it was outdated as the prevailing factors in supply chain management have changed since the field is highly dynamic. This fact further limited the pool of the available and usable data.

Based on the noted limitations, future studies focusing on this particular field should focus on individual sustainability practices like social or environmental sustainability. Previous studies have generally focussed on the entire field of sustainability practices within supply chain management, which undermines the depth and specialization of the acquired findings. Moreover, most of the previous research studies have been facilitated within one geographical area. Due to this, the sufficiency and depth of the research studies are considerably limited, which implies that future research should focus on being multi-centered.

## References

- [1] Zapata, W. Alfredo, and S. Milena Ortiz-Muñoz. "Analysis of meanings of the concept of sustainability," *Sustainable Development*, vol. 27(1), pp. 153-161, 2019.
- [2] L. González, A. Jesús Ángel Coronado Martín, A. C. Vaca-Tapia, and F. Rivas. "How Sustainability Is Defined: An Analysis of 100 Theoretical Approximations," *Mathematics*, vol. 9(11), pp. 1308, 2021.
- [3] T. Firouzeh, A. Voinov, and N. Shukla. "Extending the supply chain to address sustainability," *Journal of cleaner production*, vol. 229, pp. 652-666, 2019.
- [4] What Are the 4 Types of Sustainability? Action for Earth website [Online]. Available: <https://www.actionearth.org/what-are-the-4-types-of-sustainability/?v=7516fd43adaa>, 2021.
- [5] W. Kersten, T. Blecker, and C. M. Ringle, *Data Science and Innovation in Supply Chain Management: How Data Transforms the Value Chain*, pp. 1-276, 2020.
- [6] P. Centobelli, R. Cerchione, and E. Esposito. "Environmental sustainability and energy-efficient supply chain management: A review of research trends and proposed guidelines," *Energies*, vol. 11(2), pp. 275, 2018.
- [7] B. Sezen, and S. Y. Çankaya. "Effects of green supply chain management practices on sustainability performance," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 30(1), pp. 98-121, 2019.
- [8] M. D'Eusano, A. Zamagni, and L. Petti. "Social sustainability and supply chain management: Methods and tools," *Journal of cleaner production*, vol. 235, pp. 178-189, 2019.
- [9] W. Brooke. *Sustainable Logistics & Supply Chain Management: Challenges & Future Outlook*. [Online]. Available: <https://minds.wisconsin.edu/bitstream/handle/1793/78885/Curioso,%20Gary.pdf?sequence=1>, 2018.
- [10] H. Ahmadi, H. Lo, H. Gupta, S. Kusi-Sarpong, and J. Liou. "An integrated model for selecting suppliers on the basis of sustainability innovation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, pp. 123261, 2020.
- [11] M. Nutburn, Five benefits of a sustainable supply chain. CIPS [Online]. Available: <https://www.cips.org/supply-management/opinion/2019/july/five-benefits-of-a-sustainable-supply-chain/>, 2019
- [12] M. Irfan, M. Hassan, and N. Hassan. "Unravelling the fuzzy effect of economic, social and environmental sustainability on the corporate reputation of public-sector organizations: A case study of Pakistan," *Sustainability*, vol. 10(3), pp. 769, 2018.
- [13] L. A. Fish, C. Bratt, R. Sroufe, and G. Broman. (2017) *Implementing Strategic Sustainable Supply Chain Management* [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1584456/FULLTEXT01.pdf>
- [14] D. M. Neutzling, A. Land, S. Seuring, and L. F. Machado do Nascimento. "Linking sustainability-oriented innovation to supply chain relationship integration," *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 3448-3458, 2018.
- [15] J. F. P. Santos, K. D. Macario, R. M. Jou, F. M. Oliveira, R. P. Cardoso, M. Diaz, R. M. Anjos, and E. Q. Alves. "Monitoring the biogenic fraction of sugarcane-based plastic bags," *Journal of cleaner production*, vol. 233, pp. 348-352, 2019.
- [16] P. Trivellas, G. Malindretos, and P. Reklitis, *Implications of Green Logistics Management on Sustainable Business and Supply Chain Performance: Evidence from a Survey in the Greek Agri-Food Sector*, 2020 [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su122410515>
- [17] S. D. Allen, Q. Zhu, and J. Sarkis. *Expanding conceptual boundaries of the sustainable supply chain management and circular economy nexus*, 2021 [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100011>
- [18] R. Katiyar, L. M. Purushottam, M. K. Barua, R. Tibrewala, and G. Kumar. "Impact of sustainability and manufacturing practices on supply chain performance: Findings from an emerging economy," *International Journal of Production Economics*, vol. 197, pp. 303-316, 2018.
- [19] S. Laari, J. Töyli, and L. Ojala. "The effect of a competitive strategy and green supply chain management on the financial and environmental performance of logistics service providers," *Business Strategy and the Environment*, vol. 27(7), pp. 872-883, 2018.
- [20] O. M. Hamdy, K. K. Elsayed, and B. Elahmady. "Impact of Sustainable Supply Chain Management Practices on Egyptian Companies' Performance," *European Journal of Sustainable Development*, vol. 7(4), pp. 119-130, 2018.



# Weak stability of $\varepsilon$ -isometry Mapping on Real Banach Spaces

Minanur Rohman<sup>1\*</sup>, İlker Eryılmaz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Ondokuz Mayıs University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0941-3787), [minanurrohmanali@gmail.com](mailto:minanurrohmanali@gmail.com)

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3590-892X), [rylmz@omu.edu.tr](mailto:rylmz@omu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1076318)

**ATIF/REFERENCE:** Rohman, M. & Eryılmaz, İ. (2022). Weak stability of  $\varepsilon$ -isometry Mapping on Real Banach Spaces. *European Journal of Science and Technology*, (34), 110-114.

## Abstract

The stability of standard  $\varepsilon$ -isometry mapping in real Banach spaces<sup>1</sup> cannot be determined without using the assumption of surjectivity. However, this mapping remains weakly stable under weak topology. Using this weak stability, there is a bounded linear left-inverse for non-surjective  $\varepsilon$ -isometry.

**Keywords:**  $\varepsilon$ -isometry, Banach space, stability, weak topology, bounded linear left-inverse.

## Gerçel Banach Uzaylarındaki $\varepsilon$ -izometrinin Zayıf Kararlılığı

### Öz

Gerçel Banach uzaylarındaki standart  $\varepsilon$ -izometrinin kararlılığı, örtenliği varsayımı kullanılmadan belirlenemez. Bununla birlikte, bu dönüşüm, zayıf topoloji altında zayıf bir şekilde kararlı kalır. Bu zayıf kararlılığı kullanarak, örten olmayan  $\varepsilon$ -izometrisi için sınırlı bir lineer sol-ters vardır.

**Anahtar Kelimeler:**  $\varepsilon$ -izometri, Banach uzayı, kararlılık, zayıf topoloji, sınırlı bir lineer sol-ters.

\* Corresponding Author: [minanurrohmanali@gmail.com](mailto:minanurrohmanali@gmail.com)



### 1. Introduction

Research related to  $\varepsilon$ -isometry mappings emerged after Mazur and Ulam [14] showed that all isometry mappings are affine. Recall that a function is said to be affine if the function is a translation of a linear mapping. In other words, an isometry mapping  $U : X \rightarrow Y$  is linear if and only if  $U(0) = 0$ . Therefore, the concept of an  $\varepsilon$ -isometry mapping  $f : X \rightarrow Y$  emerged which is defined as

$$\|f(x) - f(y) - \|x - y\|\| \leq \varepsilon \tag{0.1}$$

for  $\varepsilon \geq 0$ . If  $\varepsilon = 0$ , then  $f$  is nothing but an isometry mapping.  $f$  is said to be standard if  $f(0) = 0$ . Assuming  $y = 0$  in (1.1), then the above condition raises the question, "Is there any isometry mapping  $U : X \rightarrow Y$  for each given  $\varepsilon$ -isometry mapping  $f : X \rightarrow Y$  such that

$$\|f(x) - U(x)\| \leq \gamma\varepsilon \tag{0.2}$$

for some  $\gamma > 0$ ?

On the other hand, Figiel [9] shows that for any isometry mapping  $U$ , there exists a bounded linear operator  $T : \overline{span}U(X) \rightarrow X$  such that  $F \circ U = Id_X$ . With Figiel's findings, the second question arises, "If given an  $\varepsilon$ -isometry mapping  $f : X \rightarrow Y$ , does there exist bounded linear operators  $F : \overline{span}f(X) \rightarrow X$  such that

$$\|Ff(x) - x\| \leq \beta\varepsilon \tag{0.3}$$

for some  $\beta > 0$ ?

The two issues in (1.1) and (1.2) are mainstream research topics related to  $\varepsilon$ -isometry mapping.

For the first problem, Hyers and Ulam [12] first showed that for any  $\varepsilon$ -isometry mapping  $f : X \rightarrow Y$  with  $f(0) = 0$ , there is an isometry mapping  $U : X \rightarrow Y$  satisfied (1.2) with  $\gamma = 10$  for all  $x \in X$ , where  $X$  and  $Y$  are Euclidean spaces. Later Bourgin [2] showed that  $\gamma = 12$  where  $X = Y = L_p(0,1)$ ,  $1 < p < \infty$ . Gruber [11] first generalized to any real Banach spaces and Gevirtz [10] found  $\gamma = 5$  that which is reduced by Omladić and Šemrl [17] to  $\gamma = 2$ . In this first case, the surjectivity assumption cannot be removed.

There are two branches of research for non-surjective  $\varepsilon$ -isometry cases, namely using the near (almost) surjective concept and Figiel's theorem.

Let  $Y_1 \subset Y$  is a closed subspace. A mapping  $f : X \rightarrow Y$  is said to be *near surjective* if  $\forall y \in Y_1$  there exists  $x \in X$  such that  $\|f(x) - y\| \leq \delta$  and  $\forall u \in X$  there exists  $v \in Y_1$  such that  $\|f(u) - v\| \leq \delta$  [22]. Dilworth [6] showed that for every  $\delta$ -surjective  $\varepsilon$ -isometry mapping  $f : X \rightarrow Y$  with  $f(0) = 0$ , where  $X$  and  $Y$  are Banach spaces, there exists an isometric mapping  $U : X \rightarrow Y$  such that  $\|f(x) - U(x)\| \leq 12\varepsilon + 5\delta$ . Then Tabor [23] changed this value to  $2\varepsilon + 35\delta$  and reduced by Šemrl and Väisälä [22] to  $2\varepsilon + 2\delta$ . Note that by the definition, a mapping

$f : X \rightarrow Y$  is said to be near surjective if  $\sup_{y \in Y} dist(y, f(X)) < \infty$ .

Vestfrid [24] showed that the result remains true if the condition of near-surjectivity is relaxed to be

$$\sup_{y \in Y} \liminf_{|t| \rightarrow \infty} dist(ty, f(X)) / |t| < \frac{1}{2}$$

Furthermore, Qian [19] used Figiel theorem to found out the value of  $\beta$  in (1.3). With a counterexample, he showed that the Figiel theorem does not apply in general to  $\varepsilon$ -isometric mapping. However if  $X = Y = L_p$  where  $1 < p < \infty$ , then for every  $\varepsilon$ -isometry mapping  $f : X \rightarrow Y$  there exists a bounded linear operator  $F : \overline{span}f(X) \rightarrow X$  with  $\|F\| = 1$  such that  $\|Ff(x) - x\| \leq 6\varepsilon$ . Furthermore, Šemrl and Väisälä [22] showed that if  $X$  is a Banach space and  $Y$  is a Hilbert space, then the value of  $\beta$  can be reduced to 2.

From the brief explanation above, it can be seen that research related to  $\varepsilon$ -isometry is still wide open for non-surjective cases. Recall that the non-surjective condition fails in norm topology. Therefore, we will discuss  $\varepsilon$ -isometry mapping using a weak topology concept.

### 2. Material and Method

With the description in the introduction, it can be seen that this research is qualitative with grounded theory method. Books [15] and [8] provide advanced concepts of weak (weak\*) topology, Gateaux, and Frechet derivatives while [16] and [21] provide a basic overview of the last two concepts.

If not specifically stated, then  $X$  and  $Y$  are real Banach spaces.  $B_x(S_x)$  is used to denote the unit ball (sphere, resp.) of  $X$ ,  $exp(A)$  ( $\overline{co}(A)$ ) is a set of all exposed points (a closed convex hull, resp.) of  $A \subset X$ . The authors use the concepts of weak and weak\* topology along with symbols that are commonly used.

### 3. Results and Discussion

As mentioned earlier, non-surjective  $\varepsilon$ -isometry mapping does not generally apply to any Banach spaces. Therefore, this section will discuss the weaker stability version of an  $\varepsilon$ -isometry mapping.

**Theorem 3.1.** *Suppose  $f : X \rightarrow Y$  is a standard  $\varepsilon$ -isometry, then for any  $x^* \in X^*$ , there exists  $\varphi \in Y^*$  that satisfies  $\|\varphi\| = \|x^*\| = r$  such that*

$$\left| \langle \varphi, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle \right| \leq \kappa \varepsilon r, \forall x \in X \tag{3.1}$$

Using the Hanh-Banach Theorem, do not eliminate generality by assuming  $r = 1$ . Cheng, et. al. [5] showed that  $\kappa = 4$  in (3.1) and further can be reduced to be 3 (see. [3]). Rohman, et. al [2] showed that the weak stability version remains true under Vestfrid condition [24]. The two following lemmas are crucial for the proof of Theorem 3.1.

**Lemma 3.2** ([4], Lemma 2.1.) *Let  $Y$  be the Banach space,  $g: \mathbb{R} \rightarrow Y$  be the standard  $\varepsilon$ -isometric and  $\mathfrak{U}$  be the free ultrafilter on  $\mathbb{N}$ . For any  $n \in \square$ , let  $\varphi_n \in S_{Y^*}$  satisfies*

$$\langle \varphi_n, g(n) - g(-n) \rangle = \|g(n) - g(-n)\|$$

If  $\varphi = w^* - \lim_{\mathfrak{U}} \varphi_n$ , then

$$|\langle \varphi, g(t) \rangle - t| \leq 3\varepsilon.$$

**Lemma 3.3.** ([4], Lemma 2.2) *Let  $f: X \rightarrow Y$  be a standard  $\varepsilon$ -isometry,  $z \in S_X$  be the Gateaux differentiable point of  $X$  and recall that its Gateaux derivative is  $d\|z\| = x^*$ , then there exists  $\varphi \in S_{Y^*}$  such that*

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon, \quad \forall x \in X$$

*Proof of Theorem 3.1 for  $\kappa = 3$ .*

Let  $f: X \rightarrow Y$  be a standard  $\varepsilon$ -isometry. We denote  $\mathfrak{F}$  be a family of all finite-dimensional subspaces of  $X$ . Then for any  $F \in \mathfrak{F}$ ,  $f_F: F \rightarrow Y$  ( $f$  is restricted to  $F$ ) is still a standard  $\varepsilon$ -isometry. Since  $F$  is a Gateaux differentiability space ([18], Proposition 6.5), according to ([18], Proposition 6.9. and Theorem 6.2), the unit ball  $B_{F^*}$  of  $F^* = X^*/F^\perp$  is  $w^*$ -closed convex hull of its  $w^*$ -exposed point, that is by the definition of GDS, the convex hull of  $w^*$ -exposed point of  $B_{F^*}$  ( $w^*\text{-exp}(B_{F^*})$ ) is  $w^*$ -dense in  $B_{F^*}$  (since  $F$  is a finite-dimensional space, it is dense in the sense of norm topology). For any  $x_F^* \in w^*\text{-exp}(B_{F^*})$ , from ([18], Proposition 6.9.), we know that there is  $z \in S_F$  such that  $d\|z\|_F = x_F^*$ . By Lemma 3.3, we know that there is  $\varphi_F = \varphi \in S_{Y^*}$  such that

$$|\langle \varphi_F, f(x) \rangle - \langle x_F^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon, \quad \forall x \in F \tag{3.2}$$

For any  $z^* \in S_{F^*}$ , from ([18], Theorem 6.2.), there is a family of subsets  $\{F_\alpha: \alpha \in I\}$  (where  $F_\alpha \subset \mathbb{N}$  is a finite subset),  $(x_{\alpha,n}^*)_{n \in F_\alpha} \subset w^*\text{-exp}(B_{F^*})$ ,  $(\lambda_{\alpha,n})_{n \in F_\alpha} \subset \square^+$  satisfies  $\sum_{n \in F_\alpha} \lambda_{\alpha,n} = 1$  such that

$$\begin{aligned} w^* - \lim_{\alpha} z_\alpha^* &= z^*, \\ z_\alpha^* &\equiv \sum_{n \in F_\alpha} \lambda_{\alpha,n} x_{\alpha,n}^*, \text{ for } \alpha \in I \end{aligned} \tag{3.3}$$

From (3.2) we get

$$|\langle \varphi_\alpha, f(x) \rangle - \langle z_\alpha^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon, \quad \forall x \in F \quad \alpha \in I \tag{3.4}$$

where  $\varphi_\alpha = \sum_{n \in F_\alpha} \lambda_{\alpha,n} \varphi_{\alpha,n}$ , and  $\varphi_{\alpha,n}$  satisfies

$$|\langle \varphi_{\alpha,n}, f(x) \rangle - \langle x_{\alpha,n}^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon, \quad \forall x \in F \tag{3.5}$$

For (3.3) both ends of the  $w^*$ - limit are respectively taken to obtain  $\varphi \in B_{Y^*}$  such that

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle z^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon, \quad \forall x \in F \tag{3.6}$$

Take  $u \in S_F$  such that  $\langle z^*, u \rangle = 1$ , substitute  $x = nu$  into the above inequality and divide by  $n$ , and then set  $n \rightarrow \infty$  we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\langle \varphi, \frac{f(nu)}{n} \right\rangle = \langle z^*, u \rangle = 1$$

This shows that  $\|\varphi\| \geq 1$ . Furthermore,  $\|\varphi\| = 1$ . In this way, we have proved that for any  $z^* \in S_{F^*}$ , there exists  $\varphi \in S_{Y^*}$  such that (3.1) is true. By the absolute homogeneity of this inequality, it is obtained that for any  $z^* \in F^*$ , there exists  $\varphi \in Y^*$  that satisfies  $\|\varphi\| = \|z^*\| = r$ , such that

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle z^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon r, \quad \forall x \in F \tag{3.7}$$

The following proves that for any norm attaining functional  $x^* \in X^*$ , there exists  $\varphi \in Y^*$  that satisfies  $\|\varphi\| = \|x^*\| = r$ , such that

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon r, \quad \forall x \in X \tag{3.8}$$

Let  $x_0 \in S_X$  such that  $\langle x^*, x_0 \rangle = \|x^*\| = r$ . We denote the set of all finite-dimensional subspaces containing  $x_0$  as  $\mathfrak{F}_0$ , then for any  $F \in \mathfrak{F}_0$  there is  $\varphi_F \in rS_{Y^*}$  such that

$$|\langle \varphi_F, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle| \leq 3\varepsilon r, \quad \forall x \in F \tag{3.9}$$

We denote the set of all  $\varphi_F$  satisfying (3.9) and  $\|\varphi_F\| = \|x^*\| = r$  as  $K_F$  for the above  $x^*$ . It is not difficult to verify,  $\forall F \in \mathfrak{F}_0$ ,  $K_F$  is a non-empty  $w^*$ -compact convex subset in  $rS_{Y^*}$ . Let  $\mathfrak{K} = \{K_F: F \in \mathfrak{F}_0\}$ , then this is a collection of closed  $w^*$ -compact convex subset.  $\forall E, F \in \mathfrak{F}_0$ ,

$$\emptyset \neq K_G \subset K_E \cap K_F$$

where  $G = \text{span}(E \cup F)$ .

This shows that  $\mathfrak{K}$  has a finite intersection property, and then

$$K_0 \equiv \bigcap \{K_F : F \in F_0\} \neq \emptyset$$

If  $\varphi \in K_0$  is chosen, it is easy to show that  $\varphi \in rS_{Y^*}$  and gives

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle| \leq 3\epsilon r, \quad \forall x \in X$$

Finally, we will prove that for any  $x^* \in X^*$ , there exists  $\varphi \in Y^*$  that satisfies  $\|\varphi\| = \|x^*\| = r$ , such that

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle| \leq 3\epsilon r, \quad \forall x \in X$$

In fact, according to the Bishop-Phelps theorem that every Banach space is subreflexive [26], according to ([15], Theorem 2.11.13 and [8], Theorem 7.41) there exists a sequence of norm-attaining functional  $(x_n^*) \subset rS_{X^*}$  such that  $x_n^* \rightarrow x^*$ ,  $x^* \in rS_{X^*}$ . Let  $\varphi_n \in rS_{Y^*}$  such that

$$|\langle \varphi_n, f(x) \rangle - \langle x_n^*, x \rangle| \leq 3\epsilon r, \quad \forall x \in X$$

then for any  $(\varphi_n)$  there exists  $w^*$ -convergence point  $\varphi$  such that  $\|\varphi\| \leq r$ , and

$$|\langle \varphi, f(x) \rangle - \langle x^*, x \rangle| \leq 3\epsilon r, \quad \forall x \in X$$

by the above inequality, we get  $\|\varphi\| \geq r$ . Therefore, the theorem is proved. ■

By using Theorem 3.1. for  $\kappa = 4$ , Cheng, et. al. [5] gave the generalization of Figiel's Theorem from isometry to  $\epsilon$ -isometry for specific spaces.

**Theorem 3.4.** Let  $f : X \rightarrow Y$  be a standard  $\epsilon$ -isometry and  $E \subset Y$  be the annihilator of  $F \subset Y^*$  consisting of all bounded functional on  $\overline{\text{co}}(f(x), -f(x))$ . If  $E$  is  $\alpha$ -complemented in  $Y$ , then there is a bounded linear operator with  $\|T\| \leq \alpha$  such that

$$\|Tf(x) - x\| \leq \beta\epsilon, \quad \forall x \in X \tag{3.10}$$

If  $X$  and  $Y$  are Banach spaces with  $Y$  reflexive, then  $\beta = 4$  in (3.10). If  $Y = \overline{\text{co}}(f(x), -f(x))$  or  $Y$  is reflexive, Gateaux smooth and strictly convex Banach space with Kadec-Klee property, then  $\beta = 2$ .

## 4. Conclusions and Recommendations

When we cannot know the stability of non-surjective  $\epsilon$ -isometry mappings on real Banach spaces under norm topology, such mappings remain stable under weak topology. Besides the result still supports Figiel theorem for such mapping.

## 5. Acknowledge

The authors thank to OMU Functional Analysis and Function Theory Research Group (OFAFTReG) for beautiful discussions in this study. The authors also thank to the reviewers for their comments and suggestions in this article.

## References

- [1] Benyamini, Y., & Lindenstrauss, J. (2000). *Geometric nonlinear Functional Analysis I*. Colloquium publications. vol. 48. American Mathematical Society.
- [2] Bourgin, D. G. (1946). Approximate isometries. *Bull. Amer. Math. Soc.*, 52(8), 704-714. <https://doi.org/10.1090/S0002-9904-1946-08638-3>
- [3] Cheng, L., & Dong, Y. (2020). Corrigendum to ‘A universal theorem for stability of  $\epsilon$ -isometries of Banach spaces’, *Jour. Func. Anal.*, 269(1), 199-214, 2015. *Jour. Func. Anal.*, 279, 108518. <https://doi.org/10.1016/j.jfa.2020.108518>
- [4] Cheng, L., & Dong, Y. (2020). A note on the stability of nonsurjective  $\epsilon$ -isometries of Banach spaces, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 148, 4837-4844. <https://doi.org/10.1090/proc/15110>
- [5] Cheng, L., Dong, Y., & Zhang, W. (2013). On stability of nonlinear non-surjective  $\epsilon$ -isometries of Banach spaces. *Jour. Func. Anal.*, 264(3), 713-734. <https://doi.org/10.1016/j.jfa.2012.11.008>
- [6] Dilworth, S. J. (1999). Approximate isometries on finite-dimensional normed spaces. *Bull. Lond. Math. Soc.*, 31(4), 471-476, 1999. <https://doi.org/10.1112/S0024609398005591>
- [7] Dutrieux, Y., & Lancien, G. (2008). Isometric embeddings of compact spaces into Banach spaces. *Jour. Func. Anal.*, 255(2), 494-501. <https://doi.org/10.1016/j.jfa.2008.04.002>
- [8] Fabian, M., Habala, P., Hájek, P., Montesinos, V., & Zizler, V. (2010). *Banach Space Theory : The Basis for Linear and Nonlinear Analysis*. Springer.
- [9] Figiel, T. (1968). On nonlinear isometric embedding of normed linear space. *Bull. Acad. Polon. Sci. Ser. Sci. Math. Astronom. Phys.*, 16, 185-188.
- [10] Gevirtz, J. (1983). Stability of isometries on Banach spaces. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 89(4), 633-636. <https://doi.org/10.2307/2044596>
- [11] Gruber, P. M. (1978). Stability of isometries. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 245, 263-277. <https://doi.org/10.1090/S0002-9947-1978-0511409-2>

- [12] Hyers, D. H., & Ulam, S. M. (1945). On approximate isometries. *Bull. Amer. Math. Soc.*, 51(4), 288-292.  
<https://doi.org/10.1090/S0002-9904-1945-08337-2>
- [13] Larman, D.G., & Phelps, R. R. (1979). Gateaux differentiability of convex functions on Banach spaces. *Jour. Lond. Math. Soc.*, S2-20, 115-127.  
<https://doi.org/10.1112/jlms/s2-20.1.115>
- [14] Mazur, S. & Ulam, S. (1932) Sur les transformations isométriques d'espaces vectoriels normés. *C R Acad. Sci. Paris.*, 194, 946-948.
- [15] Megginson, R. E. (1991). *An Introduction to Banach Space Theory*. Springer.
- [16] Mukherjea, K. (2007). *Differential Calculus in Normed Linear Spaces* (2nd ed.). Hindustan Book Agency.
- [17] Omladić, M. & Šemrl, P. (1995). On Nonlinear Perturbation of Isometries. *Math. Ann.*, 303, 617-628.
- [18] Phelps, R. R. (1993) *Convex Functions, Monotone Operators, and Differentiability, Lecture Note in Mathematics*, vol. 1364. Springer-Verlag, 1993.
- [19] Qian, S. (1995).  $\varepsilon$ -isometries embeddings. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 123(6), 1797-1803.  
<https://doi.org/10.2307/2160993>
- [20] Rohman, M., Wibowo, R. B. E., & Marjono. (2016). Stability of an almost surjective epsilon-isometry mapping in the dual of real Banach spaces. *Aust. Jour. Math. Anal. App.*, 13, 1-9.
- [21] Schirotzek, W. (2007). *Nonsmooth Analysis*. Springer.
- [22] Šemrl, P., & Väisälä, J. (2003). Nonsurjective nearisometris of Banach Spaces. *J. Funct. Anal.*, 198(1), 268-278.  
[https://doi.org/10.1016/S0022-1236\(02\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1236(02)00049-6)
- [23] Tabor, J. (2000). Stability of surjectivity. *J. Approx. Theory*, 105(1), 166-175.  
<https://doi.org/10.1006/jath.2000.3452>
- [24] Vestfrid, I. A. (2015). Stability of almost surjective  $\varepsilon$ -isometries of Banach spaces. *J. Funct. Anal.*, 269(7), 2165-2170.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfa.2015.04.009>
- [25] Zhou, Y., Zhang, Z., & Liu, C. (2016). On linear isometries and  $\varepsilon$ -isometries between Banach spaces. *Jour. Math. Anal. App.*, 435(1), 754-764.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2015.10.035>
- [26] Bishop, E., & Phelps, R. R. (1961). A proof that every Banach space is subreflexive. *Bull. Amer. Math. Soc.*, 67, 97-98.  
<https://doi.org/10.1090/S0002-9904-1961-10514-4>



# Vehicle Fuel Emission Efficiency Estimation Using Multi-Linear Regression in Machine Learning

Yunus Egi<sup>1\*2</sup>

<sup>1\*</sup> Electrical and Electronics Engineering Department, Engineering Faculty, Şırnak University, Şırnak ,Turkey, (ORCID: 0000-0001-5185-8443),  
[yunusegi@sirnak.edu.tr](mailto:yunusegi@sirnak.edu.tr)

<sup>2</sup> American University of Middle East, Collage of Engineering, Electrical Engineering Department, Egaila, Kuwait, (ORCID: : 0000-0001-5185-8443),  
[yunusegi@gmail.com](mailto:yunusegi@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1076596)

**ATIF/REFERENCE:** Egi Y. (2022). "Vehicle Fuel Emission Efficiency Estimation Using Multi-Linear Regression in Machine Learning". *European Journal of Science and Technology*, (34), 115-120.

## Abstract

Vehicle fuel consumption and emission have been a great deal for global warming and the world economy. The impacts of CO<sub>2</sub> emission can be minimized through optimization of engine design parameters such as Rated horsepower(RHP), Number of Cylinders and Rotors(NCR), Number of Gears(NG), and Equivalent Test Weight(ETW) to the Rounded and Adjusted Fuel Economy (RAFE). This article explores the weighted impact of the independent variables RHP, NCR, NG, and ETW to RAFE using Multi-Linear Regression(MLR) in machine learning. For the proposed MLR method, the vehicle data is divided into two as training and testing. Then, the data cleanup process was applied to the training data to eliminate outliers that led to incorrect predictions. The proposed method determines the correlation coefficient to compare and seek the variables having less relationships with the dependent variable RAFE. Since there are no insignificant parameters in correlation analysis, MLR training was carried out by taking into account all parameters. Finally, the processed data are trained to create a multi-linear regression model. The obtained model is evaluated through Analysis of Variance(ANOVA). According to the ANOVA, there is a significant relationship between the dependent variable RAFE and the independent variables NG, ETW, and RHP with a p-value of 4.0994e<sup>-60</sup>, 1.5887e<sup>-48</sup>, and 2.5494e<sup>-31</sup>, respectively. Moreover, p-values of NG, ETW, and RHP are supported with F-test results of 227.73, 220.87, and 152.41. On the other hand, the obtained model is also relatively less affected by NCR, with a p-value of 0.031276 and an F-test of 4.94. As a result, the resulting MLR model can be used in new vehicle designs as it reveals which vehicle parameters affect CO<sub>2</sub> emissions.

**Keywords:** Fuel efficiency, Machine Learning, Multi-linear Regression, CO<sub>2</sub> Emission.

## Öğreniminde Çok Doğrusal Regresyon Kullanarak Araç Yakıt Emisyon Verimliliği Tahmini

### Öz

Araç yakıt tüketimi ve emisyonu küresel ısınma ve dünya ekonomisi için büyük bir olay olmuştur. CO<sub>2</sub> emisyonunun etkileri, Nominal Beygir Gücü (NBG), Silindir ve Rotor Sayısı (SRS), Dişli Sayısı (DS) ve Eşdeğer Test Ağırlığı (ETA) gibi motor tasarım parametrelerinin Yuvarlatılmış ve Ayarlanmış Yakıt Ekonomisine (YAYE) optimizasyonu ile en aza indirilebilir. Bu makalede, makine öğreniminde Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) kullanılarak NBG, SRS, DS ve ETA bağımsız değişkenlerinin YAYE'ye ağırlıklı etkisi ortaya çıkarılmıştır. Önerilen ÇDR yöntemi için araç verileri eğitim ve test olarak ikiye ayrılmıştır. Daha sonra yanlış tahminlere yol açan aykırı değerleri ortadan kaldırmak için eğitim verilerine veri temizleme işlemi uygulanmıştır. Önerilen yöntem, bağımlı değişken YAYE ile ilişkisi olan değişkenleri karşılaştırmak ve aramak için korelasyon katsayısını belirlemektedir. Korelasyon analizinde önemsiz parametreler bulunmadığından ÇDR eğitimi tüm parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, işlenen veriler ÇDR modeli oluşturmak için eğitilmiştir. Elde edilen model Varyans (ANOVA) analizi ile değerlendirilmiştir. ANOVA'ya göre, bağımlı değişken YAYE ile bağımsız değişkenler DS, ETA ve NBG arasında sırasıyla p değeri 4.0994e<sup>-60</sup>, 1.5887e<sup>-48</sup> ve 2.5494e<sup>-31</sup> arasında anlamlı bir ilişki vardır. Ayrıca, DS ETA ve NBG'nin p değerleri 227.73, 220.87 ve 152.41 F test sonuçları ile desteklenir. Öte yandan, elde edilen model ayrıca 0.031276 p değeri ve 4.94 F testi ile SRS'den nispeten daha az etkilenir. Sonuç olarak, ortaya çıkan ÇDR modeli, araç parametrelerinin CO<sub>2</sub> emisyonlarını etkilediğini ortaya çıkardığı için yeni araç tasarımlarında kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Yakıt verimliliği, Makine Öğrenimi, Çoklu lineer Regresyon, CO<sub>2</sub> Emisyonu

\* Corresponding Author: [yunusegi@sirnak.edu.tr](mailto:yunusegi@sirnak.edu.tr)

## 1. Introduction

The fuel efficiency of vehicles has become one of the most fundamental issues for urban sustainability and its adverse effect on human health due to CO<sub>2</sub> emission [1]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) states that urban transportation significantly impacts CO<sub>2</sub> emission by releasing 20–30% of total greenhouse gases [2]. These emission rates also indicate how large the fuel consumption and cost for the global economy. In this regard, the Environment Protection Agency (EPA) asks car producers to provide corporate average fuel economy (CAFE) test in the National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory located in Michigan [3]. Every year, EPA supplies car efficiency data to the Internal Revenue Service (IRS), the Department of Transportation (DOT), and the Department of Energy (DOE) to manage their car efficiency associated with programs [4]. Thus, the car manufacturers tend to minimize the CO<sub>2</sub> emission to enlarge the fuel-efficient vehicles by applying quality assurance practices to fulfill the EPA's standards and customers' expectations. Besides, the demand for fuel efficiency increases as the costumers pay more attention to fuel efficiency and CO<sub>2</sub> emission. Therefore, it is essential to measure the facility's performance by illustrating sufficient evidence through engine parameters including RHP, NCR, NG, ETW, and RAPE. These parameters have been applied in numerous fields for years in the industry.

Nevertheless, determining the optimum parameters need a meticulous investigation [5]. In the literature, there are many methods to estimate fuel efficiency. However, most studies are based on road conditions, engine speed, and fuel consumption based on GPS location rather than engine parameters. Mahsa et al. [6] introduce a new mechanical model for fuel consumption. Instead of using standard vehicles parameters such as engine type, road conditions, and wind effect, they utilize temperature, driving, road condition, and fuel efficiency. Shamsuddin et al. [7] performed response surface methodology to estimate CNC-Diesel dual-fuel engine emission. According to their study, the engine speed having a fraction in the range of 0% and 40% is used as an independent variable to see the effects of fuel emission on brake torque, brake power, brake specific energy consumption. Nguyen et al. [8] predict the co-collection and the regular garbage packer fuel consumption per km using GPS data and average fuel rates. Based on their estimation, rural areas have 2-4 times higher fuel consumption. Treiber et al. [9] demonstrate an instantaneous fuel consumption model consisting of car types, gear selection, and vehicle properties. According to their model, microscopic traffic simulation software determines fuel consumption trajectories and derived emission (CO<sub>2</sub>).

In recent years, the implementation of Machine Learning (ML) algorithms such as Linear Regression, Support Vector Machines, and Artificial Neural Networks is skyrocketing due to advancements in computer technology [10]. The main idea behind ML is to create a predictive model that minimizes the residual error through optimization algorithms such as gradient descent, least square, and Adam. The whole process is called Training. In addition, the training process should be tested. In the data preparation process, the data is divided into two parts as Training and Test sets. In this article, Multi-Linear Regression (MLR) in a machine learning and least square optimization algorithm will be used to predict dependent variables through independent explanatory variables. The training process MLR comprises many steps, including preparation of training data set  $(x, y) \in \mathbb{R}^{n+1}$

having  $m$  elements, finding the correlation of data set for every independent variable, computing cost to minimization of prediction error, and finally obtaining a model.

The paper is organized as follows: Section II. Material and Methods, Section III. Multiple Linear Regression Method, Analysis, and Results.

## 2. Material and Method

In this article, Multiple Regression Analysis is performed to predict quality results based on linear regression analysis and determine whether the predictions are suitable to CAFE standards. The correlation and ANOVA analysis will be used to evaluate the proposed model. Our purpose is to estimate which car is more efficient in the market and their quality requirements. To begin the analysis, the independent and dependent variables should be understood to determine their correlation.

### 2.1. Independent variables

*Rated horsepower:* The horsepower is a measure of performance that shows how capable a car is when moving between two points[11]. While moving, 550 ft/lbs per second of energy per horsepower is generated. The more horsepower vehicle has, the better acceleration will be achieved. On the other hand, the vehicle Rated Horsepower(RHP) is defined by the engine's maximum produced horsepower under nominal conditions. Thus, it is an essential measure for vehicle performance. The RHP is indicated in Equation (1).

$$P_{hp} = \frac{T[ft.lbf]N[rpm]}{5252} \quad (1)$$

Where T is torque in pound-foot, and N is the rotational speed.

*The number of cylinders and Rotors(NCR):* The cylinder is an engine component placed in the engine's center for alternation and movement. The space between the cylinder lets the pistons move up and down. The mathematical calculation which gives us the cylinder volume( $V_c$ ) and Engine Displacement( $E_d$ ) is given by Equation (2) and (3)[12].

$$V_c = \pi \left( \frac{bore}{2} \right)^2 Stroke \quad (2)$$

$$E_d = V_c N_c \quad (3)$$

A rotor is a disc that is very crucial for the braking system. At every end of the axle, there is a brake rotor belonging to the braking system[13]. Thus, the reliability of this part will play a vital role in successfully stopping the car. If these parts lose their integrity by ignoring their maintenance, the braking system will cause unintentional consequences, and sometimes it can even cost some people lives. Besides, the aim is to see the effect of the rotors on emission efficiency, not its safety.

*Number of Gears(NG):* Gear is part of the machine that has cut teeth meshed with another toothed to transmit torque. In many situations, the teeth on the gears have the same shape and are connected. If there are more than two gears connected to the system, it is called transmission. The main task of the gears is to change the speed and torque by transmitting motion between shafts which may affect the CO<sub>2</sub> emission[14].

*Equivalent Test Weight (lbs.)(ETW)*: Equivalent test weight is such an important factor for our estimation since the car's weight will cause more gas consumption leading to less efficiency[15].

### 2.2 Dependent variables

Rounded and Adjusted Fuel Economy(RAFE): Fuel economy is a measure of distance that vehicles use a certain amount of fuel to travel[16]. The distance and fuel units can be changed from country to country. For instance, in the USA, the fuel economy is miles per gallon, whereas, in Europe, it is liters per kilometer. The fuel economy is an indication of CO<sub>2</sub> efficiency. In our research, the rounded and adjusted fuel economy (RAFE) is our dependent value influenced by our independent values. By providing the expected value of fuel economy, it is aimed to reduce CO<sub>2</sub> emission.

## 3. Multiple Linear Regression In Machine Learning

Multiple Linear Regression (MLR) is a machine learning algorithm that explains the relationship between dependent and independent variables [17]. The primary purpose of MLR is to model-independent variables to predict dependent variables. The general formula for multiple regression is demonstrated in Equation(4).

$$Y_i = \beta_0 X_{i0} + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + \varepsilon \quad (4)$$

where  $i$  is the number of observations,  $Y_i$  is the dependent variable,  $X_{in}$  is independent variables,  $\beta_0$  is the intercept,  $\beta_n$  is slope coefficients for each independent variable,  $\varepsilon$  is the model's error term (also known as the residuals).

### 3.1 Correlation Coefficients

The correlation coefficient represents correlations between two random variables, X and Y. The correlation range is distributed between -1 and 1. 1 represents positive correlation, and -1 represents negative correlation. The correlation coefficients formula is represented in Equation (5)[18]:

$$\rho(X, Y) = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}} \quad (5)$$

### 3.2 Linear Model Testing

There is just a single variable in simple linear regression that affects the dependent variable. Moreover, the R<sup>2</sup> describes the model by dividing the Sum of Squares (SSR) to the Total Sum of Squares (SST) as indicated in Equation (6)[19].

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (6)$$

If there is a small linear relationship among dependent and independent variables, R<sup>2</sup> will incline to approaches to zero. In contrast, if the association between variables is high, then R<sup>2</sup> will incline close to 1. If linearity between y and x is 100%, R<sup>2</sup> will be equal to 1. MATLAB will be used in this research to see that relationship in a table. The statistical summary of data will estimate the model to make sure that the model is trustworthy.

### 3.3 Confidence Interval

Confidence interval is used to determine how reliable our estimation is [20]. By itself, the confidence interval is calculated by observations, and it changes from one data point to another data point. If  $X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$  with known  $\sigma^2$  and unknown  $\mu$ . 100(1 -  $\alpha$ )% confidence interval for  $\mu$  can be calculated as Equation (7).

$$\hat{\mu}_L = \bar{x} - z_{\alpha/2} \cdot \sigma/\sqrt{n}, \hat{\mu}_U = \bar{x} + z_{\alpha/2} \cdot \sigma/\sqrt{n} \quad (7)$$

Where quantile  $z_{\alpha/2}$  is given by  $P(Z > z_{\alpha/2}) = \alpha/2$ . For instance, a 95% confidence interval for  $\mu$  is represented in Equation (8).

$$\hat{\mu}_L = \bar{x} - 1.96 \cdot \sigma/\sqrt{n}, \hat{\mu}_U = \bar{x} + 1.96 \cdot \sigma/\sqrt{n}. \quad (8)$$

### 3.4 ANOVA

Analysis of Variance(ANOVA) determines significant differences in means between groups [21]. Several factors such as p-value and F statistics determine the significance of the model. If the p-value is less than the desired confidence( $\alpha$ ), there will be enough evidence to claim that the null hypothesis is true. F statistic can also be used for the evaluation of the model. The higher f value will have a better linear relationship. The ANOVA table can be constructed via treatments and Error-values, which will help us calculate SSE, DoF, MS, F, and p-value. A representation of ANOVA is presented in Table 1.

Table 1. ANOVA

Source	SSE	DoF	Ms	F	p-value
Treatment	SSE <sub>W</sub>	k-1	$\frac{SSE_W}{k-1}$	$\frac{MS_W}{MS_B}$	P<0.05
Error	SSE <sub>B</sub>	n-k	$\frac{SSE_B}{n-k}$		
Total	SSE <sub>T</sub>	n-1			

### 3.5 Training Process

Training in MLR is required for the optimization of the predictions. Therefore, the raw data should be cleaned from outliers leading to faulty results. After the data cleaning process, the data is divided into Training and test set. The data proportion of each part depends on the training options. This article distributes the data as 70% training and 30% test sets. Once the training data set is prepared, it will be multiplied with the proposed model's randomly selected weights( $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3,$  and  $\beta_4$ ) to make predictions. Then these predictions will be iteratively compared with actual values to minimize the cost(Error). The random weights are adjusted based on the cost values, and predictions are remade until the optimum result is found. The training pipeline of the proposed method is represented in Figure 1.

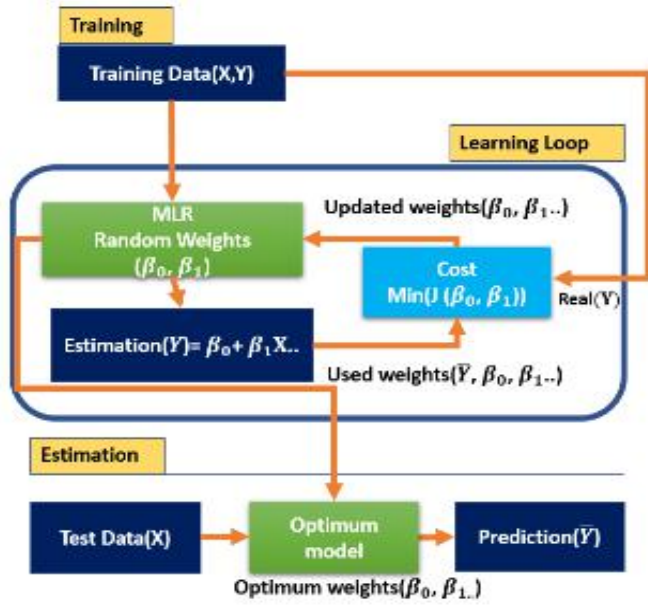


Figure 2. MLR Learning Structure

This article will optimize the cost through the Normal Equation since this learning algorithm has a closed form of solution as indicated in Equation (9).

$$\hat{\beta} = (\hat{X}^T \hat{X})^{-1} \hat{X}^T \hat{Y} \quad (9)$$

### 4. Analysis and Results

This article uses the MATLAB 2019a student version and HP OMEN Laptop to train and test the proposed linear model. The car efficiency data is obtained from the US Department of Energy website, which is publicly available. The raw data(3722 data points) containing NCR, NG, and ETW as dependent parameters are selected and cleaned from outliers. The process reduced the data set to 3583 data points. To understand which variable contributes to the dependent variable(RAFE), how each independent variable is related to one another should be evaluated. This evaluation can be done with scatter plots, using simple linear regression. Each independent variable is compared to the RAFE and summarized in the linear model. This summary comprises R<sup>2</sup>, which determines the weight of importance from 0-1, as seen in Table II and Figure 2.

Table 2. Correlation Analysis

	RAFE	RHP	NCR	NG	ETW
RAFE	1.0000	-0.5063	-0.5360	0.0535	-0.4969
RHP	-0.5063	1.0000	0.8668	0.3123	0.5953
NCR	-0.5360	0.8668	1.0000	0.1930	0.7266
NG	0.0535	0.3123	0.1930	1.0000	0.2169
ETW	-0.4969	0.5953	0.7266	0.2169	1.0000

According to Table II, It is seen that RAFE has a negative correlation with RHP, NCR, and ETW, while the NG has a slight positive correlation. While seeing this relationship from correlation analysis, every single parameter can also be evaluated with single linear regression. In Figure 2, the actual and predicted values are represented as blue and yellow points, respectively. From Figures 2a-2d, it is seen that predicted values of RAFE are within the average of actual values and are in the same direction.

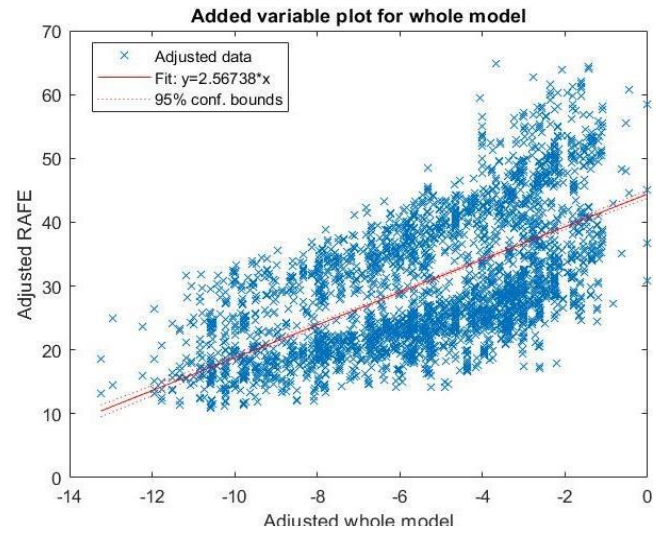


Figure 1. 95% confidence interval for RAFE versus adjusted whole model

These similar behaviors mean that all the parameters will contribute to the final model estimation of MLR.

#### 4.1 Development and Model Estimation with MLR

The training process is performed through MLR and the Normal Equation. The MLR model is obtained as indicated in Table III, which summarizes our regression analysis. From the summary, β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, and β<sub>3</sub> are given in the first column of the table under the name of estimation. The corresponding SSE, t-state, and p-values are also represented in the 3-5th columns.

Table 3. Estimated Coefficients for MLR

	B <sub>i</sub>	SSE	t-stat	p-value
Intercept	44.436	1.1615	38.256	9.5276e <sup>-269</sup>
RHP	-0.036953	0.0029932	12.346	2.5494e <sup>-34</sup>
NCR	-0.48951	0.22721	2.1544	0.03276
NG	2.52	0.15121	16.665	4.0994e <sup>-60</sup>
ETW	-0.004022	0.00027063	14.862	1.5887e <sup>-48</sup>

Number of observations: 3583, Error degrees of freedom: 3578  
 Root Mean Squared Error: 8.73  
 R-squared: 0.371, Adjusted R-Squared: 0.37  
 F-statistic vs. constant model: 527, p-value = 0

The model also explains that the number of observations is 3583 with an Error DoF 3578. RMSE value of the model is obtained as 8.73. In addition, the R<sup>2</sup>=0.37 means that the model explains 37% of the observations. Lastly, the obtained p-values are all less than 0.05, which means that all the independent variables significantly affect RAFE, directly affecting the CO<sub>2</sub> emission. Since all the values are calculated, the values can be replaced to construct the model as indicated in Equation (10)

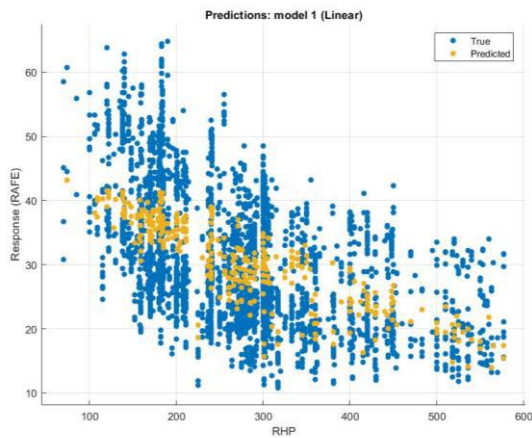
$$RAFE_i = 44.4 - 0.03RHP_i - 0.4NCR_i - 2.528NG_i - 0.004ETW_i \quad (9)$$

The constructed RAFE estimation model is evaluated using the ANOVA table as seen in Table IV. According to the ANOVA table, the contribution of every independent variable can be observed

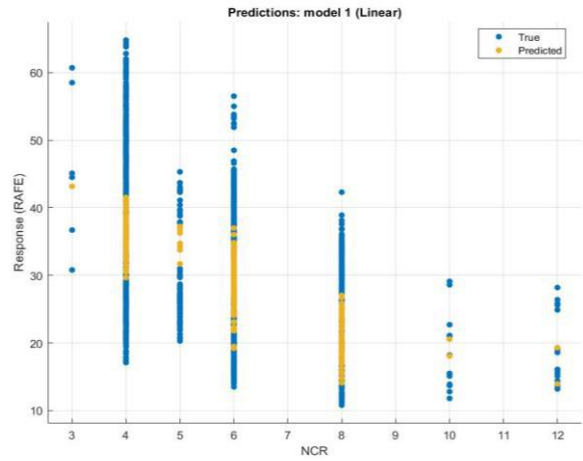


through the F test and p-value. It is seen that NG has the highest contribution with an F value of 277.73, while the

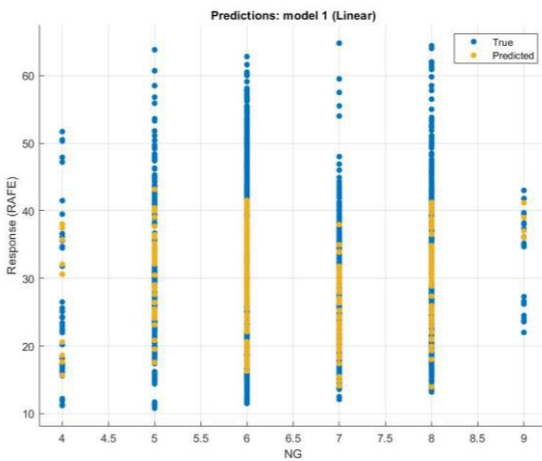
this research chooses the essential characteristics to achieve optimum performance. If NG is evaluated individually, it will be



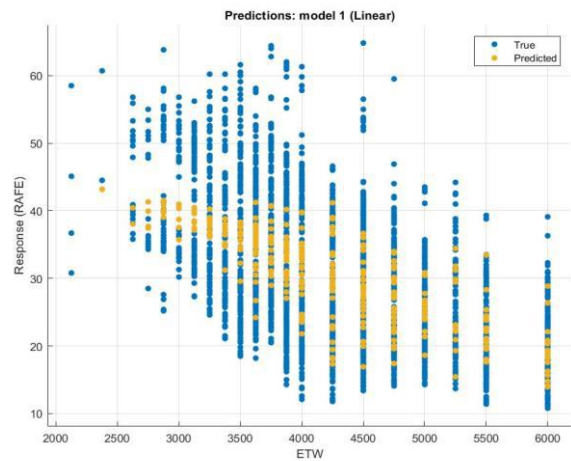
a.) RAFE vs RHP



b.) RAFE vs NCR



c.) RAFE vs NG



d.) RAFE vs ETW

Figure 2. Single Linear Regression Results

NCR has the lowest contribution with an F value of 4.64. Finally, ETW and RHP can be considered second and third highest contributors for the model, respectively.

Table 4 ANOVA Results

Source	SSE	DoF	Ms	F	p-value
RHP	11608	1	11608	152.41	$2.5494e^{-34}$
NCR	353.51	1	353.51	4.6414	0.03276
NG	21153	1	21153	277.73	$4.0994e^{-60}$
ETW	16823	1	16823	220.87	$1.5887e^{-48}$
Total	27252	4	76164		
All Model	$y=2.56738x$				

After obtaining the model and evaluating the ANOVA, the 95% confidence interval for the adjusted RAFE and

whole adjusted model  $y=2.56738x$  is plotted in Figure 3.

## 5. Discussion

It should be noted that many important characteristics can make the model stronger in terms of car emission efficiency. However, *e-ISSN: 2148-2683*

seen that it is the essential characteristic of this project since the correlation between NG and RAFE have a higher F statistic value. The other three characteristics also play a critical role in fuel emission efficiency, but their properties are not considered crucial as NG. ETW is the second important characteristic that affects the quality of car emission efficiency. According to the results, it is seen that as ETW is increased, the car efficiency decreases. Finally, to achieve the best fuel efficiency and reduce CO<sub>2</sub> emission, the obtained MLR model needs to be used for predictions.

## 6. Conclusion

MLR in machine learning is used in this research to estimate vehicle fuel efficiency. The prediction process went through several processes such as data acquisition, removing outliers, training, testing, and performance evaluation. After the processes, an MLR model is obtained and evaluated by the ANOVA table. The ANOVA results indicate a strong relationship between RAFE and NG, ETW, and RHP with the p- values of  $4.0994e^{-60}$ ,  $1.5887e^{-48}$ , and  $2.5494e^{-34}$ , respectively. On the other hand, there is a slight relationship between RAFE and NCR since the p-value is between

0.01 and 0.05. From the ANOVA table, it is understood which population group has more contribution by observing the F value. The F value 277.73 means that NG is more weighted than the others since it has the highest group value. The other parameters weights can be ordered as ETW, RHP, and NCR. This estimation can be implemented in software and help the clients and producers achieve minimum CO<sub>2</sub> emission in future work.

## References

- [1] Kan, Z., Tang, L., Kwan, M. P., Zhang, X. (2018). Estimating vehicle fuel consumption and emissions using GPS big data. *International journal of environmental research and public health*, 15(4), 566.
- [2] He, H., Liang, X. Z., Wuebbles, D. J. (2018). Effects of emissions change, climate change and long-range transport on regional modeling of future US particulate matter pollution and speciation. *Atmospheric Environment*, 179, 166-176.
- [3] Hula, A., Maguire, A., Bunker, A., Rojeck, T., Harrison, S. (2021). The 2021 EPA Automotive Trends Report: Greenhouse Gas Emissions, Fuel Economy, and Technology since 1975 (No. EPA-420-R-21-023).
- [4] Tan, Z., Wu, Y., Gu, Y., Liu, T., Wang, W., Liu, X. (2022). An overview on implementation of environmental tax and related economic instruments in typical countries. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129688.
- [5] Choi, Y. Y., Liu, Y., Huang, L. (2015). Safer or Cheaper? Household Safety Concerns, Vehicle Choices, and the Costs of Fuel Economy Standards (No. 330-2016-14033).
- [6] Qaemi, M., Heravi, G. (2012). Sustainable Energy Performance Indicators of Green Building in Developing Countries. In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (pp. 1961-1970).
- [7] Shamsuddin, M. S., Zulkifli, A. F. H. (2021). Prediction of Performance and Emission of CNG-Diesel Dual Fuel Engine using Response Surface Methodology. *Progress in Engineering Application and Technology*, 2(2), 790-809. Retrieved from <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/peat/article/view/704>
- [8] Nguyen TTT, Wilson BG. Fuel consumption estimation for kerbside municipal solid waste (MSW) collection activities. *Waste Management Research*. 2010;28(4):289-297. doi:10.1177/0734242X09337656
- [9] Treiber, M., Kesting, A., Thiemann, C. (2008). How much does traffic congestion increase fuel consumption and emissions? Applying a fuel consumption model to the NGSIM trajectory data. In *87th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC (Vol. 71, pp. 1-18).
- [10] Eyceyurt, E., Zec, J. (2020). Uplink Throughput Prediction in Cellular Mobile Networks. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 14(6), 149-153.
- [11] McCartt, A. T., Hu, W. (2017). Effects of vehicle power on passenger vehicle speeds. *Traffic injury prevention*, 18(5), 500-507.
- [12] Dolatabadi, N., Forder, M., Morris, N., Rahmani, R., Rahnejat, H., Howell-Smith, S. (2020). Influence of advanced cylinder coatings on vehicular fuel economy and emissions in piston compression ring conjunction. *Applied Energy*, 259, 114129.
- [13] Nascimento, T. P., Saska, M. (2019). Position and attitude control of multi-rotor aerial vehicles: A survey. *Annual Reviews in Control*, 48, 129-146.
- [14] Triantafyllopoulos, G., Kontses, A., Tsokolis, D., Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2017). Potential of energy efficiency technologies in reducing vehicle consumption under type approval and real-world conditions. *Energy*, 140, 365-373.
- [15] Thomas, J. (2016). Vehicle efficiency and tractive work: rate of change for the past decade and accelerated progress required for US fuel economy and CO<sub>2</sub> regulations. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 9(1), 290-305.
- [16] Dreyer, S. J., Teisl, M. F., McCoy, S. K. (2015). Are acceptance, support, and the factors that affect them, different? Examining perceptions of US fuel economy standards. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 39, 65-75
- [17] Zhao, Q., Caiafa, C. F., Mandic, D. P., Chao, Z. C., Nagasaka, Y., Fujii, N., ... Cichocki, A. (2012). Higher order partial least squares (HOPLS): a generalized multilinear regression method. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(7), 1660-1673.
- [18] Adler, J., Parmryd, I. (2010). Quantifying colocalization by correlation: the Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's overlap coefficient. *Cytometry Part A*, 77(8), 733-742.
- [19] Plonsky, L., Ghanbar, H. (2018). Multiple regression in L2 research: A methodological synthesis and guide to interpreting R<sup>2</sup> values. *The Modern Language Journal*, 102(4), 713-731.
- [20] B. J., Dehghani, H., Shamsi, R. (2020). Predicting silver price by applying a coupled multiple linear regression (MLR) and imperialist competitive algorithm (ICA). *Metaheuristic Comput Appl*, 1(1), 101-114.
- [21] Rouder, J. N., Engelhardt, C. R., McCabe, S., Morey, R. D. (2016). Model comparison in ANOVA. *Psychonomic bulletin review*, 23(6), 1779-1786.



# Alt Yüzeyi Modifiye Edilmiş NACA 63-415 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının Sayısal Analizi

Hakan İnan<sup>1\*</sup>, Mahmut Kaplan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7654-9460), [hakan.inan@outlook.com](mailto:hakan.inan@outlook.com)

<sup>2</sup> Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2675-9229), [mahmut.kaplan@amasya.edu.tr](mailto:mahmut.kaplan@amasya.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1077023)

**ATIF/REFERENCE:** İnan, H., Kaplan, M. (2022). Alt Yüzeyi Modifiye Edilmiş NACA 63-415 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının Sayısal Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 121-125.

## Öz

Nüfusun artması ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak dünyada enerji tüketimi hızla artmaktadır. Fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve çevreye olumsuz etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgârdaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren rüzgâr türbinlerinin veriminin artırılmasında kanat geometrisin tasarımı önemlidir. Bu çalışmada rüzgâr türbinlerinde kullanılan NACA 63-415 kanat profilinin alt yüzeyinin geometrisindeki değişikliğin aerodinamik performansa etkisi ANSYS Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı ile sayısal olarak araştırılmıştır.  $1,6 \times 10^6$  Reynold sayısında,  $0^\circ$ - $20^\circ$  hücum açısı aralığında literatürdeki deneysel kaldırma katsayısı ( $C_L$ ) değerleriyle Spalarat Almaras ve SST k- $\omega$  türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal  $C_L$  değerleri karşılaştırılmıştır. SST k- $\omega$  türbülans modeliyle elde edilen  $C_l$  değerleri deneysel verilere daha iyi uyum sağladığı için hesaplamalar bu modelle yapılmıştır. Bu çalışmada, NACA 63-415 kanat profilinin alt yüzeyinin boyutları % 10, % 20 ve % 30 azaltılarak sırasıyla NCAY10, NCAY20 ve NCAY30 kanat profilleri üretilmiştir. Sayısal sonuçlar yeni kanat profillerinin NACA 63-415 kanat profiline göre aerodinamik performansı iyileştirdiğini ve maksimum  $C_L/C_D$  değerlerinin NCAY30 kanat profili ile elde edildiğini göstermiştir. Bu çalışmanın mevcut kanat profillerinin performansını artırmada literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr Türbini, NACA 63-415 Kanat Profili, Kanat Profili Yüzeyi Şekli, Aerodinamik Performans, HAD.

## Numerical Analysis of the Aerodynamic Performance of the NACA 63-415 Airfoil with Modified Lower Surface

### Abstract

Energy consumption in the world is increasing rapidly due to population growth and technological developments. Renewable energy sources have gained importance thanks to fossil fuel reserves being limited and their negative impacts on the environment. The design of blade geometry is crucial to enhancing the efficiency of wind turbines that convert kinetic energy in the wind, one of the renewable energy sources, into electrical energy. In this study, the effect of the change in the geometry of the lower surface of the NACA 63-415 airfoil used in wind turbines on aerodynamic performance was investigated numerically with the ANSYS Fluent CFD software. The experimental lift coefficient ( $C_L$ ) values for a range of angles of attack  $0^\circ$  to  $20^\circ$  at a Reynolds number of  $1.6 \times 10^6$  number, were compared with the numerical  $C_L$  values obtained using Spalarat Almaras and SST k- $\omega$  turbulence models. Since  $C_L$  values obtained by the SST k- $\omega$  turbulence model fitted better with the experimental data, the calculations were performed using this model. In this study, NCAY10,

\* Sorumlu Yazar: [hakan.inan@outlook.com](mailto:hakan.inan@outlook.com)

NCAY20 and NCAY30 blade profiles were produced by reducing the dimensions of the lower surface of the NACA 63-415 airfoil by 10%, 20% and 30%, respectively. Numerical results showed that the new airfoils improved the aerodynamic performance compared to the NACA 63-415 airfoil and the maximum  $C_L/C_D$  values were obtained using the NCAY30 airfoil. It is thought that this study will contribute to the literature on enhancing the performance of the existing airfoils.

**Keywords:** Wind Turbine, NACA 63-415 Airfoil, Airfoil Surface Shape, Aerodynamic Performance, CFD.

## 1. Giriş

Son yıllarda yüksek nüfus artışı, hızlı ekonomik büyüme, teknolojik gelişmeler ve bunlara bağlı olarak artan üretim ihtiyacı dünyada enerjiye olan talebin artmasına neden olmuştur. Kömür, petrol gibi fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve bu yakıtların çevre üzerinde olumsuz etkileri nedeniyle rüzgâr, güneş ve biokütle gibi yenilenebilir kaynaklarla enerjinin karşılanması önem kazanmıştır. Rüzgâr enerjisi, sera gazı emisyonuna sebep olmayan ve atmosferde bol miktarda bulunan yenilenebilir enerji kaynağı olduğu için ayrı bir öneme sahiptir. Türkiye’de 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu’nun çıkarılması ile rüzgâr enerjisi ile ilgili çalışmalar artmıştır [1].

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiden elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Son zamanlarda rüzgâr türbini üretim teknolojisindeki gelişmeler rüzgâr enerjisiyle ilgili maliyeti düşürmüştür. Rüzgâr türbininin kanatlarının şekil ve boyutları, rüzgârdan enerjiyi verimli olarak almak için gereken aerodinamik performansa ve kanat üzerindeki kuvvetlere dayanması için gerekli mukavemete göre belirlenir. Kanat profilinin aerodinamik yapısı, tüm kanadın aerodinamik yapısını etkiler, dolayısı ile rüzgâr türbininin verimini iyileştirmede önemli bir etkidir [2]. Bir rüzgâr türbininde kanat performansı kanat yüzeyinde oluşan kaldırma ve sürüklenme kuvveti ile doğrudan ilişkilidir. Kanat profilinin performansı kaldırma kuvveti katsayısı ( $C_L$ ), sürüklenme kuvveti katsayısı ( $C_D$ ) ve kaldırma kuvvetinin sürüklenme kuvvetine oranı ( $C_L/C_D$ ) ile hesaplanmaktadır.  $C_L$  ve  $C_D$  aşağıda verilen denklemlerle ifade edilmektedir.

$$C_L = \frac{F_L}{0,5\rho V^2 A} \quad (1)$$

$$C_D = \frac{F_D}{0,5\rho V^2 A} \quad (2)$$

Burada,  $F_L$  ve  $F_D$  sırasıyla kanadın üzerine etki eden kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri,  $\rho$  havanın yoğunluğu,  $V$ , serbest akış hızı,  $A$  kanadın üst bakış alanı (kanat açıklığı ile veter uzunluğun çarpımı) ve  $\rho$  havanın yoğunluğudur. Bu çalışmadaki tüm hesaplamalarda kanat açıklığı 1 m alınmıştır.

Ticari ölçekli rüzgâr türbinlerinde kanat profili olarak genellikle NACA serisi kanat profili kullanılmaktadır. Rüzgâr türbin kanat profillerinin aerodinamik performansı etkisini inceleyen birçok sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır.

Erişen ve Bakırcı [3], NACA 0012 ve NACA 4412 kanat profilleri kesit geometrisindeki değişiklikler yaparak elde edilen yeni kanat kesit geometrilerini  $0^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $18^\circ$  hücum açılarında, 20 m/s akış hızında, k- $\epsilon$  türbülans modelini kullanarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı ile analiz etmiştir.

Sayısal sonuçlar genel olarak yeni kanat profillerinin NACA 0012 ve NACA 4412 kanat profillerine göre  $C_L$  ve  $C_D$  değerlerini artırdığını göstermiştir. Mevcut rüzgâr türbin kanatlarında performansı artırmak için  $C_L$  değerini artıracak ve aynı zamanda  $C_D$  değerini azaltacak yeni kanat profilleri geliştirilmelidir. Böylece aynı rüzgâr hızında daha yüksek tork elde edilerek türbin gücünde iyileşme sağlanacaktır.

Yılmaz ve ark. [4], subsonik rüzgâr tüneline 6, 7 ve 8 m/s rüzgâr hızlarında ( $12,6 \times 10^4$ ,  $14,7 \times 10^4$ ,  $16,8 \times 10^4$  Reynold sayılarında)  $-4^\circ$ - $26^\circ$  hücum açılarında S826, NACA 4415 ve NACA 63-415 kanat profillerinin aerodinamik performanslarını incelemişler. Deneysel sonuçlar NACA 63-415 kanat profilinin diğer kanat profillerine göre tüm hızlarda  $C_D$  değerleri daha düşük olduğu için  $C_L/C_D$  değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu nedenle onlar NACA 63-415 kanat profilinin geniş hücum açısı aralığında, düşük hızda çalışan Rüzgâr Enerji Santralleri için daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

Şahin ve Acır [5], 10 m/s rüzgâr hızında ( $68490$  Reynold sayısında),  $0^\circ$ - $20^\circ$  hücum açısı aralığında, NACA 0015 kanat profilinin aerodinamik performansını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Spalart Allmaras ve k- $\epsilon$  türbülans modelleri kullanılarak ANSYS Fluent yazılımıyla sayısal analiz yapılmıştır. Spalart Allmaras modeliyle elde edilen  $C_L$  ve  $C_D$  katsayılarının deneysel verilerle daha iyi uyum sağladığını gözlemlenmiştir. Ayrıca  $16^\circ$  hücum açısından sonra  $C_L$  katsayısının azaldığını ve optimum kanat profil performansının  $8^\circ$  hücum açısında gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Soğukpınar [6], 50 m/s rüzgâr hızında ( $6 \times 10^6$  Reynold sayısında),  $0^\circ$ - $14^\circ$  hücum açısı aralığında NACA 00XX (0008, 0009, 0010, 0012, 0015, 0018, 0021 ve 0024) kanat profillerinin SST (Shear Stress Transport) türbülans modelini kullanarak COMSOL yazılımıyla sayısal olarak analizini yapmıştır. HAD analizinin doğrulanması için NACA 0012 kanat profilinin  $C_L$  ve basınç katsayısı ( $C_p$ ) ilgili deneysel verileri sayısal sonuçlarla karşılaştırmış ve birbirleriyle uyumlu olduğunu görmüştür. Bunun yanında kanat profillerinin kalınlığı arttıkça  $C_L$  değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tanürün ve ark. [7], veter uzunluğun 8 cm olan NACA 0018 kanat profiline sahip 8 cm ve 16 cm kanat uzunluğunda iki kanat modelinin aerodinamik performansını  $5,7 \times 10^4$  Reynold sayısında,  $0^\circ$ - $60^\circ$  hücum açısı aralığında deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal analiz, SST türbülans modeli kullanılarak ANSYS Fluent yazılımıyla yapmışlardır. Hem deneysel hem de sayısal çalışma sonucunda kanat uzunluğu 8 cm olan kanat modelinin kanat uzunluğu 16 cm olan kanat modeline göre aerodinamik veriminin ( $C_L/C_D$ ) daha iyi olduğu görülmüştür.

Düz [8],  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$  hücum açılarında ve 4, 7, 12, 20 m/s rüzgâr hızlarında FX84-W-218, SELİG S8036, FX 63-137 ve EPPLER 580 kanat profillerinin rüzgâr türbinlerinde verimine etkisini sayısal olarak incelemiştir. Sayısal sonuçlar tüm kanat profillerinin  $C_L/C_D$  değerleri karşılaştırdığında bütün hücum açılarında FX 63-137 kanat profilinin en yüksek aerodinamik performansa sahip olduğu göstermiştir. Ayrıca incelenen tüm

kanat profillerinde tüm hızlarda  $3^{\circ}$ - $7^{\circ}$  hücum açısı aralığında maksimum performans elde edilmiştir.

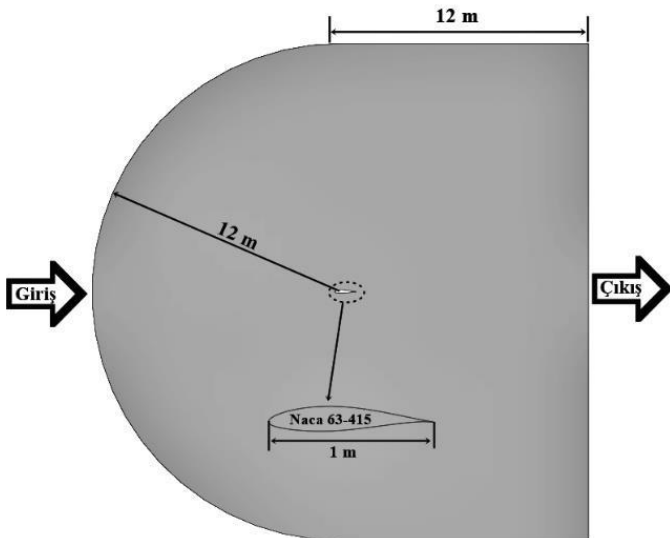
Özkan ve Erkan [9], TSST (Transitional Shear Stress Transport) türbülans modeli kullanılarak,  $6^{\circ}$  hücum açısı için NACA 63-415 tipi rüzgar türbin kanadındaki pürüzlülüğün (h, pürüzlülük yüksekliği= 0.1-0.5 mm) aerodinamik performansa etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Onlar  $10^4$  Reynold sayısına kadar NACA 63-415 kanat profilindeki pürüzlülüğün aerodinamik performansa etkisinin ihmal edilir seviyede olduğunu  $5 \times 10^4$ - $1.5 \times 10^5$  arasındaki Reynold sayılarında kanattaki pürüzlülüğün aerodinamik performansı artırdığı tespit etmişlerdir.  $2.5 \times 10^5$  Reynold sayısından sonra  $C_L/C_D$  değeri düştüğü için kanattaki aerodinamik performansın azaldığını gözlemlemişlerdir.

Güleren ve Demir [10], 20 m/s rüzgar hızında ( $1,37 \times 10^5$  Reynold sayısında),  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  ve  $20^{\circ}$  hücum açılarında, Spalart-Allmaras türbülans modeli kullanılarak EPPLER 625, EPPLER 664, CLARK Y, EİFFEL 10 (Wright), FX 69-PR-281, NACA Munk M4 kanat profillerini sayısal analizini yapmışlardır. Sayısal sonuçlar diğer kanat profilleriyle kıyaslandığında  $C_L$  ve  $C_L/C_D$  açısından CLARK Y kanat profilinin en yüksek performansa sahip olduğu göstermiştir.

Bu çalışmada NACA 63-415 kanat profilinin alt yüzeyinin geometrisi değiştirilerek oluşturulan kanat profillerinin aerodinamik performansa etkisi HAD yöntemiyle ANSYS Fluent programıyla sayısal analizi yapılmıştır. İlk önce sayısal sonuçlar NACA 63-415 kanat profilinin deneysel verilerle doğrulanmıştır. Daha sonra NACA 63-415 kanat profilinin alt yüzeyinin şekli değiştirilerek oluşturulan profillerin aerodinamik performansa etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada önce SOLIDWORKS programı kullanılarak NACA 63-415 kanat profilinin Şekil 1'de görüldüğü gibi iki boyutlu geometrisi elde edilmiştir. Kanat profilinin veter uzunluğu 1 m'dir.

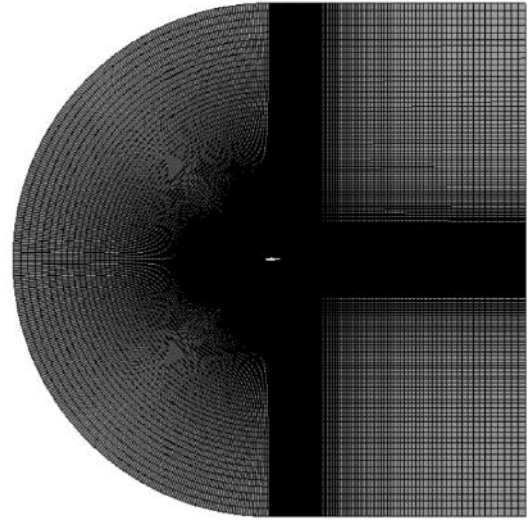


Şekil 1. Naca 63-415 kanat profili ve bölgesi

Daha sonra oluşturulan model ANSYS Workbench platformuna aktarılarak geometri bölümünde kanat profilinin

etrafına akış bölgesi oluşturulmuştur. Şekil 1'de gösterildiği gibi akış alanını oluşturan yarım dairenin yarıçapı ve dikdörtgenin kenar uzunluğu, veter uzunluğunun 12 katı (12 m) olarak belirlenmiştir.

ANSYS Workbench platformunun Meshing (ağ oluşturma) bölümünde kanat modelinin ağı oluşturulmuştur ve sınır şartlarının adları girilmiştir. Şekil 2'de kanat profiline yakın bölgelerde yoğunlaştırılmış dörtgen elemanlardan oluşan sayısal ağ yapısı gösterilmiştir. Ağdan bağımsızlık testleri yapıldıktan sonra modelin ağ eleman sayısı 300250 olarak belirlenmiştir. Giriş sınır koşulu (inlet), çıkış sınır koşulu (outlet) ve kanat profili (airfoil) olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 2. Modelin ağ yapısı

Modelin ağ yapısı oluşturulduktan sonra ANSYS Workbench platformunun Setup kısmında havanın özellikleri, türbülans modeli ve sınır koşulları gibi gerekli bilgiler belirlenerek kanat profilinin sayısal analizi yapılmıştır. Kanat profili etrafındaki akış iki boyutlu, sıkıştırılmaz, sürekli ve türbülanslı olarak kabul edilmiştir. Havanın yoğunluğu  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , dinamik viskozitesi  $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$  olarak alınmıştır. Hesaplamalarda yakınsama kriteri tüm büyüklükler için  $10^{-6}$  alınmıştır.

### 2.1. Türbülans Modeli

Bu çalışmada Spalart Almaras ve SST k- $\omega$  türbülans modelleri kullanılmıştır. Spalart – Allmaras türbülans modeli düşük Reynolds sayılı akışlarla ilgili aerodinamik problemler için geliştirilmiştir [11]. Bu modelde türbülans viskoziteyi çözmek için bir adet taşınım denklemi vardır. SST (Shear-Stress Transport) k- $\omega$  türbülans modeli k- $\epsilon$  ve k- $\omega$  modellerinin birleştirilmesi oluşmuştur [12]. SST k- $\omega$  türbülans modeli k (türbülans kinetik enerji) ve özgül yutulma ( $\omega$ ) için iki adet taşınım denklemi vardır. SST k- $\omega$  türbülans modeli sınır tabaka içerisinde standard k- $\omega$  türbülans modeli gibi, duvardan uzak bölgelerde ise k- $\epsilon$  türbülans modeli gibi davranmaktadır [13].

### 2.1. Sınır Koşulları

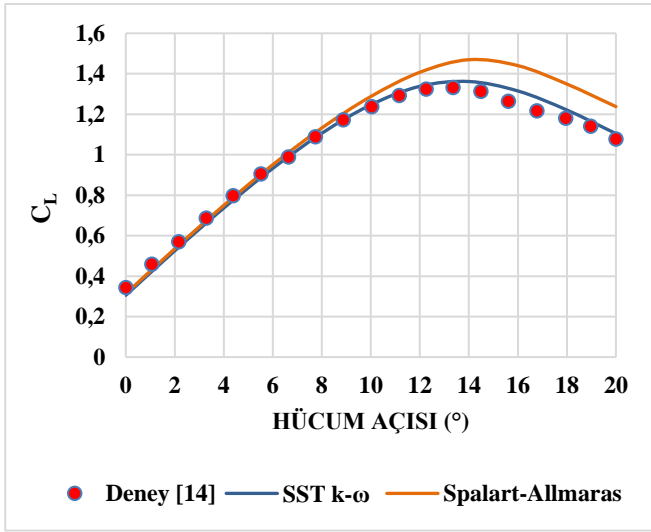
Havanın giriş kısmına hız girişi koşulu uygulanmıştır. Tüm hesaplamalarda hava giriş hızı  $1,6 \times 10^6$  Reynold sayısında belirlenmiştir. Havanın çıkış kısmına basınç çıkışı sınır koşulu uygulanmıştır. Çıkış sınır koşulunda havanın basıncı 1 atm olarak

belirlenmiştir. Kanat profili sınırlarına duvar sınır koşulu uygulanmıştır ve duvar pürüzsüz olarak belirlenmiştir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Sayısal Sonuçların Doğrulaması

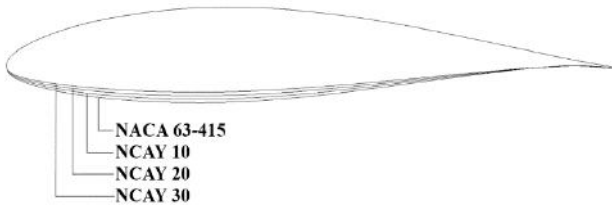
Bu çalışmada rüzgar türbini kanat profili kataloğunda [14] yer alan NACA 63-415 kanat profilinin  $1,6 \times 10^6$  Reynold sayısında,  $0^\circ$ - $20^\circ$  hücum açısı aralığında deneysel verileri kullanılarak Spalart Almaras ve SST k- $\omega$  türbülans modelleriyle yapılan hesaplamaların doğrulaması yapılmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi Spalart Almaras modeliyle kıyaslandığında SST k- $\omega$  türbülans modeliyle hesaplanan  $C_L$  değerleri deneysel  $C_L$  değerlerine daha uyumludur. Maksimum  $C_L$  değeri deneysel ve sayısal olarak sırasıyla  $13,4^\circ$  ve  $14^\circ$  hücum açısında elde edilmiştir.



Şekil 3. Sayısal ve Deneysel  $C_L$  değerlerinin karşılaştırılması

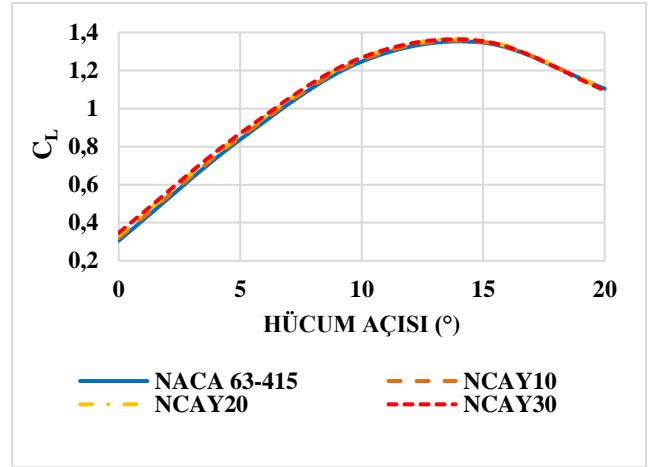
#### 3.2. Kanat Yüzey Geometrisindeki Değişikliğin Performansına Etkisi

Şekil 4'te NACA 63-415 kanat profilinin alt yüzeyinin geometrisi % 10, % 20 ve % 30 değiştirilerek üretilen kanat profilleri görülmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi yeni oluşturulan kanat profilleri alt yüzeyin küçültülmesine uygun olarak NCAY10 (% 10), NCAY20 (% 20) ve NCAY30 (% 30) olarak adlandırılmıştır.

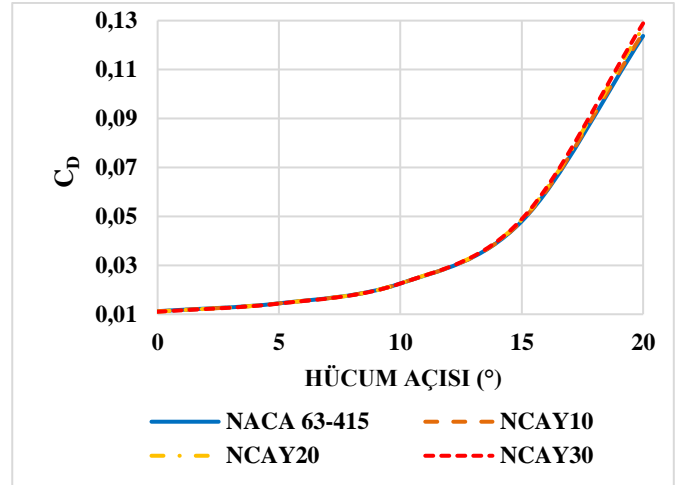


Şekil 4. Oluşturulan kanat profilleri

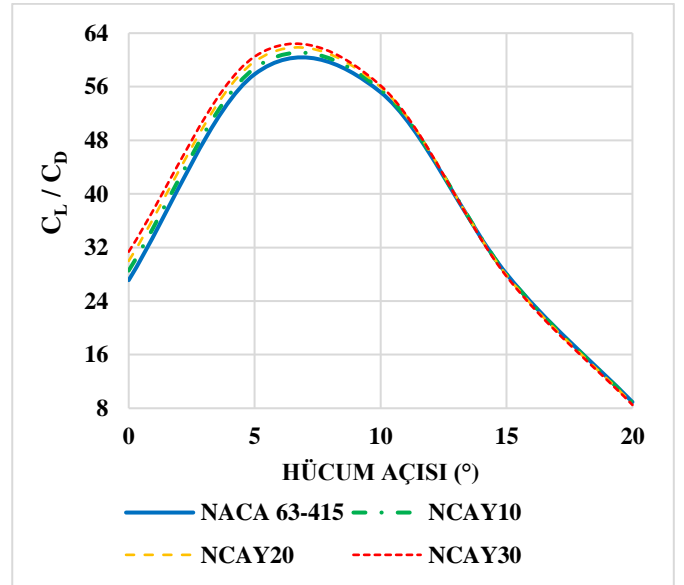
Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de  $1,6 \times 10^6$  Reynold sayısında,  $0^\circ$ - $20^\circ$  hücum açısı aralığında, yeni oluşturulan kanat profillerinin  $C_L$ ,  $C_D$  ve  $C_L/C_D$  için NACA 63-415 kanat profiliyle karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 5. Alt yüzey geometrisinin  $C_L$ 'ye etkisi



Şekil 6. Alt yüzey geometrisinin  $C_D$ 'ye etkisi



Şekil 7. Alt yüzey geometrisinin  $C_L/C_D$ 'ye etkisi

Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi yeni oluşturulan kanat profilleri NACA 63-415 kanat profili ile karşılaştırıldığında  $15^\circ$  hücum açısına kadar  $C_L$  değerini artırırken,  $C_D$  değerinde ise belirgin bir değişikliğe neden olmamıştır.  $15^\circ$  hücum açısından sonra ise üretilen kanat profilleri  $C_D$  değerinde artırırken  $C_L$  değerini değiştirmede hemen hemen bir etkisi olmamıştır. Bunlara paralel olarak Şekil 7'de görüldüğü gibi yeni kanat profilleri

yaklaşık 12° hücum açısına kadar  $C_L/C_D$  değerlerini artırmıştır ve diğer hücum açılarında da  $C_L/C_D$  değerlerini azaltıcı bir etkisi yoktur. Maksimum  $C_L/C_D$  NACA30 kanat profilinde elde edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada  $1,6 \times 10^6$  Reynold sayısında, 0°-20° hücum açısı aralığında NACA 63-415 kanat profilinin alt yüzeyinin şekli değiştirilerek oluşturan kanat profillerinin aerodinamik performans etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemiyle ANSYS Workbench paket programıyla sayısal analizi yapılmıştır.

Literatürdeki [14] deneysel  $C_L$  değerleri Spalart Allmaras ve SST k- $\omega$  türbülans modelleriyle elde edilen  $C_L$  değerleriyle karşılaştırılmış ve SST k- $\omega$  türbülans modelinin deneysel verilere daha uyumlu olduğu görülmüştür. Sayısal verilerin deneysel verilerden farklı olmasının önemli sebeplerden biri sayısal çalışmada kanat yüzeyinin pürüzsüz kabul edilmesidir.

$C_L/C_D$  rüzgâr türbinin aerodinamik performansını belirleyen en önemli parametrelerinden biridir ve mevcut çalışmalarda önerilen kanat profillerinin sadece  $C_L$ 'yi artırması aerodinamik performansı iyileştirmede yeterli olmadığını göstermiştir.  $C_L/C_D$ 'nin artması için  $C_L$  artarken  $C_D$ 'nin azalması veya sabit kalması gerekmektedir. Üretilen kanat profilleri  $C_L$  artarken  $C_D$ 'de önemli bir artma olmadığı için  $C_L/C_D$  değerini 12° hücum açısına kadar artırmış ve bundan sonra  $C_L/C_D$  değerini azaltıcı bir etkisi olmamıştır. Maksimum  $C_L/C_D$  değerleri NACA30 kanat profili ile elde edilmiştir.

#### Kaynakça

- [1] AYDIN, İ. (2013). Balıkesir'de Rüzgâr Enerjisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(29), 29-50.
- [2] Martin O.L. Hansen, *Aerodynamics of Wind Turbine*, Second Edition, Earthscan, UK and USA, 2008.
- [3] Erişen, A., & Bakırcı, M. (2014) "NACA 0012 ve NACA 4412 kanat kesitlerinin yeniden tasarlanarak HAD ile analiz edilmesi," *Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 1: 50-82.
- [4] Yılmaz, İ., Çam, Ö., Taştan, M., & Karıcı, A. (2016) "Farklı Rüzgâr Türbin Kanat Profillerinin Aerodinamik Performansının Deneysel İncelenmesi," *Politeknik Dergisi*, 19(4), 577-584.
- [5] Şahin, İ. & Acır, A. (2015) "Numerical and experimental investigations of lift and drag performances of NACA 0015 wind turbine airfoil," *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 3(1): 22-25
- [6] Sogukpınar, H. (2017) "Numerical simulation of 4-digit inclined NACA 00xx airfoils to find optimum angle of attack for airplane wing." *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(1), 169-178.
- [7] Tanürün, H. E., Ata, İ., Canlı, M. E., & Acır, A. (2020) "Farklı açıklık oranlarındaki NACA-0018 rüzgâr türbini kanat modeli performansının sayısal ve deneysel incelenmesi," *Politeknik Dergisi*, 23(2): 371-381.
- [8] Düz, H. (2016) "Rüzgâr türbinleri için farklı kanat profillerinin sayısal olarak test edilmesi," *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(2).

- [9] Özkan, M., & Erkan, O. (2022) "Control of a boundary layer over a wind turbine blade using distributed passive roughness," *Renewable Energy*, volume 184, pages 421-429.
- [10] Güleren, K. M., & Demir, S. (2011) "Rüzgâr türbinleri için düşük hücum açılarında farklı kanat profillerinin performans analizi," *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31(2), 51-59.
- [11] Spalart; P., Allmaras; S., (January 1992) "A one-equation turbulence model for aerodynamic flows," *30th Aerosp. Sci. Meet. Exhib.*
- [12] ANSYS FLUENT 19.2 (2018) Theory Guide, Ansys Inc., Canonsburg PA, USA.
- [13] Langtry, R. B. & Menter, F. R. (2009) "Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes," *AIAA Journal*, 47(12), 2894-2906.
- [14] Bertagnolio, F., Sørensen, N., Johansen, J., & Fuglsang, P. (2001) "Wind turbine airfoil catalogue," *Denmark. Forskningscenter Risoe*. Risoe-R No. 1280(EN).



# İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Arıza Bakım Onarım Süreçlerinin İzlenmesi için Performans Göstergeleri

Cansu Orhan<sup>1</sup>, Mahmut Fırat<sup>2\*</sup>, Salih Yılmaz<sup>3</sup>, Abdullah Ateş<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ardahan Üniversitesi, Ardahan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0987-1297), [cansuorhan44@gmail.com](mailto:cansuorhan44@gmail.com)

<sup>2\*</sup>İnönü Üniversitesi, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8010-9289), [mahmut.firat@inonu.edu.tr](mailto:mahmut.firat@inonu.edu.tr)

<sup>3</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3206-1225), [salihymz@gmail.com](mailto:salihymz@gmail.com)

<sup>4</sup>İnönü Üniversitesi, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4236-6794), [abdullah.ates@inonu.edu.tr](mailto:abdullah.ates@inonu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1077753)

**ATIF/REFERENCE:** Orhan, C., Fırat, M., Yılmaz, S. & Ateş, A. (2022). İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Arıza Bakım Onarım Süreçlerinin İzlenmesi için Performans Göstergeleri. *European Journal of Science and Technology*, (34), 126-134.

## Öz

İçmesuyu şebekelerinde oluşan arızalar su kesintisi, şebeke basıncının düşmesi, su kalitesinin düşmesi, su ve enerji kaybı, ekonomik kayıplar, trafik aksaklıkları, müşteri memnuniyetsizlikleri gibi sorunlara neden olmaktadır. İçmesuyu dağıtım sistemlerinde çeşitli sebeplerle meydana gelen arızaların zamanında tespit edilmesi, onarılması ve sistem bakımının yapılması su kayıp yönetimi, Su İdarelerin ekonomisi ve sürdürülebilir su tedarikinin sağlanması açısından oldukça önem arz etmektedir. Arıza bakım planlamaları rehabilitasyon ve yenileme, temizleme, bakım-onarım gibi çeşitli alternatifleri içeren karmaşık bir süreçtir. Bu çalışmanın genel amacı, içmesuyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların performans göstergeleri ile tespit edilmesi ve arıza bakım onarım süreçlerinin izlenmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla çalışmada kullanılacak olan performans göstergelerinin tespiti için öncelikle literatür taraması yapılmış ve çeşitli kurumlar tarafından arıza yönetimi için önerilen performans göstergeleri elde edilmiş ve çalışma kapsamında çeşitli sorunların çözümü için performans göstergesi önerileri sunulmuştur. Belirlenen 18 gösterge, zorluk düzeyleri, gereksinimleri ve veri yapısı dikkate alınarak temel, orta ve ileri seviye şeklinde gruplandırılmıştır. Çalışma performans göstergelerinin belirlenmesi, göstergeler için gerekli verilerin elde edilmesi, analizin yapılması ve değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Çalışma sonucunda hesaplanan göstergelerin arıza performansının izlenmesinde referans bilgi ürettiği ve arızaların azaltılmasında uygulanan yöntemlerden elde edilen kazanımların analiz edilmesinde de bu göstergelerin önemli faydalar sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** İçme Suyu Dağıtım Sistemleri, Arıza, Arıza Oranı, Performans Göstergeleri.

## Performance Indicators for Monitoring Failure Maintenance and Repair Processes in Water Distribution Systems

### Abstract

Failures in water networks cause problems such as water interruptions, decrease in network pressure, decrease in water quality, loss of water and energy, economic losses, traffic disruptions, and customer dissatisfaction. Detection, repair and system maintenance of failures due to various reasons are very important in terms of water loss management, economy of Water Administrations and ensuring sustainable water supply. Failure maintenance planning is a complex process that includes various alternatives such as rehabilitation and renewal, cleaning, maintenance-repair. The general purpose of this study is to detect the failures in water distribution systems with performance indicators and to monitor the breakdown maintenance and repair processes. For this purpose, in order to determine the performance indicators to be used in the study, first of all, a literature review was made and the performance indicators recommended for failure management by various institutions were obtained and performance indicator suggestions were presented for the solution of various problems within the scope of the study. A total of 18 indicators determined are grouped as basic, intermediate and advanced, taking into account their difficulty levels, needs and data structure. The study consists of the stages of determining the performance indicators, obtaining the necessary data for the indicators, performing the analysis and evaluation.. I was seen that the calculated indicators produce reference information in monitoring the failure performance and these indicators provide significant benefits in analyzing the gains obtained from the methods applied in reducing the failures.

**Keywords:** Water Distribution Systems, Failure, Failure Rate, Performance Indicators.



## 1. Giriş

Dağıtım sistemlerinde çeşitli faktörlere (çevresel, hidrolik, işletme, tasarım, şebeke fiziksel) bağlı olarak arızalar meydana gelmektedir (Pearson, 2019). Arıza sayısının artmasına bağlı olarak işletme maliyeti artmakta, şebeke işletme koşulları bozulmakta ve hizmet kalitesi düşmektedir. Bu nedenle bu arızaların azaltılması ve önlenmesi sistem verimliliğinin iyileştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Ancak bunu gerçekleştirmek için öncelikle meydana gelen arızaların uygun, ölçülebilir ve uygulanabilir göstergelere göre analiz edilmesi ve izlenmesi gerekir (Dighade vd., 2014; Liemberger ve Farley 2004; Moslehi, Jalili-Ghazizadeh, and Yousefi-Khoshqalb 2021; Berardi and Giustolisi 2021; Marzola vd., 2021)

Literatürde arızaların ve sızıntıların yönetilmesi (tespit, önleme, azaltma, kontrol) amacıyla, izole alt ölçüm bölgelerinin oluşturulması ve yönetilmesi (Diano vd., 2013; Mutikanga vd., 2013; Vicente vd., 2016; Karathanasi ve Papageorgakopoulos, 2016; Laucelli vd., 2017; Salomons vd., 2017), basınç kontrol yönetiminin uygulanması (Roshani ve Filion, 2014; Lima vd., 2018; Carmona-Paredes ve Carmona-Benítez, 2018; Fontana vd., 2018), ekonomik ömrünü doldurmuş ve rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesi (Nafi vd., 2008; Rogers ve Grigg, 2009; Graaf ve Brugge, 2010; Tee vd., 2014), arıza tahmin modellerinin geliştirilmesi (Pietrucha-urbanik, 2015; Chik vd., 2017; Kutylowska, 2017; Xu vd., 2018), otomasyon ve yönetim sistemlerinin kullanılması (Eugine, 2017; Farah vd., 2017; Jadhao vd., 2018; Wu vd., 2018) gibi çeşitli yöntem ve araçlar kullanılmaktadır.

Dighade vd., 2014, gelişmekte olan ülkelerde su dağıtım sistemlerinde karşılaşılan sorunların çözümü için uygulanabilir ve ulaşılabilir bir arıza yönetim stratejisinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Liemberger ve Farley 2004, gelir getirmeyen su azaltma stratejisi kapsamında kullanılacak olan verilerin sahadan elde edilmesi ve ulaşılamayan veriler için ise tahmin yöntemlerinin yürütülmesi ve veri doğruluğunun artırılması amaçlanmıştır.

Seago vd., 2007, Her su dağıtım sisteminde kullanım ömrü boyunca bazı arızalar meydana gelebilmektedir. Bu arızalardan kaynaklanan sızıntıların belirlenmesi ve karşılaştırılabilir gerçekçi bir çözüm oluşturulabilmesi önemlidir. Cullinane 1986, bir su dağıtım sistemi suyun dağıtılmasında kullanılan borular, basıncı düzenleyen pompalar, suyu depolayan haznelere gibi mekanik, hidrolik ve elektromanyetik bileşenlerden oluşmaktadır. Su dağıtım sisteminin herhangi bir noktasında meydana gelen arıza tüm sistemi etkileyebilmektedir.

Gheisi vd., 2016, su dağıtım sistemlerinde sık karşılaşılan arıza türleri mekanik, hidrolik, su kalitesi veya güvenlik açığı nedenleriyle meydana gelmektedir. Çalışmada arıza türüne yönelik çözüm önerileri tartışılmıştır. Haider vd., 2015, kaynak yetersizliği, ekonomik sorunlar ve veri kısıtlamaları nedeniyle kıyaslanamayan küçük ve orta ölçekli su hizmetlerinin performans indisleri kullanılarak kıyaslanması amacıyla bir yaklaşım önerilmiştir. Neamtu 2011, su kayıplarını kontrol etmek, sistemin teknik ve ekonomik performansını belirleyerek su kayıp oranını düşürmek amacıyla altyapı kaçak endeksi, cari yıllık gerçek kayıp, yıllık kaçınılmaz gerçek kayıp, ekonomik kaçak endeksi göstergelerini kullanan bir strateji geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, içmesuyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların performans göstergeleri ile analiz edilmesi ve izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla toplamda 18 adet gösterge dikkate alınmıştır. Bu göstergelerin belli bir kısmı literatürde çeşitli

kurumlar tarafından önerilen göstergeleri içermektedir. Belli bir kısmı ise bu çalışma kapsamında önerilmiştir. Bu göstergelerin kullanılması ile dağıtım sistemlerinin arıza yönetim performansının analizi ve değişiminin izlenmesi mümkün olmaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinin arıza performansının analiz edilmesi ve izlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda toplamda 18 göstergeden oluşan bir arıza yönetimi performans değerlendirme sistemi oluşturulmuştur. Bu göstergelerin belli bir kısmı çeşitli kurumlardan (Uluslararası Su Birliği, IWA) tarafından önerilen göstergeleri içerirken belli bir kısmı ise bu çalışma kapsamında önerilmiştir. Bu göstergeler, veri ölçüm zorluğu, gereksinimleri ve uygulama zorlukları esas alınarak “temel seviye (Çizelge 1)”, “orta seviye (Çizelge 2)” ve “ileri seviye (Çizelge 3)” olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

Temel seviye göstergelerde genel olarak yüzeye çıkan (rapor edilen) arızalar şebeke ana hat uzunluğuna ve servis bağlantı sayısına göre analiz edilmektedir. Rapor edilen arızalar, yüzeye çıkmakta, çağrı merkezine bildirilmekte ve onarılmaktadır. Bu arızalarla mücadelede çağrı merkezinin aktif kullanılması, arıza onarım ekibinin yeterli olması gerekir. Bu arıza sayısının ve onarım süresinin azaltılması gerekmektedir. Bu faaliyetler idarenin en temel yapması gereken süreçler olduğu için verileri daha düzenli tutulmaktadır. Bu nedenle bu göstergeler temel seviye sınıfına eklenmiştir.

Çizelge 1. Temel Seviye Performans Göstergeleri

Kodu	Gösterge Adı	Birim	Gösterge Açıklama
PG1	Toplam rapor edilen arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Bu gösterge 100 km şebeke ana hat uzunluğu başına düşen toplam rapor edilen arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde kullanılır ve yıllık hesaplanır. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sistemi ve CBS olmalıdır.
PG2	Rapor edilen şebeke arıza oranı (IWA Op31)	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Bu gösterge 100 km şebeke ana hat uzunluğu başına düşen şebeke ana hat rapor edilen arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde kullanılır ve yıllık hesaplanır. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sistemi ve CBS olmalıdır.
PG3	Rapor edilen servis bağlantı arıza oranı (IWA Op32)	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Bu gösterge 100 km şebeke ana hat uzunluğu başına düşen servis bağlantı rapor edilen arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde kullanılır ve yıllık hesaplanır. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sistemi ve CBS olmalıdır.
PG4	Rapor edilen servis bağlantı arıza oranı (IWA Op32)	arıza/servis bağlantı (1000)/yıl	Bu gösterge 1000 servis bağlantı başına düşen servis bağlantı rapor edilen arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde kullanılır ve yıllık hesaplanır. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sistemi ve CBS olmalıdır.
PG5	Rapor edilen arızalara müdahale verimliliği	%	Bu gösterge dağıtım sisteminde tamiri yapılan arızaların toplam arıza içindeki oranını ifade eder. Bu gösterge özellikle idarede arıza onarım ekibinin performansının izlenmesinde (genelde yıllık) kullanılır. Bu gösterge için arıza yönetim sisteminde verilerin düzenli tutulması gerekir.
PG6	Arıza müdahale süresi	saat	Bu gösterge idarede rapor edilen arızalara müdahale süresini ifade eder. Arıza müdahale süresi uzadıkça sızıntı hacmi artacaktır. Bu gösterge için arıza yönetim sisteminde verilerin düzenli tutulması gerekir. Bu gösterge işletme yönetimi açısından önemli olup aylık izlenmelidir.

Çizelge 2. Orta Seviye Performans Göstergeleri

Kodu	Gösterge Adı	Birim	Gösterge Açıklama
PG7	Şebeke veri doğrulama oranı	%	Bu gösterge verisi sahada doğrulanmış ve CBS veri tabanında güncel olan şebeke oranını (% 100 'e yakın olması gerekir) ifade eder. Bu gösterge aylık/yıllık analiz edilir ancak yıllık olarak değerlendirilir.
PG8	Vana Yoğunluğu (IWA PH8)	vana/şebeke uzunluğu(100 km)/yıl	Bu gösterge verisi sahada doğrulanmış ve CBS veri tabanında güncel olan ve birim şebeke ana hat uzunluğu başına düşen vana oranını verir. Bu gösterge aylık veya yıllık olarak analiz edilmeli ve izlenmelidir. Bu gösterge için güncel CBS şebeke ve vana veri tabanının olması gerekir.
	Vana Yoğunluğu (IWA PH8)	%	Bu gösterge verisi sahada doğrulanmış ve CBS veri tabanında güncel vana oranını (% 100 'e yakın olmalı) verir. Şebekenin yönetilmesinde vanalar kritik öneme sahiptir. Bu gösterge aylık veya yıllık analiz edilmelidir.
PG9	Vana arıza yoğunluğu	%	Bu gösterge şebekedeki vana başına düşen arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde ve izlenmesinde kullanılır. Bu gösterge yıllık hesaplanır. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sistemi olmalı ve CBS vana veri tabanı güncel olmalıdır. Bu gösterge yıllık olarak izlenmelidir.
PG10	Vana bakım oranı	%	Bu gösterge sistemde vana sayısı başına yapılan denetim sayısını ifade eder. Bu gösterge özellikle şebeke yönetiminde kritik öneme sahip olan vanaların düzenli çalışması için önemlidir. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir vana yönetim sisteminin olması ve CBS vana veri tabanında güncel olması gerekir. Bu gösterge yıllık olarak izlenmelidir.
PG11	Vana Değişim oranı	%	Bu gösterge sistemde vana sayısı başına değiştirilen vana sayısını ifade eder. Bu gösterge konumsal ve zamansal olarak değiştirilen vanaların izlenmesi, bakım ve denetim planlarının oluşturulması ve vana yönetimi için önemlidir. Bunun için verilerin düzenli tutulduğu bir vana yönetim sisteminin olması ve CBS vana veri tabanında güncel olması gerekir. Bu gösterge yıllık olarak izlenmelidir.
PG12	Yenilenen bölge arıza oranı	%	Bu gösterge şebeke yenilenen bölgede yenileme verimliliğinin izlenmesinde kullanılır. Bu gösterge yıllık hesaplanır. Bu gösterge için iyi çalışan ve verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sisteminin olması ve CBS şebeke veri tabanının güncel olması gerekir. Bu gösterge aylık veya yıllık olarak analiz edilmeli ancak yıllık olarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 2 incelendiğinde, genel olarak şebeke elemanlarının bakım onarım ve değişim süreçlerinin izlenmesi amaçlanmaktadır. Bu süreçler genel olarak zaman alıcı, maliyetli ve oldukça fazla gereksinimlere sahiptir. Bu nedenle bu göstergelerin zorluk düzeyi dikkate alınarak orta seviye uygulamalara eklenmiştir. Vanalar, dağıtım sistemlerinde, işletme koşullarının sağlanması, arızaların yönetilmesi ve onarılması, hidrolik parametrelerin (debi ve basınç) düzenlenmesinde kullanılmaktadır. Bu elemanların yerinin bilinmesi, bakım programının oluşturulması, düzenli izlenmesi, sürekli arıza oluşturanların yenilenmesi gibi süreçlerin izlenmesi gerekir. Çizelge 2’de verilen göstergeler temel olarak bu süreçlerin izlenmesi kapsamında teknik personeller için referans oluşturmaktadır.

Çizelge 3’te verilen göstergeler bir idarede/sistemde ileri seviye uygulamaları içermektedir. Bu göstergelerin hesaplanmasında kullanılan rapor edilmeyen (yüze çıkmayan) arızaların elde edilmesi için idarede aktif sızıntı kontrolünün uygulanması gerekir. Bu yöntem dağıtım sistemlerinde yüze çıkmayan arızaların tespit edilmesi ve onarılması için uygulanan, izole ölçüm bölgelerinin planlanması, minimum gece debisinin analizi ve akustik ekipmanlarla sızıntı yerinin tespiti faaliyetlerinin yapılması gerekir. Bunların yapılması için, kurumsal ve personel deneyiminin yeterli olması, teknik alt yapının uygun olması ve farkındalığın olması gerekir. Bu nedenle bu göstergeler ileri seviye uygulamalar sınıfına eklenmiştir.

Çizelge 3. İleri Seviye Performans Göstergeleri

Kodu	Gösterge Adı	Birim	Gösterge Açıklama
PG13	Şebeke Arıza sıklık indeksi	birimsiz	Bu gösterge şebekedeki arıza oranının uluslararası literatürde önerilen sınır değerlere göre kıyaslanmasını sağlar. Bu göstergenin 1'e yakın olması sistemin iyi bir davranış gösterdiğini ifade eder. Özellikle konumsal olarak değişimlerin izlenmesi ve şebeke yenilemeye karar vermede referans alınabilir. Bu gösterge için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sisteminin olması ve şebeke uzunluğunun CBS veri tabanında güncel olması gerekir. Bu gösterge yıllık olarak analiz edilmeli ve izlenmelidir.
PG14	Servis Bağlantı Arıza sıklık indeksi	birimsiz	Bu gösterge şebekedeki arıza oranının uluslararası literatürde önerilen sınır değerlere göre kıyaslanmasını sağlar. Bu göstergenin 1'e yakın olması sistemin iyi bir davranış gösterdiğini ifade eder. Özellikle konumsal olarak değişimlerin izlenmesi ve şebeke yenilemeye karar vermede referans alınabilir. Bu gösterge için verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sisteminin olması ve şebeke uzunluğunun CBS veri tabanında güncel olması gerekir. Bu gösterge yıllık olarak analiz edilmeli ve izlenmelidir.
PG15	Servis bağlantı yenileme oranı	%	Bu gösterge servis bağlantı başına yenilenen servis bağlantı sayısını ifade eder. Özellikle arızaların önemli bir kısmı servis bağlantılarında meydana geldiği için bu gösterge yenileme verimliliğini ve arıza üzerindeki etkisini izlemede önemlidir. Bunun için güncel CBS veri tabanına ihtiyaç vardır. Bu gösterge yıllık olarak analiz edilmeli ve izlenmelidir.
PG16	Servis bağlantı verimliliği	%	Bu gösterge yenilenen servis bağlantı başına idare tarafından yenilenen servis bağlantı sayısını ifade eder. Özellikle arızaların önemli bir kısmı servis bağlantılarında meydana geldiği için bu gösterge yenileme verimliliğini ve arıza üzerindeki etkisini izlemede önemlidir. Güncel CBS veri tabanına ihtiyaç vardır. Bu gösterge yıllık olarak analiz edilmelidir.
PG17	Rapor edilmeyen servis bağlantı arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Bu gösterge birim şebeke ana hat uzunluğu başına düşen toplam rapor edilmeyen servis bağlantı arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde ve izlenmesinde kullanılır. Özellikle konumsal olarak değişimlerin izlenmesi ve şebeke yenilemeye karar vermede referans alınabilir. Bu gösterge yıllık hesaplanır. Bu gösterge için iyi çalışan ve verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sisteminin olması ve şebeke uzunluğunun CBS veri tabanında güncel olması gerekir.
PG18	Rapor edilmeyen şebeke arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Bu gösterge birim şebeke ana hat uzunluğu başına düşen toplam rapor edilmeyen şebeke arıza sayısını ifade eder. Bu gösterge bölgesel olarak arıza yoğunluğunun analizinde ve izlenmesinde kullanılır. Özellikle konumsal olarak değişimlerin izlenmesi ve şebeke yenilemeye karar vermede referans alınabilir. Bu gösterge yıllık hesaplanır. Bu gösterge için iyi çalışan ve verilerin düzenli tutulduğu bir arıza yönetim sisteminin olması ve şebeke uzunluğunun CBS veri tabanında güncel olması gerekir.

Çizelge 4. Performans Göstergeleri ve Kullanılan Veriler

Kodu	Birim	Gösterge Hesabı	Veri Adı (Kodu)
PG1	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	(V1/V2)*100	Toplam rapor edilen Arıza sayısı (V1) (adet) Şebeke Uzunluğu (V2) (km)
PG2	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	(V3/V2)*100	Rapor edilen şebeke Arıza sayısı (V3) (adet) Şebeke Uzunluğu (V2) (km)
PG3	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	(V4/V2)*100	Rapor edilen Servis Bağlantı Arıza sayısı (V4) (adet) Şebeke Uzunluğu (V2) (km)
PG4	arıza/servis bağlantı (1000)/yıl	(V4/V5)*1000	Rapor edilen Servis Bağlantı Arıza sayısı (V4) (adet) Servis Bağlantı Sayısı (V5) (adet)
PG5	%	(V6/V1)*100	Tamiri yapılan rapor edilen arıza sayısı (V6) (adet) Toplam Rapor Edilen Arıza sayısı (V1) (adet)
PG6	saat	V19	Rapor edilen arızalara müdahale süresi (saat) (V19) (saat)
PG7	%	(V7/V2)*100	Verisi Doğrulanmış CBS Veri Tabanı olan şebeke uzunluğu (km) (V7) (km) Şebeke Uzunluğu (V2) (km)
PG8	vana/şebeke uzunluğu(100km)/yıl	V8/V2*100	CBS veritabanı olan ve yeri bilinen vana Sayısı (V8) (adet) Şebeke Uzunluğu (V2) (km)
	%	(V8/V9)*100	CBS veritabanı olan ve yeri bilinen vana Sayısı (V8) (adet) Toplam vana sayısı (V9) (adet)
PG9	%	V10/V8*100	Vana arıza sayısı (V10) (adet) CBS veritabanı olan ve yeri bilinen vana Sayısı (V8) (adet)
PG10	%	(V11/V8)*100	Bakım-denetim yapılan vana sayısı (V11) (adet) CBS veritabanı olan ve yeri bilinen vana Sayısı (V8) (adet)
PG11	%	(V12/V8)*100	Değiştirilen vana sayısı (V12) (adet) CBS veritabanı olan ve yeri bilinen vana Sayısı (V8) (adet)

PG12	%	$(V13/V14)*100$	Şebeke yenilenen bölgede arıza sayısı (V13) (adet) Şebeke yenilemeden önceki arıza sayısı (V14) (adet)
PG13	birimsiz	$((V3+V15)/V2)*100/13$	Rapor edilen Şebeke Arıza sayısı (V3) (adet) Rapor Edilmeyen Şebeke Arıza sayısı (V15) (adet) Şebeke Uzunluğu (V2) (km) Şebeke arıza referans değeri (13/100km)
PG14	birimsiz	$((V4+V16)/V5)*1000/3$	Rapor edilen Servis Bağlantı Arıza sayısı (V4) (adet) Rapor Edilmeyen Servis Bağlantı Arıza sayısı (V16) (adet) Servis bağlantı sayısı (V5) (adet) Servis bağlantı referans arıza değeri (3/1000 bağlantı)
PG15	%	$(V17/V5)*100$	Yenilenen (yeni yapılan) servis bağlantı sayısı (V17) (adet) Servis Bağlantı Sayısı (V5) (adet)
PG16	%	$(V18/V17)*100$	İdare tarafından yapılan servis bağlantı sayısı (V18) (adet) Yenilenen (yeni yapılan) servis bağlantı sayısı (V17) (adet)
PG17	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	$V16/V2*100$	Rapor edilmeyen Servis Bağlantı Arıza sayısı (V16) (adet) Şebeke uzunluğu (V2) (km)
PG18	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	$V15/V2*100$	Rapor Edilmeyen Şebeke arıza sayısı (V15) (adet) Şebeke uzunluğu (V2) (adet)

Çizelge 4'te verilen göstergelerin doğru ve sistematik bir şekilde hesaplanabilmesi için dağıtım sisteminde verilerin düzenli tutulması oldukça önemlidir. Bu nedenle idarede temel olarak aşağıda verilen çalışmaların yapılması ve izleme sistemlerinin kullanılması gerekir;

- CBS şebeke ve servis bağlantı veri tabanının oluşturulması ve sistematik olarak güncellenmesi
- CBS vana veri tabanının oluşturulması ve sistematik güncellenmesi
- Çağrı merkezi ve arıza yönetim sisteminin olması ve verilerin düzenli tutulması
- Yıllık bakım onarım programının oluşturulması, CBS ile izlenmesi ve verilerin tutulması
- Rapor edilmeyen sızıntılar için aktif sızıntı kontrolünün uygulanması
- Performans izleme ve analiz sisteminin oluşturulması

### • 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

- Çalışma kapsamında Çizelge 4'te verilen göstergeler için pilot idareler ait veri setleri için uygulama yapılmıştır (Çizelge 5). Önceki bölümde de bahsedildiği gibi göstergelerin doğru bir şekilde hesaplanması için verilerin düzenli ölçülmesi esastır. Çizelgede koyu renk ile gösterilen ve 0 (sıfır) yazılan veriler idarelerde tutulmadığı için bunların kullanıldığı performans göstergeleri hesaplanmamıştır. Çizelge 5'ta gösterilen veriler kullanılarak performans göstergeleri hesaplanmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 5. Pilot Sistemlere ait Veriler

Veri Kodu	Arıza Bakım Onarım	Birim	Sistem 1	Sistem 2
V1	Toplam Rapor Edilen Arıza sayısı (adet)	adet	9,264	10,500
V2	Şebeke Uzunluğu (km)	km	2,186	2578
V3	Rapor edilen şebeke Arıza sayısı (adet)	adet	3,973	480
V4	Rapor edilen Servis Bağlantı Arıza sayısı (adet)	adet	5,291	10020
V5	Servis Bağlantı Sayısı (adet)	adet	127 138	182000
V6	Tamiri yapılan rapor edilen arıza sayısı (adet)	adet	7,947	10500
V7	Verisi Doğrulanmış CBS Veri Tabanı olan şebeke uzunluğu (km)	km	0.00	2578
V8	CBS veritabanı olan ve yeri bilinen vana Sayısı (adet)	adet	4,066	2210
V9	Toplam vana sayısı (adet)	adet	4,066	2365
V10	Vana arıza sayısı (adet)	adet	55	150
V11	Bakım-denetim yapılan vana sayısı (adet)	adet	93	200
V12	Değiştirilen vana sayısı	adet	43	125
V13	Şebeke yenilenen bölgede arıza sayısı (adet)	adet	0.00	63
V14	Şebeke yenilemeden önceki arıza sayısı (adet)	adet	0.00	127
V15	Rapor Edilmeyen Şebeke arıza sayısı (adet)	adet	0.00	0
V16	Rapor edilmeyen Servis Bağlantı Arıza sayısı (adet)	adet	0.00	0
V17	Yenilenen (yeni yapılan) servis bağlantı sayısı (adet)	adet	210	2320
V18	İdare tarafından yapılan servis bağlantı sayısı (adet)	adet	0.00	2210
V19	Rapor edilen arızalara müdahale süresi (saat)	adet	14,3	3

Çizelge 6. Pilot Sistemler için Performans Gösterge Hesabı

Kodu	Gösterge Adı	Birim	Sistem 1	Sistem 2
PG1	Toplam rapor edilen arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	423.85	409.55
PG2	Rapor edilen şebeke arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	181.77	18.85
PG3	Rapor edilen servis bağlantı arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	242.07	390.69
PG4	Rapor edilen servis bağlantı arıza oranı	arıza/servis bağlantı (1000)/yıl	308.73	50.77
PG5	Rapor edilen arızalara müdahale verimliliği	%	85.78	100.00
PG6	Arıza müdahale süresi	saat	14,30	3.00
PG7	Şebeke veri doğrulama oranı	%	Veri Yok	100.00
PG8	Vana Yoğunluğu	vana/şebeke uzunluğu(100km)/yıl	186.03	85.73
	Vana Yoğunluğu	%	100.00	93.45
PG9	Vana arıza yoğunluğu	%	1.35	6.79
PG10	Vana bakım oranı	%	2.29	9.05
PG11	Vana Değişim oranı	%	1.06	5.66
PG12	Yenilenen bölge arıza oranı	%	Veri Yok	49.61
PG13	Şebeke Arıza sıklık indeksi	birimsiz	13.98	1.45
PG14	Servis Bağlantı Arıza sıklık indeksi	birimsiz	102.91	16.92
PG15	Servis bağlantı yenileme oranı	%	9.61	90.00
PG16	Servis bağlantı verimliliği	%	Veri Yok	95.26
PG17	Rapor edilmeyen servis bağlantı arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Veri Yok	Veri Yok
PG18	Rapor edilmeyen şebeke arıza oranı	arıza/şebeke uzunluğu (100km)/yıl	Veri Yok	Veri Yok

Çizelge 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde, her iki sistemde de 100 km başına toplam arıza oranları yüksek seviyededir. Diğer taraftan, şebekede rapor edilen arıza oranlarına göre, sistem 1 için hesaplanan göstergenin sistem 2'ye göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Sistem 1'de bu oranının yüksek olmasında şebeke yaşı, basınç, boru malzeme kalitesi gibi temel faktörlerin etkili olduğu şeklinde yorum yapılabilir. Benzer şekilde servis bağlantılarındaki arıza oranlarına göre sistem 1 için elde edilen değerler yine çok yüksek olduğu söylenebilir. Bu iki göstergeye göre sistem 1'de bu oranların azaltılması için basınç yönetimi, boru malzeme ve işçilik kalitesinin iyileştirilmesi gibi yöntemler uygulanabilir.

Diğer taraftan sistem 1'de arızaların % 86'sı onarılırken, sistem 2'de tamamı onarılmış durumdadır. Su, enerji ve finansal verimlilik için bu göstergenin % 100 olması gerekir. Ayrıca, arızalara müdahale süreleri incelendiğinde, sistem 2'de süre oldukça iyi düzeyde iken, sistem 1'de ise 14 saat oldukça yüksektir. Bu sürenin artması, sızıntı hacminin artması, abone şikayetlerinin ve su kesintilerinin artması ve hizmet kalitesinin düşmesi anlamı taşımaktadır. Bu nedenle bu sürenin genel olarak 3 ile 5 saat arasında olması önerilir.

Diğer taraftan vanalarla ilgili hesaplanan göstergeler incelendiğinde, PG8 göstergesinin her iki sistemde de % 100 veya yakın olarak hesaplanmış olması performansın oldukça iyi düzeyde olduğunu ifade etmektedir. Çizelgede PG12 göstergesinin sistem 1'de veri olmadığı için hesaplanmadığı, sistem 2'de ise oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yeni yapılan bölgede arıza oluşumu genellikle beklenen bir durum değildir. Çizelgede PG17 ve PG18 göstergelerinin hesaplanması için gereken verinin her iki sistemde de olmadığı anlaşılmaktadır. Bu verileri toplamak için aktif sızıntı kontrolünün planlanması ve sahada uygulanması gerekir.

Son olarak PG13 ve PG14 göstergeleri uluslararası literatürde de yaygın bir şekilde kullanılan arıza sıklık indislerini ifade etmektedir. Bu gösterge, dağıtım sisteminde 100 km başına meydana gelen arızaların literatürde önerilen teknik olarak en düşük arıza sayısına oranı şeklinde hesaplanır. Şebeke ana hatlarında 13 arıza/100km/yıl gibi teknik olarak en düşük arıza oranı önerilmiştir. Benzer şekilde servis bağlantılarında 3/1000bağlantı/yıl şeklinde en düşük arıza oranı önerilmiştir. PG13 ve PG14 göstergelerinin 1'e yakın olması sistemin iyi bir performansa sahip olduğunu ifade etmektedir. Çizelge incelendiğinde sistem 2 için PG13 oldukça iyi düzeydedir. Ancak bu sistemde PG14 göstergesinin ise oldukça yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, sistem 1 için PG13 ve PG14 göstergelerinin oldukça yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların performans göstergelerine göre izlenmesi ve yönetilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda toplam 18 adet gösterge dikkate alınmıştır. Bu performans göstergeleri zorluk düzeyleri, gereksinimleri ve veri yapısı dikkate alınarak temel, orta ve ileri seviye şeklinde gruplandırılmıştır. Çalışmada iki pilot sisteme ait veriler kullanılarak analiz yapılmış ve değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda özellikle temel seviye göstergelerin hesaplanmasında kullanılan veriler her iki sistemde de tutulmaktadır. Ancak özellikle ileri bazı ileri seviye göstergelerin hesabında kullanılan verilerin toplanmasında yaşanan zorluklar nedeniyle hesaplama yapılamamıştır. Dağıtım sistemlerinde ana hat başına veya servis bağlantı başına hesaplanan göstergelerin, şebekenin fiziksel özelliklerini de dikkate almasından dolayı

süreç içindeki değişimlerin analiz edilmesinde fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Arızaların yönetilmesinde en önemli parametrelerden biri olan arıza onarım süresinin izlenmesi sızıntı hacminin azaltılması için oldukça önemlidir. Örnek hesaplama yapılan sistemlerden, sistem 1 için hesaplanan göstergelerin genellikle düşük performansa sahip olduğu, sistem 2 için hesaplanan göstergelerin ise genel olarak iyi düzeyde olduğu söylenebilir. Özellikle arıza yönetiminde yaygın bir şekilde kullanılan arıza sıklık indislerinin sistem 1'de oldukça yüksek değere sahip olduğu ve iyileştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında hesaplanan göstergelerin arıza performansının izlenmesinde referans bilgi üretmektedir. Ayrıca, arızaların azaltılmasında uygulanan yöntemlerden elde edilen kazanımların analiz edilmesinde de bu göstergeler önemli faydalar sağlamaktadır.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Proje No: 220M091) tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynakça

- Berardi, L., & Giustolisi, O. (2021). Calibration of Design Models for Leakage Management of Water Distribution Networks'. *Water Resources Management* 35(8), 2537–51.
- Carmona-Paredes, R.B., & Carmona-Benítez, R.B. (2018). Pressure Management in Water Distribution Systems Using a Self-Tuning Controller to Distribute the Available Potable Water with Equality. *Water Resources Management* 32(5), 1651–73.
- Chik, L., Albrecht, D., & Kodikara, J. (2017). Estimation of the Short-Term Probability of Failure in Water Mains. *Journal of Water Resources Planning and Management*. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000730.
- Cullinane, M. J. (1986). Hydraulic reliability of urban water distribution systems. *Proc., Water Forum 1986: World Water Issues in Evolution*, ASCE, Reston, VA, 1264–1271.
- Diao, K., Zhou, Y., & Auch, W. (2013). Automated creation of district metered area boundaries in water distribution systems. *J Water Resour Plan Manag.* 139(2), 184-190.
- Eugene, M. (2017). Predictive Leakage Estimation Using the Cumulative Minimum Night Flow Approach. *American Journal of Water Resources*. 5(1), 1-4.
- Farah, E., & Shahrour, I. (2017). Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow. *Water Resources Management*. 31, 4821-4833.
- Fontana, N., Giugni, M., Glielmo, L., Marini, G., & Zollo, R. (2018). Real-Time Control of Pressure for Leakage Reduction in Water Distribution Network: Field Experiments. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 144(3), doi://10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000887.
- Gheisi, A., Forsyth, M., Naser, G. (2016). Water distribution systems reliability: A review of research literature. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142 (11), 1-13.
- Haider, H. (2015). Performance Management Framework for Small to Medium Sized Water Utilities : Conceptualization to Development and Implementation. *Civil Engineering*. 889–900.
- Jadhao, R.D., & Gupta, R. (2018). Calibration of Water Distribution Network of the Ramnagar Zone in Nagpur City Using Online Pressure and Flow Data. *Applied Water Science*. 8, 29.

- Kutyłowska, M. (2017). Comparison of Two Types of Artificial Neural Networks for Predicting Failure Frequency of Water Conduits. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 61(1), 1-6.
- Laucelli, D.B., Simone, A., Berardi, L., & Giustolisi, O. (2017). Optimal Design of District Metering Areas for the Reduction of Leakages. *Journal of Water Resources Planning and Management* 143 (6), 04017017.
- Marzola, I., Alvisi, S., & Franchini, M. (2021). 'Analysis of MNF and FAVAD Models for Leakage Characterization by Exploiting Smart-Metered Data: The Case of the Gorino Ferrarese (Fe-Italy) District. *Water (Switzerland)* 13(5).
- Meirelles, L., Brentan, B.M., & Luvizotto, E. (2018). Optimal Design of Water Supply Networks Using an Energy Recovery Approach. *Renewable Energy*. 117, 404-413. doi:10.1016/j.renene.2017.10.080.
- Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M., & Yousefi-Khoshqalb, E. (2021). Developing a Framework for Leakage Target Setting in Water Distribution Networks from an Economic Perspective. *Structure and Infrastructure Engineering* 17(6), 821-37.
- Mutikanga, H.M., Sharma, S.K., & Vairavamoorthy, K. (2013). Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 139 (2), 166-174.
- Nafi, A., Wery, C., & Llerena, P. (2008). Water Pipe Renewal Using a Multiobjective Optimization Approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*. doi:10.1139/L07-075.
- Neamtu, C. (2011). The Use of Water Balance in Determining the Water Loss Strategy. *Water Utility Journal*. 2, 61-68.
- Pietrucha-Urbanik, K. (2015). Failure Analysis and Assessment on the Exemplary Water Supply Network. *Engineering Failure Analysis* 57, 137-142. doi:10.1016/j.engfailanal.2015.07.036.
- Rogers, P.D., & Grigg, N.S. (2009). Failure Assessment Modeling to Prioritize Water Pipe Renewal: Two Case Studies. *Journal of Infrastructure Systems*. 15(3), doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(2009)15:3(162).
- Roshani, E., & Fillion, Y. (2014). WDS Leakage Management through Pressure Control and Pipes Rehabilitation Using an Optimization Approach. *Procedia Engineering* 89, 21-28.
- Rutger de Graaf, R.B. (2010). Transforming water infrastructure by linking water management and urban renewal in Rotterdam, *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1282-1291.
- Salomons, E., Skulovich, O., & Ostfeld, A. (2017). Battle of Water Networks DMAs: Multistage Design Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 143(10), doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000830.
- Tee, K.F., Khan, L.R., Chen, H.P., & Alani, A.M. (2014). Reliability Based Life Cycle Cost Optimization for Underground Pipeline Networks. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 43, 32-40.
- Xu, Q., Qiang, Z., Chen, Q., Liu, K., & Cao, N. (2018). A Superposed Model for the Pipe Failure Assessment of Water Distribution Networks and Uncertainty Analysis: A Case Study." *Water Resources Management*. 32 (5), 1713-1723.
- Vicente, D. J., Garrote, L., Sánchez, R., & Santillán, D. (2016). Pressure Management in Water Distribution Systems: Current Status, Proposals, and Future Trends. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142 (2), 1-13.
- Wu, Y., Liu, S., Smith, K., & Wang, X. (2018). Using Correlation between Data from Multiple Monitoring Sensors to Detect Bursts in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 144(2), doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000870.





# A Statistical Study on Some Micromorphological Characters

Alperen Özdemir<sup>1</sup>, Ali Özdemir<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Georgia Institute of Technology, Department of Mathematics, Atlanta, USA, (ORCID: 0000-0003-2730-7240), alperenozdemir678@gmail.com

<sup>2\*</sup> Manisa Celal Bayar University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9330-7084), acaozdemir@gmail.com

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1077841)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, A. & Özdemir, A. (2022). A Statistical Study on Some Micromorphological Characters. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 135-141.

## Abstract

In this study, the micromorphological features of 19 *Salvia* L. taxa belonging to the Lamiaceae family were compared statistically. For micromorphological studies, the manual cross sections were prepared. The sections were colored using safranin and fast-green dyes and after that, photographed by different magnification of light microscope. The data obtained from the micromorphological features of the investigated samples were turned into tables and were used for statistical studies. Significance level of the differences between the taxa and micromorphological characters were evaluated by Analysis of variance (Regression Analysis) and Pearson's correlation. The differences were also assessed by the one-way ANOVA test. As the results of this study show that the quantitative micromorphological characters such as lower epidermis width and lower epidermis length are the most appropriate taxonomical characters that can be used to separate taxa. By this study, it has been found that the results from numerical analysis of micromorphological characters can provide additional evidence for the recognition of the taxa. In addition, the results showed that the investigated taxa also could be distinguished from each other not only by their morphological features but numerical micromorphological anatomical characters as well. Statistical analyses were performed using the MINTAB software package.

**Keywords:** Statistical comparison, Micromorphological characters, *Salvia*.

## Bazı Mikromorfolojik Karakterler Üzerine İstatistiksel Bir Çalışma

### Öz

Bu çalışmada, Lamiaceae familyasına ait 19 *Salvia* L. taksonunun bazı mikromorfolojik özellikleri istatistiksel olarak karşılaştırıldı. Mikromorfolojik çalışmalar için örneklerin yapraklarından el kesitleri alındı. Kesitler safranin ve fast-green boyaları ile renklendirildikten sonra ışık mikroskopunda farklı büyütme oranlarında fotoğraflandı. İncelenen örneklerin mikromorfolojik özelliklerinden elde edilen veriler tablolara dönüştürülerek istatistiksel çalışmalarda kullanılmıştır. Taksonlar ve mikromorfolojik karakterler arasındaki istatistiksel farklılıkların önemlilik düzeyi, Varyans Analizi (Regresyon Analizi) ve Pearson korelasyonu ile değerlendirildi. Farklılıklar ayrıca tek yönlü ANOVA testi ile değerlendirildi. Çalışmanın sonucu, alt epidermis boyu ve alt epidermis eni gibi kantitatif mikromorfolojik karakterlerin, taksonları ayırmak için kullanılabilir en uygun taksonomik karakterler olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile mikromorfolojik karakterlerin sayısal analizinden elde edilen sonuçların taksonların tanınması için ek kanıt sağlayabileceği bulunmuştur. Ayrıca sonuçlar, incelenen taksonların sadece morfolojik özellikleri ile değil aynı zamanda sayısal mikromorfolojik anatomik karakterleri ile de birbirinden ayırt edilebildiğini göstermiştir. Çalışmada istatistiksel analizler MINTAB yazılım paketi kullanılarak yapıldı.

**Anahtar kelimeler:** İstatistik karşılaştırma, Mikromorfolojik karakterler, *Salvia*

## 1. Introduction

Lamiaceae is a family rich in wild aromatic plant species and antioxidant compounds beneficial to humans [1]. *Salvia L.* is one of the largest belonging to the Lamiaceae [2]. It is known that *Salvia* taxa, which have antibacterial, carminative, stimulant, diuretic, and spasmolytic properties, have been used for treatment since the earliest times [3]- [6].

Micromorphological studies of Lamiaceae have been carried out by many authors; however, numerical studies carried out on the taxa were limited [7]- [9].

We have not found any studies on statistical comparison of numerical micromorphological features used in this study, such as this one we have done. The micromorphological variations in the taxa have been investigated by means of numerical methods. Results have been supported by tables. The purpose is to determine statistically the closeness of the taxa with the help of numerical micromorphological characters.

## 2. Material and Method

The samples were collected from natural populations. Taxonomic description of the plant was made according to Davis [10].

Some leaf micromorphological characters were selected for the numerical analysis (Table 1). This selection was based on the variations of the anatomical data. The reason for choosing the micromorphological characters evaluated for statistical study is that these characters variability among different taxa and can be used in common for taxonomic identification. Measurements were made in these structures. Minimum, maximum, average and standard error values were determined, and these values were turned into tables. Characters were coded as 1, 2, 3, 4 and the taxa were coded as A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, R, S, T (Table 1).

Significance level of the differences between the taxa and micromorphological characters were evaluated by Analysis of variance (Regression Analysis) and Pearson's correlation. The differences were also assessed by the one-way ANOVA test. Statistical analyses were performed using the MINITAB software package (Table 2-7).

## 3. Conclusion and Discussion

The results of present research were shown that the leaf sections of the taxa are similar with the general characteristics. Epidermis cells, which are leaf protective tissues of taxa, were observed to be covered with cuticles of different thicknesses in all taxa examined. The epidermis cells covering both the lower and upper surfaces of the leaves were arranged in different and similar sizes and shapes, depending on the taxa studied.

The minimal and maximal values of micromorphological characteristics of taxa as well as arithmetical means were shown in Table 1. Significance level of the differences between the taxa and micromorphological characters were evaluated by Analysis of variance (Regression Analysis) and Pearson's correlation.

The differences were also assessed by the one-way ANOVA test. The results of the statistical analyzes were shown in Tables 2, 3, 4, 5, 6 and 7.

When taxa and micromorphological characters are compared in based on One-way ANOVA test, the significant difference (sig.= 0,009) has been found at level  $p < 0.05$  among the micromorphological characters, Table 2 shows. Furthermore, a significant difference (sig. = 0,017) has been found among the investigated taxa at level  $p < 0.01$  based on One-way ANOVA test (Table 3)

According to Table 4 based on Pearson correlation analysis, upper epidermis length (sig. = 0.004) and lower epidermis width (sig. = 0.050) /upper epidermis width display significant differences at level  $p < 0.05$  and  $P < 0.01$ . According to the same table upper epidermis length (sig. = 0.012) and lower epidermis width (sig. = 0.003) /lower epidermis length display significant differences at level  $p < 0.05$  and  $P < 0.01$ .

Similarly, according to Table 5 based on Analysis of Variance, there are important correlations among the micromorphological characters investigated taxa, shown as 1 -2, 1-3 and 3-4 (respectively sig. = 0.004, 0.052 and 0.03) at levels of 0.01 and 0.05 (Table 5).

On the other hand, when the results obtained by comparing the taxa with both different statistical methods are examined, the following results were obtained.

According to Table 6 based on there are important correlations among investigated taxa, shown as (A-F, K, M); (B-D, E, F, H, J, K, M); (C-G); (D-F, G, H, J, K, P); (E-J); (F-J, K); (G-P); (H-J, O, P) (J-K, N, O, P); (K-N, R) ;(M-R, T) and (O-P) at levels of 0.01 and 0.05 (Table 6).

Similarly, according to Table 7 that based on Analysis of Variance there are important correlations among the investigated taxa, shown as (A-F, K, M); (B-D, E, F, H, K); (D-F, G, H, K, P); (F-B, R); (G-P); (H-O, P); (J-B, D, F, K, O, P); (K-F, R); (M-R) and (O-P) at levels of 0.01 and 0.05 (Table 7).

On the other hand, according to both the method for investigated taxa coded as A-T, positive statistically significant correlations between (A-F, K, M); (B-D, E, F, H, K, M); (C-G); (D-F, G, H, K, P); (E-J); (F-J, K); (G-P); (H-O, P) (J-K, O, P); (K-R); (M-R) and (O-P) at levels of 0.01 and 0.05 were observed (Table 6,7). The highest similarity (for both the method) was revealed between F and K as sig. = 0.001.

This study aims via numerical analyses of the variations in the leaf micromorphological characteristics, to identify similarities and differences of 19 taxa. Another aim of the study is to define the variability of the investigated taxa and introduce the diagnostic leaf micromorphological characters useful in separation of the taxa.

In the literature, many researchers showed the importance of the micromorphological characters [7], [8], [11]. Also, Metcalf and Chalk pointed to the importance of leaf anatomy characters [12].

Kocsis et al., have studied with the Rubiaceae family and have examined the anatomy of the petioles and showed the importance it has in terms of taxonomic classification [13]. Olowokudejo studied the miromorphological features of 46 taxa belonging to the Cruciferae family and reported the importance micromorphological features [14].

Table 1. The measurements of micromorphological characters of investigated taxa

	Taxon	Upper epidermis						Lower epidermis					
		1 Widht (µm)			2 Lenght (µm)			3 Widht (µm)			4 Lenght (µm)		
		Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD
<b>A</b>	<i>S. recognita</i> Fisch. Et Mey. <b>En.</b>	15.10	±	2.02	17.50	±	5.60	24.40	±	4.00	27.30	±	2.00
<b>B</b>	<i>S. bracteate</i> Banks Et Sol.	27.20	±	2.10	23.40	±	2.10	32.50	±	8.10	36.40	±	6.10
<b>C</b>	<i>S. huberi</i> Hedge <b>En.</b>	31.30	±	3.60	23.50	±	5.30	34.50	±	2.40	14.40	±	3.40
<b>D</b>	<i>S. wiedemannii</i> Boiss. <b>En.</b>	22.00	±	2.10	15.10	±	2.10	34.60	±	2.10	38.30	±	1.10
<b>E</b>	<i>S. tchihatcheffii</i> (Fisch. Et Mey.) Boiss. <b>En.</b>	12.30	±	6.20	18.50	±	3.20	24.50	±	5.00	14.50	±	7.00
<b>F</b>	<i>S. suffruticosa</i> Montbret Et Aucher Ex Bentham	13.10	±	9.50	10.10	±	7.20	29.50	±	3.80	37.40	±	3.20
<b>G</b>	<i>S. cadmica</i> Boiss. <b>En.</b>	40.30	±	6.10	28.30	±	2.10	54.50	±	5.20	53.10	±	6.10
<b>H</b>	<i>S. smrynaea</i> Boiss. <b>En.</b>	31.00	±	3.20	23.50	±	3.40	34.50	±	2.60	38.10	±	4.30
<b>I</b>	<i>S. blepharochlaena</i> Hedge Et Hub-Mor. <b>En.</b>	18.10	±	4.70	22.50	±	7.70	20.70	±	5.20	36.20	±	2.60
<b>J</b>	<i>S. multicaulis</i> Vahl	25.40	±	2.20	17.20	±	4.10	32.50	±	5.30	39.30	±	4.10
<b>K</b>	<i>S. cryptantha</i> Montbret Et Aucher Ex Bentham <b>En.</b>	21.00	±	4.30	17.30	±	3.10	35.50	±	3.20	42.40	±	6.70
<b>L</b>	<i>S. viridis</i> L.	34.40	±	19.6	53.60	±	33.5	24.40	±	15.1	33.30	±	14.1
<b>M</b>	<i>S. sclarea</i> L.	30.13	±	3.30	27.20	±	2.30	21.50	±	5.50	17.20	±	3.60
<b>N</b>	<i>S. chrysophylla</i> Stapf <b>En.</b>	23.10	±	2.30	30.50	±	2.20	20.10	±	6.20	32.10	±	4.30
<b>O</b>	<i>S. microstegia</i> Boiss. Et Bal.	19.10	±	3.10	12.10	±	3.10	20.35	±	2.60	23.40	±	3.10
<b>P</b>	<i>S. limbate</i> C. A. Meyer	23.10	±	4.90	18.50	±	4.10	28.10	±	3.20	31.30	±	6.20
<b>R</b>	<i>S. forskahlei</i> L.	18.10	±	7.30	21.30	±	2.10	33.50	±	6.70	38.40	±	5.10
<b>S</b>	<i>S. argentea</i> L.	29.10	±	19.2	24.30	±	8.10	21.80	±	16.7	19.40	±	9.10
<b>T</b>	<i>S. halophila</i> Hedge <b>En.</b>	28.30	±	1.30	24.40	±	2.20	25.50	±	3.40	28.40	±	6.70

SD: Standard Deviation. 1-4: Character Codes. A-T: Taxon Codes. En.: Endemic. µm: Micrometer

Table 2. One-way ANOVA test based on micromorphological characters.

Source	DF	SS	MS	F	P	Significance
Factor	3	966,9	322,3	4,11	0,009	**
Error	72	5642,2	78,4			
Total	75	6609,1				
S = 8,852 R-Sq = 14,63% R-Sq(adj) = 11,07%						

DF: Degree of Freedom SS: Sum of Square  
MS: MS: Mean Square F: F Value P: Probability

Table 3. One-way ANOVA test based on the investigated taxon.

Source	DF	SS	MS	F	P	Significance
Factor	18	2642,1	146,8	2,11	0,017	*
Error	57	3967,0	69,6			
Total	75	6609,1				
S = 8,342 R-Sq = 39,98% R-Sq(adj) = 21,02%						

DF: Degree of Freedom SS: Sum of Square  
MS: MS: Mean Square F: F Value P: Probability

**Table 4. Pearson correlation based on the micromorphological features**

1	2	3	
2	0,634 0,004**		
3	0,452 0,050*	0,056 0,821	
4	0,190 0,437	0,012* 0,960	0,643 0,003**

Significant at the level of  $P < 0.05$ . \*\* Significant at the level of 0.01.  
Abbreviations: 1-2: Codes of micromorphological features

**Table 5. Correlation between micromorphological features (Analysis of Variance)**

Source	MS	F-value	Probability	Significance
1-2	401,08	11,41	0,004	**
1-3	203,64	04,36	0,052	*
1-4	035,91	00,63	0,437	NS
2-3	004,71	00,05	0,821	NS
2-4	00,230	00,02	0,960	NS
3-4	500,49	11,97	0,003	**

MS: Mean Square; \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ .  
1-2: Codes of anatomical features; NS: Not Significant.

**Table 6. Pearson correlation based on the investigated taxon**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
B	0,903 0,097								
C	0,427 0,573	0,350 0,650							
D	0,913 0,087	0,990 0,010**	0,239 0,761						
E	0,322 0,678	0,044 0,956	0,493 0,507	0,172 0,828					
F	0,971 0,029*	0,980 0,020*	0,388 0,612	0,980 0,020*	0,181 0,819				
G	0,821 0,179	0,942 0,058	0,018 0,982	0,974 0,026*	0,241 0,759	0,912 0,088			
H	0,772 0,228	0,969 0,031*	0,234 0,766	0,956 0,044*	0,079 0,921	0,902 0,098	0,946 0,054		
I	0,785 0,215	0,720 0,280	0,890 0,110	0,645 0,355	0,228 0,772	0,764 0,236	0,454 0,546	0,593 0,407	
J	0,873 0,127	0,998 0,002**	0,342 0,658	0,984 0,016*	0,007 0,993	0,964 0,036*	0,942 0,058	0,982 0,018*	0,705 0,295

Significant at the level of  $P < 0.05$ . \*\* Significant at the level of 0.01.  
Abbreviations: A-T: Codes of the investigated taxon

Table 6. (Continued)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K	0,960 0,040*	0,987 0,013*	0,364 0,636	0,988 0,012*	0,166 0,834	0,999 0,001**	0,927 0,073	0,920 0,080	0,745 0,255
L	0,530 0,470	0,745 0,255	0,345 0,655	0,800 0,200	0,248 0,752	0,668 0,332	0,915 0,085	0,831 0,169	0,075 0,925
M	0,995 0,005**	0,876 0,124	0,501 0,499	0,878 0,122	0,291 0,709	0,953 0,047	0,766 0,234	0,731 0,269	0,830 0,170
N	0,164 0,836	0,010 0,990	0,925 0,075	0,114 0,886	0,426 0,574	0,063 0,937	0,337 0,663	0,151 0,849	0,685 0,315
O	0,687 0,313	0,932 0,068	0,195 0,805	0,913 0,087	0,162 0,838	0,841 0,159	0,918 0,082	0,992 0,008**	0,532 0,468
P	0,873 0,127	0,995 0,005**	0,260 0,740	0,993 0,007**	0,066 0,934	0,963 0,037*	0,968 0,032*	0,983 0,017*	0,648 0,352
R	1,000 0,000	0,909 0,091	0,422 0,578	0,919 0,081	0,317 0,683	0,974 0,026*	0,829 0,171	0,781 0,219	0,783 0,217
S	0,929 0,071	0,697 0,303	0,577 0,423	0,698 0,302	0,360 0,640	0,821 0,179	0,552 0,448	0,499 0,501	0,826 0,174
T	0,051 0,949	0,406 0,594	0,439 0,561	0,299 0,701	0,873 0,127	0,246 0,754	0,258 0,742	0,545 0,455	0,396 0,604

Significant at the level of  $P < 0.05$ . \*\* Significant at the level of 0.01.

Abbreviations: A-T: Codes of the investigated taxon

Table 6. (Continued)

	J	K	L	M	N	O	P	R	S
K	0,974 0,026*								
L	0,760 0,240	0,697 0,303							
M	0,844 0,156	0,938 0,062	0,448 0,552						
N	0,027 0,973	0,031 0,969	0,670 0,330	0,255 0,745					
O	0,953 0,047*	0,864 0,136	0,840 0,160	0,642 0,358	0,194 0,806				
P	0,996 0,004**	0,975 0,025	0,808 0,192	0,837 0,163	0,108 0,892	0,952 0,048*			
R	0,880 0,120	0,964 0,036*	0,542 0,458	0,994 0,006**	0,154 0,846	0,698 0,302	0,880 0,120		
S	0,652 0,348	0,794 0,206	0,189 0,811	0,955 0,045	0,429 0,571	0,392 0,608	0,638 0,362	0,923 0,077	
T	0,459 0,541	0,271 0,729	0,237 0,763	0,049 0,951	0,195 0,805	0,620 0,380	0,404 0,596	0,061 0,939	0,137 0,863

Significant at the level of  $P < 0.05$ . \*\* Significant at the level of 0.01.

Abbreviations: A-T: Codes of the investigated taxon

Table 7. Correlation between taxon (Analysis of Variance).

Source	MS	F-value	Probability	Significance
A-F	91,179	32,730	0,029	*
A-K	89,080	23,236	0,047	*
A-M	95,860	217,30	0,005	**
B-D	95,115	100,92	0,010	**
B-F	93,113	47,910	0,020	*
B-H	91,116	30,970	0,031	*
B-K	94,503	75,708	0,013	*
B-P	96,103	194,00	0,005	**
D-F	325,23	48,000	0,020	*
D-G	321,04	36,260	0,028	*
D-P	334,30	150,11	0,007	**
D-H	391,44	21,128	0,044	*
D-K	330,33	78,510	0,012	*
F-B	90,965	25,862	0,037	*
F-R	473,41	37,306	0,026	*
G-P	424,65	30,230	0,032	*
H-O	119,14	128,00	0,008	*
H-P	116,82	55,990	0,017	*
J-B	256,57	448,00	0,002	**
J-D	258,21	60,460	0,016	*
J-F	248,08	26,570	0,036	*
J-K	253,16	37,250	0,026	*
J-O	242,13	19,830	0,047	*
J-P	264,50	235,11	0,004	**
K-F	411,90	970,18	0,001	**
K-R	383,34	26,070	0,036	*
M-R	101,55	168,78	0,006	**
O-P	58,939	19,450	0,048	*

MS: Mean Square; \*P<.05; \*\*P<.01;

A-D: Codes of taxon; NS: Not Significant

According to the mentioned statistical results derived in this study, there is a considerable relation between the investigated taxa, except for I, L, N and S.

Also, it is that there are close relationships among (A, B, D, E, F, G, H) which also are close taxa as systematically. On the other hand, there is no statistical relationship between some of the taxa examined which also are the most distant taxa as systematically among the investigated. The taxa mentioned are endemic and are symbolized by C, K, I, N, T.

In the study, according to both the method, for investigated micromorphological characters coded as 1-4, positive statistically significant correlations between 1 and 2, 1 and 3, 2 and 4, 3 and 4 were observed (Table 4,5). The highest similarity (for both the method) was revealed between 3 and 4 (lower epidermis width and lower epidermis length).

As the results of this study show, the quantitative micromorphological characters such as lower epidermis width and lower epidermis length are the most appropriate taxonomical characters that can be used to separate taxa.

Similarly, some researchers have studied the leaf anatomical features of 10 different *Salvia* species growing in the northeast of Iran. They suggested that according to results, the shape of midribs outline was recognizable between the studied species [8].

Consequently, by the analysis of investigated taxa from the leaf micromorphological related characters, it has been determined that lower epidermis width and lower epidermis length are the best characters pairs which represents the variations in them. It has been also found that the results from numerical analysis of the micromorphological characters can provide distinct evidence.

## References

- [1] Firat M. *Stachys semsurenensis (Lamiaceae), a new species from Adiyaman province (Turkey) belonging to section. Infrarosularis*. Phytotax, 2021. 511: 275-82.
- [2] Hedge IC. *Lamiaceae of south-west Asia: diversity, distribution and endemism*. Proc Royal Soc. B.1986. 89: 23-5.
- [3] Yaris, E.L., B. Adsız, I. Yener, E. Tuncay, MA. Yilmaz, *Isolation of secondary metabolites of two endemic species: Salvia rosifolia Sm. and Salvia cerino-pruinosa Rech. f. var. elazigensis (Lamiaceae)*. J. Food Meas 2021; 1-10.
- [4] Baytop, T. *Therapy with Medicinal Plants in Turkey*. Istanbul University Press, Istanbul, 1984.
- [5] Singh, B., B. Singh, A. Kishor, S. Singh, MN. Bhat, *Exploring plantbased ethnomedicine and quantitative ethnopharmacolog: Medicinal plants utilized by the population of Jasrota Hill in Western, Himalaya*. Sustainability; 2020.12: 7526.
- [6] Tundis, R., M. Leporini, M. Bonesi, S. Rovito, NG Passalacqua. *Salvia officinalis L. from Italy: A comparative chemical and biological study of its essential oil in the mediterranean context*. Molecules; 2020.25: 5826.
- [7] Özdemir, A., A.Y. Özdemir., K. Yetisen, *Statistical Comparative Petiol Anatomy of Salvia Sp.* Planta Daninha, Viçosa-Mg, V. 34, N. 3, P. 2016. 465-474.
- [8] Mousavi S.M., A. Jafari, S. Najafi, *Anatomical and micromorphological studies on leaves of salvia l. species in ne Iran*. Romanian Biotechnological Letters Vol. 19, 2014. No1.
- [9] Kharazian, N. *Morphometric study of some Salvia L. (Lamiaceae) species in Iran*. Scientific Journal of Biological Sciences 1(6) 2012.126-137.
- [10] PH. Davis, RR. Mill, K. Tan, “*Flora of Turkey and the East Aegean Islands*” Vol X. Edinburgh: Edinburgh University Press; 1988.
- [11] S. Heneidak, A. Samai, M. Shaheen, “Characteristics of then proximal to distal regions of the petioles to identify 15 tree species of Papilionoideae-Fabaceae. *Bangladesh J Plant Taxonomy.*;14:101-15. 2007.
- [12] C.R. Metcalf, L. Chalk, *Anatomy of The Dicotyledons*, Oxford. Clarendon Press, Vol: 2. 1972.
- [13] Kocsis, M., J. Darok, A. Borhidi *Comparative leaf anatomy and morphology of some neotropical Rondeletia (Rubiaceae) species*. Plant Syst Evol. 2004. 248:205-18.
- [14] Olowokudejo, J.D. *Taxonomic value of petiole anatomy in the genus Biscutella L. (Cruciferae)*. Bull Jard Bot Nat Belg.; 1987. 57:307-20.



# Evaluation of Oversampling Methods (OVER, SMOTE, and ROSE) in Classifying Soil Liquefaction Dataset based on SVM, RF, and Naïve Bayes

Selçuk Demir<sup>1\*</sup>, Emrehan Kutluğ Şahin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Civil Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2520-4395), [selcukdemir@ibu.edu.tr](mailto:selcukdemir@ibu.edu.tr)

<sup>2</sup> Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Civil Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9830-8585), [emrehansahin@ibu.edu.tr](mailto:emrehansahin@ibu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1077867)

**ATIF/REFERENCE:** Demir, S. & Sahin, E. (2022). Evaluation of oversampling methods (OVER, SMOTE, and ROSE) in classifying soil liquefaction dataset based on SVM, RF, and Naïve Bayes. *European Journal of Science and Technology*, (34), 142-147.

## Abstract

Class imbalanced datasets are prevalent in real-world applications, including engineering, medical domain, financial sector, and others. Machine learning (ML)-based prediction models have successfully demonstrated the applicability of various algorithms for the solution of different problems. However, their application for the soil liquefaction issue considering the class imbalance situation is limited. This paper presents the prediction results of random forest (RF), support vector machine (SVM), and naïve bayes (NB) algorithms with different training sample sizes for soil liquefaction. The effect of oversampling methods, namely simple oversampling (OVER), random oversampling examples (ROSE), and synthetic minority oversampling technique (SMOTE), on the prediction performance of classification algorithms is also investigated. Performance results are evaluated by means of some metrics, including Accuracy, Kappa, Precision, Recall, and F-measure. The results concluded the effectiveness of applying oversampling methods on imbalanced data before the modeling phase. All of the oversampling methods helped to enhance the overall performances of the classification models. It is also observed that the SMOTE exhibited slightly better performance than other considered oversampling methods. Furthermore, the SVM model outperformed compared to RF and NB models when all algorithms were trained by the SMOTE algorithm.

**Keywords:** Liquefaction Prediction, Naïve Bayes, Imbalanced Data, RF, SVM, Oversampling

## SVM, RF ve Naive Bayes'e Dayalı Olarak Zemin Sıvılaşma Veri Setinin Sınıflandırılmasında Aşırı Örneklem Yöntemlerinin (OVER, SMOTE ve ROSE) Değerlendirilmesi

### Öz

Dengesiz sınıf veri kümeleri, mühendislik, tıp alanı, finans sektörü ve diğerleri dahil olmak üzere gerçek dünya uygulamalarında oldukça yaygındır. Makine öğrenimi (ML) tabanlı tahmin modelleri, farklı problemlerin çözümü için çeşitli algoritmaların uygulanabilirliğini başarıyla göstermiştir. Ancak sınıf dengesizliği durumu göz önüne alındığında zemin sıvılaşması sorununa yönelik uygulamaları sınırlıdır. Bu çalışma, zemin sıvılaşması için farklı eğitim örneği boyutlarına sahip rastgele orman (RF), destek vektör makinesi (SVM) ve naive bayes (NB) algoritmalarının tahmin sonuçlarını sunmaktadır. Ayrıca, basit aşırı örnekleme (OVER), rastgele aşırı örnekleme örnekleri (ROSE) ve sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniğinin (SMOTE) gibi aşırı örnekleme yöntemlerinin sınıflandırma algoritmalarının tahmin performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Performans sonuçları, Accuracy, Kappa, Precision, Recall ve F-measure gibi metrikler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, modelleme aşamasından önce dengesiz veriler üzerinde aşırı örnekleme yöntemlerinin uygulanmasının etkili olduğu göstermiştir. Ayrıca, bütün aşırı örnekleme yöntemlerinin, sınıflandırma modellerinin genel performanslarını geliştirmeye yardımcı olduğu görülmüştür. SMOTE yönteminin diğer dikkate alınan aşırı örnekleme yöntemlerinden biraz daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla beraber, bütün algoritmalar SMOTE algoritması ile eğitildiğinde, SVM modeli RF ve NB modellerine kıyasla daha iyi performans sergilemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıvılaşma Tahmini, Naïve Bayes, Dengesiz Veri Seti, RF, SVM, Aşırı Örneklem

\* Corresponding Author: [selcukdemir@ibu.edu.tr](mailto:selcukdemir@ibu.edu.tr)



## 1. Introduction

Natural disasters (i.e., earthquakes, flood, hurricanes, volcanic eruptions, and others) are an ever-present danger to modern societies throughout the world. Among natural disasters, earthquakes stand out in seismic-prone areas due to their unpredictable catastrophic effects on societies and economies. Earthquakes appear without warning and devastate a region within seconds, thereby causing environmental damages, loss of lives, social and economic breaks. Besides, different types of earthquake-induced effects, such as landslides, liquefaction, and tsunami may be observed in zones of high seismicity. The seismic soil liquefaction is main responsible for the devastating hazards because of its mechanical structure. Liquefaction is commonly observed in soil deposits that are loose, cohesionless, and fine grained with high groundwater levels (Allen, 1982). During the liquefaction phenomenon, solid granular materials transform a liquefied state due to the porewater pressure-related loss of soil stiffness and shear strength induced by strong earthquakes. Thus, different types of failures associated with liquefiable soils have been observed from post-earthquake observations, such as excessive settlements, lateral spreads, ground cracks, and sand boils (Adalier and Elgamal, 2004). Due to the liquefaction-induced damages caused by major earthquakes, researchers and engineers have attempted to establish a better understanding of liquefaction and its effects for appropriately designing engineering structures against soil liquefaction.

Several liquefaction evaluation procedures (e.g., Cetin et al., 2004; Robertson and Wride, 1998; Kayen et al., 2013) have been proposed through standard penetration test (SPT), cone penetration test (CPT), and shear wave velocity test (Vs). However, among these procedures, the SPT-based simplified procedure (Seed and Idriss, 1971) is the first and simplest methods used for evaluating the seismic liquefaction resistance of soils in the field of engineering. Besides, experimental and numerical studies are other essential ways used for understanding the mechanism and influencing factors of liquefaction. On the other hand, in recent years, various machine learning (ML) algorithms have been proposed for engineering problems with the development of soft-computing tools. These algorithms provide a powerful tool to solve most problems having high complexity.

ML-based applications have made great progress in geotechnical engineering. Different kinds of ML tools, including artificial neural network (ANN), random forest (RF), support vector machine (SVM), eXtreme gradient boosting (XGBoost), canonical correlation forest (CCF), k-nearest neighbors (kNN), deep neural network (DNN), etc. have been successfully employed in several geotechnical applications (Koopialipoor et al., 2020; Demir and Sahin, 2022; Samui, 2008; Wang et al., 2020; Amiri et al., 2016; Zhang et al., 2021a). The use of ML algorithms in liquefaction issues has also considered for classifying soil liquefaction or predicting the liquefaction-induced lateral spreads by the use of regression procedures (Xie et al., 2020). Some of the recent studies for liquefaction prediction are briefly mentioned here. For example, Zhang et al. (2021b) employed the DNN strategy to predict soil liquefaction based on the Vs and SPT dataset. Zhou et al. (2021) proposed two support vector machine (SVM) models for predicting liquefaction potential using genetic algorithm (GA) and grey wolf optimizer (GWO) techniques in order to enhance the efficiency of the models. Zhao et al. (2021) developed the kernel extreme learning machine (KELM) with

particle swarm optimization (PSO) based soil liquefaction potential evaluation system using CPT and Vs measurements. Hu et al. (2021) used Bayesian network (BN) model for soil liquefaction prediction under the conditions of nine different training sample size ratios. Demir and Sahin (2022) investigated the performance of three forest algorithms to predict the liquefaction potential of soils from two different CPT datasets using CCF, RF, and rotation forest (RotFor). These studies revealed that ML algorithms provide feasible solutions to tackle soil liquefaction prediction problems. Nevertheless, these studies have tended to focus on some factors, such as the applicability of ML algorithms, the effects of optimization approaches on ML algorithms, and ratios of training sample size.

There is an important topic in ML that should be kept in mind when working with traditional classifiers, and that is class imbalance. In the case of class imbalance, the distribution of classes in a dataset is one-sided that means the number of samples in some classes is more than other classes. Generally, the class imbalance ratio (IR), defined as the number of samples in the majority class divided by the number of samples in the minority class, is used to show the degree of imbalance of a dataset. Any dataset with an IR value is close to or exceeding 1.5-2.0 is considered imbalanced (He and Ma, 2013; Vluymans, 2018). Traditional classification algorithms result poorly in imbalanced datasets because they are designed for balanced datasets (Douzas and Bacao, 2020). The target to be reached in these algorithms is to perform the best prediction accuracy by adjusting loss functions to minimize the losses, which is biased to the majority class (Chen et al., 2021). For that reason, handling an imbalanced dataset is crucial for the successful development of a prediction model. Several techniques exist to solve class imbalance problem. These techniques can be divided into four main categories, depending on how they deal with the problem: algorithm-level methods, data-level methods, cost-sensitive methods, and ensemble-based methods (Fernández et al., 2018). Among them, data-level methods are standard techniques in imbalanced learning, they are widely used in data science problems. The data-level methods, which are categorized into three groups, oversampling, undersampling, and hybrid methods, aim to change the class distribution by manipulating the training data towards a more balanced one. Since undersampling methods eliminate data in the majority class, which causes the loss of important data, oversampling is more frequently preferred than the other data-level methods.

In this study, the performances of three popular classification methods, RF, SVM, and Naïve Bayes (NB) coupled with three oversampling methods, namely simple oversampling (OVER), random oversampling examples (ROSE), and synthetic minority oversampling technique (SMOTE) were analyzed using a CPT-based liquefaction dataset. The effect of three oversampling methods was also compared with respect to a well-known sampling method called simple random sampling (SRS). Finally, performance metrics of RF, SVM, and NB in prediction soil liquefaction were presented using the confusion matrix.

## 2. Material and Method

### 2.1. Introduction of the Dataset

The dataset used in this study is based on historical CPT case records taken from six different earthquakes (4 in the U.S. and 2 in China and Taiwan) reported by Juang et al. (2003) This dataset includes 226 cases, 133 non-liquefied (No) and 93 liquefied (Yes)

cases. A total of seven features, i.e., depth of the soil layer ( $d$ , m), cone tip resistance ( $q_c$ , MPa), the sleeve friction ratio ( $R_f$ , %), the total and effective vertical stresses ( $\sigma_v$  and  $\sigma'_v$ , kPa), the peak ground acceleration ( $a_{max}$ , g), and the earthquake magnitude moment ( $M_w$ ) were used as the input parameters. The statistical ranges of values associated with each input parameter are given in Table 1. In order to gain a better insight into the relationship between the input variables, a scatter plot matrix was plotted as shown in Fig. 1. This matrix depicts the distributions of the variables, their correlation coefficients between each other as well as their individual histogram plots.

Table 1. Some statistical measures of the used dataset

Variable	Min-Max	Mean	Sd	Median
$d$	1.4 16.5	5.67	2.93	4.8
$q_c$	0.9 25	5.82	4.09	4.9
$R_f$	0.1 5.2	1.22	1.05	0.9
$\sigma'_v$	22.5 215.2	74.65	34.4	62.8
$\sigma_v$	26.6 274	106.89	55.36	90.3
$a_{max}$	0.08 0.8	0.29	0.14	0.25
$M_w$	6 7.6	6.95	0.44	7.1

## 2.2. Classification Methods

### 2.2.1. Naïve Bayes

Naïve Bayes (NB) algorithm is a probabilistic model using Bayes' theorem, which requiring a small amount of training data to estimate the statistical parameters (such as mean and variance) necessary for the classification. NB considers the strong or naive independence of data points. The NB classifiers are used for many classification problems (e.g., text analysis, document classification, signal segmentation, natural hazards, and medical diagnosis). Due to being simple to implement, this classifier is a preferred method in ML, and this is an important advantage of NB to the other ML methods for classification purposes.

### 2.2.2. Random Forest

Random Forest (RF) is an ensemble classifier method based on bagging and decision trees (DTs) that uses multiple models of various DTs to improve prediction accuracy. This algorithm is well suitable for handling classification and regression problems. The main concept of RF is to independently build multiple DTs by bootstrap samples from the original training dataset. The averages of the predictions of these single trees are used to obtain an accurate and stable prediction (He et al., 2022). RF creates numerous trees, which limits generalization error because of the ensemble of permutations that can cope with the classification error of one permutation. Thus, the RF method can ensure great improvements in classification accuracy and can be easily implemented for parallel computing which makes it a popular choice for data classification and computationally efficient (Wu et al., 2020).

### 2.2.3. Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) is a very powerful supervised ML algorithm used to handle a two-class pattern recognition problem for classification and regression analysis. SVMs have been applied successfully to many engineering related applications in recent years. In SVM, the data is evaluated, and patterns are identified in order to create a classification. The goal here is to identify the best optimal hyperplane between two classes by maximizing the margin between their nearest points. The effectiveness of SVM is determined by the kernel type and parameters. SVM algorithms use differing kinds of kernel functions namely linear, nonlinear, polynomial, radial basis function, and sigmoid. In the present work, radial basis function was used for the SVM models as kernel functions because of its efficiency in providing very high prediction performance. Before estimating the model, SVM with radial basis function needs to tune two hyperparameters (e.g.,  $C$  and  $gamma$ ).

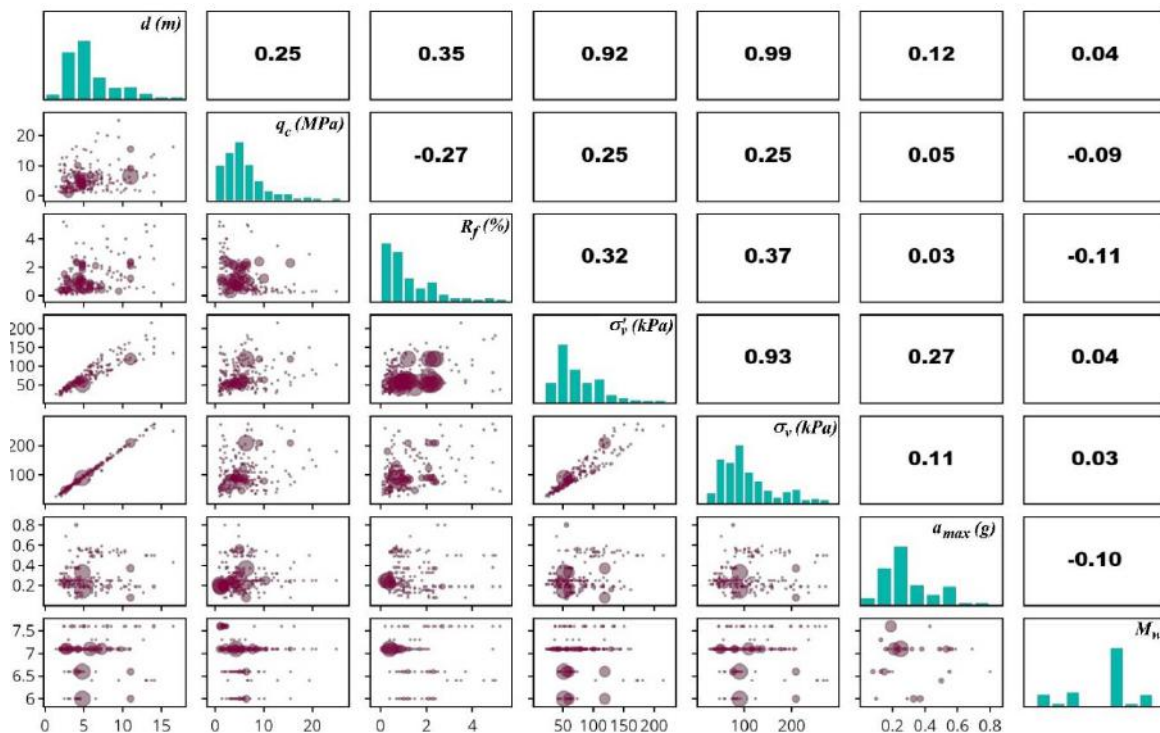


Figure 1. Scatter plot, histogram, and Pearson correlation coefficients of the input parameters

### 2.3. Oversampling Methods for Imbalanced Dataset

The aim of the resampling is to balance the data, which means that the ratio of the majority/minority class should be close to 1.0. The resampling methods can be divided in three groups namely undersampling, oversampling, and hybrid. Undersampling means to reduce the size of the majority class down to that of the minority class. Undersampling is a good choice for fastening computer processes, but it may not produce a decent model because it loses information by eliminating a fraction of the majority observations. In the case of oversampling, the size of the minority class is expanded by bootstrapping, which involves replacing the original minority class's data with new minority observations, or artificially creating new minority observations (Jain et al., 2021). Hybrid sampling combines oversampling and undersampling from the original sample and the rebalanced sample is approximately equal in size to the original sample.

There are two popular and well-known oversampling methods namely ROSE (Random oversampling examples), and SMOTE (Synthetic minority oversampling technique) in literature. SMOTE (Chawla, 2002) is an oversampling approach that generates new minority class instances at random from the sample's nearest minority class neighbors. This approach is done using the Euclidean distance between data points in feature space to determine nearest neighbors. Another important approach which is to generate artificial data based on sampling is the ROSE (Menardi and Torelli, 2014). This approach is aimed at oversampling the rare class by creating synthetic data points that are as similar as possible to the real ones with respect to a probability distribution centered on the selected sample (Liu, 2022). The imbalance ratio (*IR*) is a simple way to measure the unequal distribution of observations across classes. When the *IR* value is equal the 1, the dataset is perfectly balanced. The larger *IR* values indicate a larger difference in the class sizes. According to Chawla et al. (2002) the test set for the machine learning experiments must not include any "synthetic" samples. In this study, the dataset is split into a 70% training set and a 30% test set with a simple random sampling (SRS) strategy. It should be noted that oversampling approaches were only applied to the training set based on the above assumption.

performances of ML algorithms namely NB, RF, and SVM are tested on a soil liquefaction dataset. In order to compare their performances, training sample sizes generated from ROSE, SMOTE, and simple oversampling (OVER) are also considered. Finally, for the assessment of the performances, Accuracy (*Acc*) and *Kappa* scores are utilized.

Firstly, liquefaction potential dataset is split into a 70% training set and a 30% test set with an SRS strategy. Then, oversampling methods were only applied to the training set. Training set obtained by SRS, balanced dataset obtained by oversampling applications, and *IR* values of training sets were given in Table 2. Oversampling methods namely SMOTE, ROSE, and OVER were used to increase the number of cases in a balanced way. As shown in the table, the training set (i.e., SRS) consisted of 158 liquefaction potential events which is 93 with value "Yes" and 65 with value "No". The *IR* value after the sampling was found to be 1.43 and the result of this calculation indicates that the ratio of the training set sample size is imbalanced. On the other hand, the *IR* values are equal to 1 after applied oversampling strategies. Therefore, it can be clearly said that oversampling strategies prevent the data imbalanced. While Table 2 presents a brief view of the distributions of training data sampling ratios, Fig. 2 shows the change of "Yes" and "No" samples of the dataset after applying the oversampling methods in order to give a visual idea of the effect of these methods.

For a better understanding of the impact of the resampling method in optimal training sample size selection, the training sets obtained from each method were utilized to predict the test dataset using the NB classifier. After that, the performances of the models were compared by *Acc* and *Kappa* scores (Fig. 3).

Table 2. The ratio of the dataset with *IR* values

Training Data Sampling Ratio			
Sampling Method	"No" 0	"Yes" 1	<i>IR</i>
SRS	65	93	1.43
Over	93	93	1
SMOTE	186	186	1
ROSE	78	80	1.03

### 3. Results and Discussions

The study aims to demonstrate the utilization of three ML methods for the analysis of both imbalanced and balanced data using several oversampling strategies. Therefore, prediction

The result showed that after oversampling strategies, each ones have a significant impact on the prediction performance. When the performance results were analyzed, the results of the prediction model obtained by SMOTE was found above 90% for *Acc* and above 80% for *Kappa*. On the other hand, the lowest

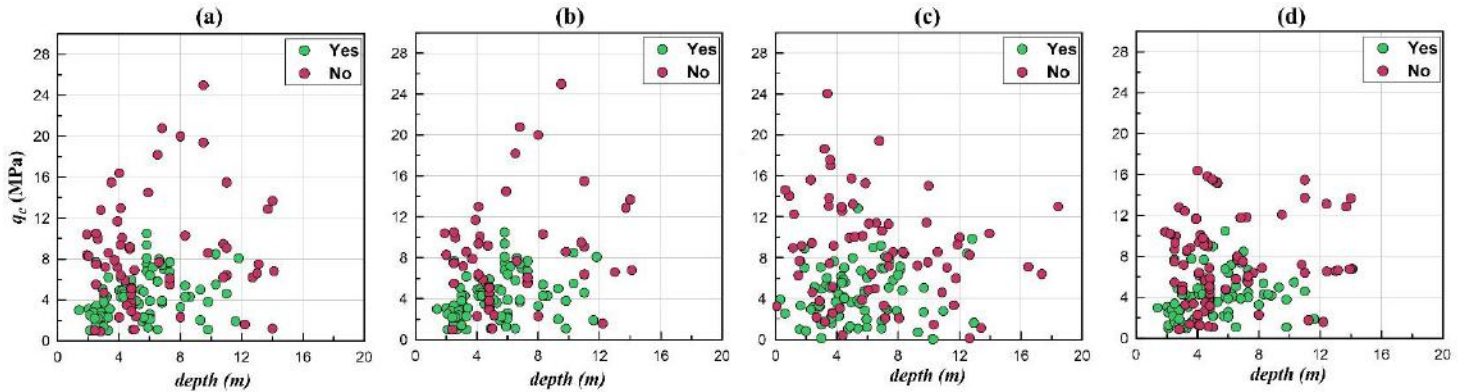


Figure 2. Variation of "Yes" and "No" samples in the training set with respect to different sampling methods (a) SRS, (b) OVER, (c) ROSE, and (d) SMOTE

performance scores ( $Acc=87\%$  and  $Kappa=72\%$ ) were obtained by traditional SRS strategy. Based on the performance results, it was decided to use the only SMOTE training set for the next applications.

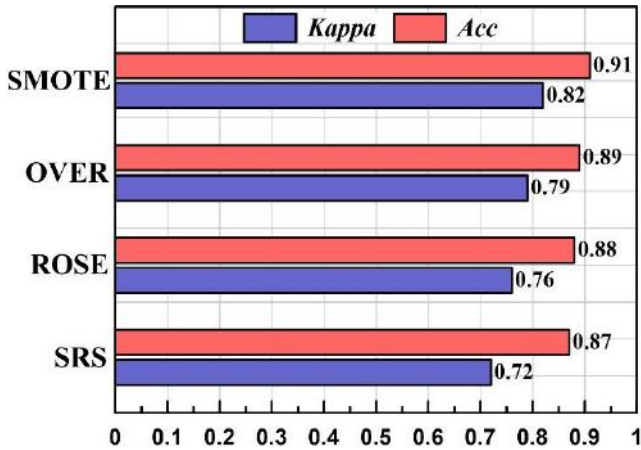


Figure 3. Comparison of performances of sampling methods

NB, RF, and SVM methods were trained by the training dataset obtained by SMOTE, and the model’s performance results were obtained using the test dataset. In this purpose, accuracy performance metrics (i.e.,  $Acc$ ,  $Kappa$ ,  $Precision$ ,  $Recall$ , and  $F-Measure$ ) obtained by confusion matrix (CM) were used to evaluate models.

To validate the predictive ability of the model with hyperparameter optimization, grid search (GS) with the k-fold Cross-validation (CV) technique was used. When making predictions on data that was not used during training, the k-fold CV procedure is used to estimate the performance of machine learning models. GS conducts an exhaustive search for the combination of parameters that maximizes the CV performance, according to the defined score function. In general, the choice of k is usually 5 or 10, but there is still no universal guideline or agreement for selecting the number of folds (k). Thus, 10-fold (i.e.,  $k=10$ ) CV was used in this study, and the optimum hyperparameter sets of models are given in Table 3.

The performance metric results were given with CM in Table 4. When the metric results according to  $Acc$  value between all models were analyzed, it was shown that SVM, RF, and NB methods were calculated as 0.9412, 0.9265, and 0.9118, respectively. When the metric results for SVM was examined in detail, which outperformed other models, the model had  $Acc$ ,

$Kappa$ , and  $F-Measure$  values of 0.9412, 0.8799, and 0.9487, respectively. According to accuracy results, the SVM model was shown about 1.5% better results in the RF model and about 3% better results in the NB model. Furthermore, the model obtained with the SVM model trained by SMOTE training set was outperformed about 7% than the NB method using SRS training set. As a result, the performance of all models is quite acceptable when considering the sampling ratio strategies used. On the other hand, the performance metrics revealed that the SVM method trained by SMOTE sampling strategy showed better performance than the SVM trained by the conventional SRS method.

Table 3. The best set of hyperparameters

ML Method	Best Hyperparameters	Parameter Definition
SVM	‘C’: 1 ‘gamma’: 0.3045 ‘kernel’: radial	C (cost): Cost of constraints violation, gamma: regularization parameter
RF	‘ntree’: 500 ‘mtry’: 4	ntree: number of trees mtry: number of features used to grow each tree
NB	‘usekernel’: TRUE ‘adjust’: 1 ‘fL’: 0	usekernel: Allow using a kernel density estimate for continuous variables versus a Gaussian density estimate. adjust: adjust the bandwidth of the kernel density fL: Allowing to incorporate the Laplace smoother

### 4. Conclusions

In this study, different prediction models using SVM, RF, and NB were developed to predict the soil liquefaction. A total of 226 CPT data were used for the modeling of the prediction models then their performance results were compared each other using the five metrics. Moreover, three oversampling methods (OVER, SMOTE, and ROSE) were applied in this study to balance the training sets of the CPT dataset. The result showed that oversampling strategies have a significant impact on the prediction models, but the SMOTE one is highest than the others.

Table 4. Performance results of the SVM, RF, and NB models trained by SMOTE training set

	SVM			RF			NB			
	Predicted	Actual		Predicted	Actual		Predicted	Actual		
		No	Yes		No	Yes		No	Yes	
Predicted No	No	27	3	No	26	3	No	24	2	
Predicted Yes	Yes	1	37	Yes	2	37	Yes	4	38	
$Acc$	:	0.9412		$Acc$	:	0.9265		$Acc$	:	0.9118
$Kappa$	:	0.8799		$Kappa$	:	0.849		$Kappa$	:	0.8159
$Precision$	:	0.9737		$Precision$	:	0.9487		$Precision$	:	0.9048
$Recall$	:	0.9250		$Recall$	:	0.9250		$Recall$	:	0.9500
$F-Measure$	:	0.9487		$F-Measure$	:	0.9367		$F-Measure$	:	0.9268

Also, the result clearly showed that SVM with SMOTE model is a superior model than the rest with the highest accuracy. The order of the applied models' performance is SVM > RF > NB as per their Acc metrics over testing phase i.e., 94.12%, 92.65%, and 91.18%, respectively.

## References

- Adalier, K., & Elgamal, A. (2004). Mitigation of liquefaction and associated ground deformations by stone columns. *Engineering Geology*, 72(3-4), 275-291.
- Allen, J. R. L. (1982). *Sedimentary Structures: Their Character and Physical Basis*. Volume II. Developments in Sedimentology, 30B, Amsterdam.
- Amiri, M., Bakhshandeh Amnieh, H., Hasanipanah, M., & Mohammad Khanli, L. (2016). A new combination of artificial neural network and K-nearest neighbors models to predict blast-induced ground vibration and air-overpressure. *Engineering with Computers*, 32(4), 631-644.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314-1340.
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321-357.
- Chen, B., Xia, S., Chen, Z., Wang, B., & Wang, G. (2021). RSMOTE: A self-adaptive robust SMOTE for imbalanced problems with label noise. *Information Sciences*, 553, 397-428.
- Demir, S., & Sahin, E. K. (2022). Comparison of tree-based machine learning algorithms for predicting liquefaction potential using canonical correlation forest, rotation forest, and random forest based on CPT data. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 154, 107130.
- Douzas, G., & Bacao, F. (2017). Self-Organizing Map Oversampling (SOMO) for imbalanced data set learning. *Expert Systems with Applications*, 82, 40-52.
- Fernández, A., García, S., Galar, M., Prati, R. C., Krawczyk, B., & Herrera, F. (2018). *Learning from imbalanced data sets* (Vol. 10, pp. 978-3). Berlin: Springer.
- He H., & Ma, Y. (2013) *Imbalanced learning: foundations, algorithms, and applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- He, S., Wu, J., Wang, D., & He, X. (2022). Predictive modeling of groundwater nitrate pollution and evaluating its main impact factors using random forest. *Chemosphere*, 290, 133388.
- Hu, J., Zou, W., Wang, J., & Pang, L. (2021). Minimum training sample size requirements for achieving high prediction accuracy with the BN model: A case study regarding seismic liquefaction. *Expert Systems with Applications*, 185, 115702.
- Jain, D., Mishra, A. K., & Das, S. K. (2021). Machine learning based automatic prediction of Parkinson's disease using speech features. In *Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Applications* (pp. 351-362). Springer, Singapore.
- Juang, C. H., Yuan, H., Lee, D. H., & Lin, P. S. (2003). Simplified cone penetration test-based method for evaluating liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(1), 66-80.
- Kayen, R., Moss, R. E. S., Thompson, E. M., Seed, R. B., Cetin, K. O., Kiureghian, A. D., ... & Tokimatsu, K. (2013). Shear-wave velocity-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(3), 407-419.
- Koopialipoor, M., Fahimifar, A., Ghaleini, E. N., Momenzadeh, M., & Armaghani, D. J. (2020). Development of a new hybrid ANN for solving a geotechnical problem related to tunnel boring machine performance. *Engineering with Computers*, 36(1), 345-357.
- Liu, J. (2022). Importance-SMOTE: a synthetic minority oversampling method for noisy imbalanced data. *Soft Computing*, 26, 1141-11631.
- Menardi, G., & Torelli, N. (2014). Training and assessing classification rules with imbalanced data. *Data mining and knowledge discovery*, 28(1), 92-122.
- Robertson, P. K., & Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.
- Samui, P. (2008). Support vector machine applied to settlement of shallow foundations on cohesionless soils. *Computers and Geotechnics*, 35(3), 419-427.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97(9), 1249-1273.
- Vluymans, Sarah. *Dealing with Imbalanced and Weakly Labelled Data in Machine Learning Using Fuzzy and Rough Set Methods*. Ghent University. Faculty of Medicine and Health Sciences; University of Granada. Department of Computer Science and Artificial Intelligence, 2018.
- Wang, L., Wu, C., Tang, L., Zhang, W., Lacasse, S., Liu, H., & Gao, L. (2020). Efficient reliability analysis of earth dam slope stability using extreme gradient boosting method. *Acta Geotechnica*, 15(11), 3135-3150.
- Wu, C., Fang, C., Wu, X., & Zhu, G. (2020). Health-risk assessment of arsenic and groundwater quality classification using random Forest in the Yanchi region of Northwest China. *Exposure and Health*, 12(4), 761-774.
- Xie, Y., Ebad Sichani, M., Padgett, J. E., & DesRoches, R. (2020). The promise of implementing machine learning in earthquake engineering: A state-of-the-art review. *Earthquake Spectra*, 36(4), 1769-1801.
- Zhang, W., Li, H., Li, Y., Liu, H., Chen, Y., & Ding, X. (2021a). Application of deep learning algorithms in geotechnical engineering: a short critical review. *Artificial Intelligence Review*, 54(8), 5633-5673.
- Zhang, Y., Xie, Y., Zhang, Y., Qiu, J., & Wu, S. (2021b). The adoption of deep neural network (DNN) to the prediction of soil liquefaction based on shear wave velocity. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(6), 5053-5060.
- Zhao, Z., Duan, W., & Cai, G. (2021). A novel PSO-KELM based soil liquefaction potential evaluation system using CPT and Vs measurements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150, 106930.
- Zhou, J., Huang, S., Wang, M., & Qiu, Y. (2021). Performance evaluation of hybrid GA-SVM and GWO-SVM models to predict earthquake-induced liquefaction potential of soil: a multi-dataset investigation. *Engineering with Computers*, <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01418-3>.



# The Effects of the Applications of Blockchain Technology on the Logistics Sector

Batin Latif Aylak

Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0067-1835),  
batin.latif@tau.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1077800)

**ATIF/REFERENCE:** Aylak, B. L. (2022). The Effects of the Applications of Blockchain Technology on the Logistics Sector. *European Journal of Science and Technology*, (34), 148-152.

## Abstract

Logistics is a combination of businesses involving various activities and processes which generate value by goods and services. Maintaining track of all transactions is a crucial task in logistics. Logistics 4.0 enables the optimum synchronization of activities inside corporate boundaries; if effective, logistical constraints resulting from industrial sender and receiver channels may be considerably alleviated. Blockchain paves the way for implementation of smart logistics. It served as storage for the transactions after distributed ledger technologies was implemented before the digital cryptocurrency a year ago. It is a decentralized system based on five essential principles: decentralization, P2P, transparency with privacy protection, and algorithmic logic. Some logistics companies are already employing block chain. This paper summarizes adoption of distributed ledger technology in logistics is being investigated. Furthermore, the strengths and weakness of blockchain in logistic industry were extracted from recent scientific literature for readers to overview the application of technology. It is reported that blockchain adoption provides immutability, data security, tracking, storage, dependability, and cost-effective alternatives in logistics industry. However, there are a few obstacles that prevent full-scale adaption by many logistics and transportation sectors, such as throughput, and latency constraints. Nodes aren't monitored by centralized entity to notify security breach, so data security may be compromised. Furthermore, the blockchain is still in its infancy; there's no single standard, theories are difficult to grasp, and even the most basic types of application need programmer assistance.

**Keywords:** Blockchain Technology, Logistics, Transportation

## Blokszinciri Teknolojisi Uygulamalarının Lojistik Sektörüne Etkileri

### Öz

Lojistik, ürün ve hizmetlerle değer yaratan çeşitli faaliyetleri ve süreçleri içeren işletmelerin bir kombinasyonudur. Yapılan tüm işlemlerin kaydını tutmak lojistikte çok önemli bir işlemdir. Lojistik 4.0, kurumsal sınırlar içindeki optimum senkronizasyonunu sağlar; eğer etkiliyse endüstriyel gönderici ve alıcı kanallarından kaynaklanan lojistik kısıtlamalar önemli ölçüde hafifletilebilir. Blok zincir teknolojisi, akıllı lojistiğin yolunu açmaktadır ve bir yıl önce dijital kripto para biriminden önce dağıtılmış defter teknolojilerinin uygulanmasından sonra işlemler için depolama görevi görmüştür. Beş temel ilkeye dayanan bir sistemdir. Bunlar merkezi olmayan, uçtan uca, gizlilik korumalı, şeffaflık ve algoritmik mantıktır. Bazı lojistik firmaları hali hazırda blok zincir teknolojisini kullanmaktadır. Bu makale, araştırılmakta olan lojistikte dağıtık defter teknolojisinin benimsenmesini özetlemektedir. Ayrıca lojistik endüstrisindeki blok zincir teknolojisinin güçlü ve zayıf yönleri araştırmacıların teknolojinin uygulamasını gözden geçirmesi için güncel bilimsel literatürden yararlanılmıştır. Blok zincir teknolojisinin benimsenmesinin lojistik sektöründe değişmezlik, veri güvenliği, izlenebilirlik depolama güvenilirlik ve uygun maliyetli alternatifler sağladığı bilinmektedir. Ancak verimlilik ve gecikme kısıtlamaları gibi bir çok lojistik ve ulaşım sektörü tarafından tam ölçekli uyarlamayı engelleyen birkaç engel vardır. Düğümler güvenlik ihlalini bildirmek için merkezi varlık tarafından izlenemez, bu nedenle veri güvenliği tehlikeye girebilir. Ayrıca blok zincir teknolojisi halen başlangıç aşamasındadır; tek bir standart yoktur, teorileri kavramak zordur ve en temel uygulama türleri bile uzman yardımına ihtiyaç duyulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Blok Zincir Teknolojisi, Lojistik, Taşıma.

## 1. Introduction

Nakamoto [1] invented blockchain and introduced Bitcoin in 2008, distributed peer-to-peer (P2P) technology is now one of the revolutionary technology in various industries and is predicted to be widely used by many industries and various of its sectors [2]. Recent studies of industry professionals and logistics and supply chain managers have revealed a willingness to adopt blockchain solutions, particularly in the context of distribution networks and transportation and logistics [3]; nevertheless, the world is still at the nascent stages of exploiting this technology's entire promise in economic globalization, logistics, and transit sectors. Although there is considerable hype surrounding blockchain adoption, and people are few decades away from visualizing blockchains industrialized, as the future of this technology is promising.

Academic papers on blockchains in transport and logistics journals continue to be few. However, due to the increased interest in this subject, It is foreseen that there will be an increase in the prevalence of blockchain publications with various technology applications for logistics operations in the coming years. Some publications in the field include Kshetri [4] investigates the influence of blockchain on several supply chain management objectives using a multiple case study technique, offering successful industrial cases as illustrations for each aim. Saberi and co-authors [5] investigate the major roadblocks to blockchain adoption, particularly smart contracts, to achieve long-term logistics management objectives. Babich and Hillary [6] present a complete analysis of blockchain studies in logistics operations, as well as prospective based upon the information within the field, such as inventory control, information extraction, licensing, regulatory compliance, and supplier management, among others.

As blockchain is engraving its claws in smart logistics, improved supply chain accountability, freight monitoring, and carrier onboarding as a service are just a few of the use cases that have already emerged in the sector, revealing the latent revolutionary possibilities of blockchain [3], [6]. This study intends to add to these efforts by collecting recent scholarly discussions, industrial use cases, and potential future developments in this field till. It attempts to fill this research gap related to scientific literature's most recent development in examining the acceptance and use of blockchain in logistics, and transportation.

The current study is structured as follows. First, a brief explanation of blockchain technology and its key characteristics is provided. Following that, the use of distributed ledger technology in logistics is being investigated. Furthermore, the strengths and weakness of blockchain in logistic industry were extracted from recent scientific literature for readers to overview the application of technology.

## 2. Material and Method

Logistics is a structure of businesses involved in various activities and processes which generate value by goods and services in the hands of consumer through links. Maintaining track of all transactions is a crucial task in logistics. In this profession, keeping track of past activities and performance, and anticipated activities, is critical. Logistics 4.0 enables the convergence and optimum synchronization of activities inside corporate boundaries; if effective, logistical constraints resulting

from industrial sender and receiver channels may be considerably alleviated [7].

Blockchain paves the way for implementation of smart logistics. It served as the public information for the transactions after distributed ledger technologies was implemented before the digital cryptocurrency a year ago. It is a decentralized system based on five essential principles: decentralization, P2P, transparency with privacy protection, data impermanence, and algorithmic logic [8]. Among other functionality, blockchain can effectively add value by I) recording all products, transaction (from products to containers) flowing in the distribution network nodes, (ii) tracking purchases, pay stubs, expenses, fees, and any other supporting documentation, and (iii) closely monitoring assets (warranty coverage, accreditations, licenses, product id, bar codes) in a fully integrated with physical assets, and so on. Furthermore, due to its decentralized nature, blockchain could well enable accurate information exchange about the production process, dissemination, maintenance, and merchandise displacements between consumers and suppliers, opening up new frameworks of cooperation in complex assembly lines. [9].

The blockchain consists of five core elements [10], [11]; (1) Distributer ledger technology; (2) P2P network; (3) cryptographic jargon; (4) consensus protocols; and (5) smart contracts

The Blockchain as a common structure of storage: The block's transactions, which are attached to one another in chronological sequence, will serve as a source of confidence for everyone involved. Although Bitcoin has severe shortcomings, such as the limitations of Turing-completeness and interconnected contracts in the Bitcoin blockchain. Ethereum, which was first proposed by [12], was intended to increase the capabilities of distributed ledger technology.

Ethereum is by far the most widely used smart contract framework for developing open protocols, DApps, and tokens. Open protocols are made up of smart contracts, and they may use their own set of rules for identity, transaction forms, and state transitions. [12]. The Ethereum Protocol's built-in programming features enable programmers all over the globe to create DApps that are accessible from anywhere. Tokens are a novel form of application as well. Tokens, according to [13], are digital unit of money that can represent asset ownership or guarantees for the supply of goods or services. The great majority of tokens are created on Ethereum's ERC20 token standards and are based on smart contracts. To facilitate interoperability across tokens on the Ethereum network, ERC20 tokens have adopted a common Application Program Interface (API) [14].

Proof of transactions such as service and product availability, onboarding and deployment, distribution network management is digitally hashed and recorded.

The technology's intrinsic qualities of data integrity, transparency, and decentralization in logistics are projected to give a relative advantage. For example, Author [22] and [18] emphasize the secure, replicated, and synchronization ledger for digitized contract of carriage which can't be covertly altered since the genuine is always accessible. Automated lading bills help to accelerate present operations and cut costs by eliminating or reducing the paperwork involved.

The adoption of possible blockchain applications in the logistics sector may very well be classified based on [15] innovative features, this gives little insights into the repercussions

of individual blockchain implementations on the structures and procedures of firms. A framework to link prospective blockchain solutions in the logistics industry to the various stages, and to help managers understand the success quadrant, thereby assisting managers in understanding the sorts of difficulties it presents, and the level of coordination and consensus required.

Some logistics companies are already employing block chain; for example, the setup of UbiMS (A Logistics and Supply chain Revolution) does so [16]. It's the largest first patent platform as a 3D logistic and transit network for linking numerous sources of commodities with global customers and for completely reinventing the global logistics operations. It's a collaborative distribution network infrastructure for entrepreneurs worldwide networked e-marketplace system for both communications and material commodities delivery. It is basically a platform for information, linking numerous data resources to various knowledge consumers on the Internet. UbiMS is built utilizing blockchain technology for open, decentralized, 3D supplies chain infrastructure that has the potential to revolutionize the entire global logistics business [16].

IBM, Walmart, and Nestle all want to utilize blockchain to make the global food logistics chain more efficient, legitimate, and trustworthy [17]. Given the vast number of potential IoT items in a logistics environment, it's the most attractive domains of use for blockchain, since it is regarded a solution for safely connecting and controlling IoT devices. Walmart wants to improve last-mile shipments by utilizing blockchain to coordinate delivery drones. Furthermore, IoT devices are linked to the blockchain might employ cryptocurrency, allowing them to engage with other participants through smart contracts to pay fees and custom duties such as for prioritized access to limited air corridors [16]. IBM and Samsung collaborated on the technology ADEPT (Autonomous Decentralized Peer 2 Peer Telemetry), which builds a distributed network of sensors, or decentralized IoT, using components of bitcoin's core architecture. BitTorrent, Ethereum, and Tele Hash are the three protocols used by this framework for sharing and storing file [18].

The implementation of blockchains, according to IBM and Maersk, is one approach to achieve improvement; by offering a single overview of all transactions occurring across a complicated network of participants, blockchain may help reduce significant wastage of resources. All parties engaged in shipping may benefit from blockchain technology by increasing sustainability, reducing, or eliminating fraud and mistakes, improving inventory control, lowering courier costs, reducing delays induced by paperwork, reducing waste, and identifying concerns sooner [19].

A study on blockchain in logistics was undertaken by [20]. They ran an online poll to get feedback on the relevant use cases: hurdles, facilitator, and the overall implications of blockchain in logistics. Most of the attendees were enthusiastic about the technology and the advantages it provides. They argue that the advantages of blockchain over conventional ICT solutions should be sculpted precisely. Participants can search transaction records, ensuring the platform's transparency. Furthermore, encryption methods and dispersed data storage secure data in database [21]

### **3. Results and Discussion**

The technology's intrinsic qualities of data integrity, transparency, and decentralization in logistics are projected to give a relative advantage. For example, Author [22] and [18]

emphasize the secure, replicated, and synchronization ledger for digitized contract of carriage which can't be covertly altered since the genuine is always accessible. Automated lading bills help to accelerate present operations and cut costs by eliminating or reducing the paperwork involved with today's modern business practices [20]. Furthermore, under the existing logistics system, the capacity to track the origins of items or learn more about them that is severely limited [23]. A safe platform for businesses to communicate and trade data about their commodities is provided by blockchain. The exchange of information and demonstration to customers about where their products are sourced from resilient and secure manufacturers might boost customer loyalty and, as a result, profits. Similarly, there has been an increase in awareness about the environmental effect of freight [24], [25], [26], and logistics firms have developed sustainable choices. But, due to the several layer of contractors engaged in most transportation procedures, it is difficult to certify ecologically favorable requirements [27].

Customer will be able to track items back to primary node in the transportation chain if such data was provided on the blockchain, offering insight into the chosen transit route and operator. Smart contracts can also give a relative advantage since they can remove or significantly reduce operational costs by using the blockchain's recordkeeping and auditing features, and the ability to execute transactions automatically [28], [29].

Three blockchain innovations appear to offer the biggest benefits when implemented in terms of compatibility: validating items, decreasing paperwork, and end-to-end monitoring. Logistics companies transport expensive commodities and confirming paperwork across spatial and temporal, involving several players, and are thus vulnerable to forgery, theft, and manipulation [20].

Since information on the blockchain can't be modified, using blockchain technologies may dramatically limit the likelihood of an item being manipulated. Furthermore, using the technology will enhance the administration of now time-consuming administration paperwork, since shipment validation and inspection are already time-consuming and subject to the possibility of human mistake impacting the operation.

There are various issues involved with blockchain adoption that have obvious implications for network theory. They include inter-organizational connections, trust, dedication, knowledge sharing, and so on. One of the most noticeable flaws is its performance [7]. Every transaction will require the confirmation from every network's node, which might require more time than the centralized technique. Using general encryption cryptography, each user is assigned a personal and system's key, which is conveyed to all other participants in network, blockchain overcomes the double-spend problem [37].



Table 1. Analysis of Major Strengths of Blockchain in Logistics

Parameters	References
Immutability and Inviolability	[30], [20], [31]
Tracking and Storage	[23], [21], [9], [32], [20], [33]
Cost Reduction	[28], [29], [24], [34], [25], [26]
Integration and synchronization	[33], [35], [31]
Automated procedure and execution	[36], [20]

The blockchain's fundamental concept is a networked database that contains track of transaction which are distributed among participants. Fraudulent transactions are unable to overcome collective verification since every transaction is validated by the consent of the most of the system's validators. A record can never be changed once it is made and approved by the blockchain [38]. Table I shows Major Strengths of Blockchain in Logistics.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Blockchain adoption provides decentralization, immutability, inviolability, data security, tracking, storage, ledger secrecy, dependability, and cost-effective alternatives in logistics industry. Competitive strategies to firms who use this technology enable them to minimize transactional costs, provide extra services, demarcate organizational boundaries, and automate and decentralize decision making. However, proliferation of smart logistics, improved supply chain accountability, freight monitoring, and carrier onboarding as a service are just a few of the use cases that have already emerged in the sector, revealing the latent revolutionary possibilities of blockchain. The study brings the status of adoption of blockchain in logistics industry to light and reveals some challenges faced during commencement of technology in the field. There are a few obstacles that prevent full-scale adaption by many logistics and transportation sectors, such as throughput, and latency constraints. As the transaction volume grows, so do the size and computational power required to authenticate blocks. The most crucial component is to help remove obstacles and problems, to share a protracted vision, and distribute the required resources. Blockchain will take some time to achieve its pinnacle and it's not too far when the logistics and transportation industry will be fully decentralized, automated, and smart.

#### References

[1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," pp. 1–9.  
 [2] M. Iansiti and K. Lakhani, "The Truth About Blockchain:," *Harv. Bus. Rev.*, vol. 95, pp. 118–127, 2017.

[3] C. Carter and D. Rogers, "A Framework of Sustainable Supply Chain Management: Moving Toward New Theory," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 38, pp. 360–387, 2008, doi: 10.1108/09600030810882816.  
 [4] N. Kshetri, "Can Blockchain Strengthen the Internet of Things?," *IT Prof.*, vol. 19, no. 4, pp. 68–72, 2017, doi: 10.1109/MITP.2017.3051335.  
 [5] S. Saberi, M. Kouhizadeh, J. Sarkis, and L. Shen, "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, pp. 1–19, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1533261.  
 [6] V. Babich and G. Hilary, "Distributed Ledgers and Operations: What Operations Management Researchers Should Know About Blockchain Technology," *Manuf. Serv. Oper. Manag.*, vol. 22, 2019, doi: 10.1287/msom.2018.0752.  
 [7] D. Y. Liao and X. Wang, "Applications of blockchain technology to logistics management in integrated casinos and entertainment," *Informatics*, vol. 5, no. 4, 2018, doi: 10.3390/informatics5040044.  
 [8] M. Friedlmaier, A. Tumasjan, and I. M. Welpel, "Disrupting Industries With Blockchain: The Industry, Venture Capital Funding, and Regional Distribution of Blockchain Ventures," *SSRN Electron. J.*, Sep. 2017, doi: 10.2139/SSRN.2854756.  
 [9] A. Litke, D. Anagnostopoulos, and T. A. Varvarigou, "Blockchains for Supply Chain Management: Architectural Elements and Challenges Towards a Global Scale Deployment," *Logistics*, 2019.  
 [10] M. Rauchs and G. Hileman, *Global Cryptocurrency Benchmarking Study*. Cambridge Centre for Alternative Finance, Cambridge Judge Business School, University of Cambridge, 2017.  
 [11] N. Radziwill, "Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World.," *Qual. Manag. J.*, vol. 25, no. 1, pp. 64–65, 2018, doi: 10.1080/10686967.2018.1404373.  
 [12] V. Buterin, V. and Griffith, "Casper the Friendly Finality Gadget," 2017.  
 [13] J. Roth, F. Schär, and A. Schöpfer, "The Tokenization of Assets: Using Blockchains for Equity Crowdfunding," *SSRN Electron. J.*, Aug. 2019, doi: 10.2139/SSRN.3443382.  
 [14] L. Ante, "Smart Contracts on the Blockchain – A Bibliometric Analysis and Review," *SSRN Electron. J.*, no. 10, pp. 1–48, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3576393.  
 [15] S. Seebacher and R. Schüritz, "Blockchain Technology as an Enabler of Service Systems: A Structured Literature Review," 2017, pp. 12–23, doi: 10.1007/978-3-319-56925-3\_2.  
 [16] M. Dobrovnik, D. Herold, E. Fürst, and S. Kummer, "Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start," *Logistics*, vol. 2, p. 18, 2018, doi: 10.3390/logistics2030018.  
 [17] D. Mao, Z. Hao, F. Wang, and H. Li, "Innovative Blockchain-Based Approach for Sustainable and Credible Environment in Food Trade: A Case Study in Shandong Province, China," *Sustainability*, vol. 10, p. 3149, 2018, doi: 10.3390/su10093149.  
 [18] V. Crosby, M.; Pattanayak, P.; Verma, S.; Kalyanaraman, "Blockchain technology: Beyond bitcoin," *Appl. Innov.*, vol. 2, pp. 6–10, 2016.  
 [19] M. Pilkington, *Blockchain Technology: Principles and Applications*. 2016.

- [20]N. Hackius and M. Petersen, “Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat?,” 2017, doi: 10.15480/882.1444.
- [21]Z. Zheng, S. Xie, H.-N. Dai, X. Chen, and H. Wang, “An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends,” 2017, doi: 10.1109/BigDataCongress.2017.85.
- [22]H. M. Kim and M. Laskowski, “Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance,” *Intell. Syst. Accounting, Financ. Manag.*, vol. 25, no. 1, pp. 18–27, 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/isaf.1424>.
- [23]C.-S. Yang and T.-C. Lirn, “Revisiting the resource-based view on logistics performance in the shipping industry,” *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 47, p. 0, 2017, doi: 10.1108/IJPDLM-05-2017-0184.
- [24]D. Herold and K.-H. Lee, “Carbon management in the logistics and transportation sector: an overview and new research directions,” *Carbon Manag.*, vol. 8, pp. 1–19, 2017, doi: 10.1080/17583004.2017.1283923.
- [25]D. Herold, “Has Carbon Disclosure Become More Transparent in the Global Logistics Industry? An Investigation of Corporate Carbon Disclosure Strategies Between 2010 and 2015,” *Logistics*, vol. 2, p. 13, 2018, doi: 10.3390/logistics2030013.
- [26]D. Herold and K.-H. Lee, “Carbon Disclosure Strategies in the Global Logistics Industry: Similarities and Differences in Carbon Measurement and Reporting,” in *Pathways to a Sustainable Economy: Bridging the Gap between Paris Climate Change Commitments and Net Zero Emissions*, 2018, pp. 87–101.
- [27]D. Herold, “The Influence of Institutional and Stakeholder Pressures on Carbon Disclosure Strategies: An Investigation in the Global Logistics Industry Thesis Type,” 2018.
- [28]M. Giancaspro, “Is a ‘smart contract’ really a smart idea? Insights from a legal perspective,” *Comput. Law Secur. Rev.*, vol. 33, no. 6, pp. 825–835, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2017.05.007>.
- [29]D. E. O’Leary, “Configuring blockchain architectures for transaction information in blockchain consortiums: The case of accounting and supply chain systems,” *Intell. Syst. Accounting, Financ. Manag.*, vol. 24, no. 4, pp. 138–147, 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/isaf.1417>.
- [30]D. Campanella, *The Impact of Blockchain Technology on Capital Markets. A Transformation of our Financial System?* 2018.
- [31]K. Francisco and R. Swanson, “The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency,” *Logistics*, vol. 2, p. 2, 2018, doi: 10.3390/logistics2010002.
- [32]E. Tijan, S. Aksentijević, K. Ivanić, and M. Jardas, “Blockchain technology implementation in logistics,” *Sustain.*, vol. 11, no. 4, 2019, doi: 10.3390/su11041185.
- [33]M. Montecchi, K. Plangger, and M. Etter, “It’s real, trust me! Establishing supply chain provenance using blockchain,” *Bus. Horiz.*, vol. 62, 2019, doi: 10.1016/j.bushor.2019.01.008.
- [34]M. Buitenhok, “Blockchain is not the thing. It’s the thing that enables the thing.,” *Gobal head Trans. Serv. ING*, 2017.
- [35]A. Hughes, A. Park, J. Kietzmann, and C. Archer-Brown, “Beyond Bitcoin: What blockchain and distributed ledger technologies mean for firms,” *Bus. Horiz.*, vol. 62, no. 3, pp. 273–281, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.01.002>.
- [36]S. Ruoti, B. E. N. Kaiser, A. Yerukhimovich, J. Clark, and R. Cunningham, “What Is It Good for?,” no. october 2019, pp. 1–28, 2008.
- [37]V. Gatteschi, F. Lamberti, C. G. Demartini, C. Pranteda, and V. Santamaria, “Blockchain and Smart Contracts for Insurance: Is the Technology Mature Enough?,” *Futur. Internet*, vol. 10, p. 20, 2018.
- [38]J. Zhao, S. Fan, and J. Yan, “Overview of business innovations and research opportunities in blockchain and introduction to the special issue,” *Financ. Innov.*, vol. 2, 2016, doi: 10.1186/s40854-016-0049-2.



## Mevcut Az Katlı Betonarme Bir Binada Perde Kullanımı ve Yerleşiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi

Muhammed Öztemel<sup>1\*</sup>, Merdan Törehan Turan<sup>2</sup>, Halit Erdem Çolakoğlu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Giresun Üniversitesi, Keşap Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Giresun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6530-0739), [muhammed.oztemel@giresun.edu.tr](mailto:muhammed.oztemel@giresun.edu.tr)

<sup>2</sup> Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Alanya Ticaret ve Sanayi Odası Meslek Yüksekokulu, Emlak Bölümü, Alanya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1539-9096), [torehan.turan@alanya.edu.tr](mailto:torehan.turan@alanya.edu.tr)

<sup>3</sup> Giresun Üniversitesi, Keşap Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Giresun, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4498-3569), [erdem.colakoglu@giresun.edu.tr](mailto:erdem.colakoglu@giresun.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1078414)

**ATIF/REFERENCE:** Öztemel, M., Turan, M. T. & Çolakoğlu, H. E. (2022). Mevcut Az Katlı Betonarme Bir Binada Perde Kullanımı ve Yerleşiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 153-159.

### Öz

Bu çalışmada betonarme binalarda perdelerin kullanılması ve bu perdelerin planda farklı olarak yerleştirilmesi sonucu yapı üzerinde oluşan davranış değişiklikleri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Sakarya il sınırları içerisinde belirlenen mevcut bir bina ele alınmış, statik ve mimari proje ile yapıya ait zemin etüt raporlarına ulaşılmıştır. Betonarme binanın mevcut durumuna ek olarak perdelerin plandaki yerleşimlerinin farklı olduğu 6 adet durum için İdeCad paket programı kullanılarak sonlu eleman modelleri üretilmiştir. Yapılan modellemelerden bazılarında bodrum kat tamamen perde ile çevrilmiş, bazılarında ise taşıyıcı sistemde perde elemanı kullanılmadan çerçeve sistemler tercih edilmiştir. Çalışmada, mevcut betonarme bina dâhil olmak üzere üretilen 6 adet yapısal model modal analiz yöntemlerinden biri olan mod birleştirme yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve bölgedeki deprem riskine karşı tasarımı en uygun yapıyı tespit etmek amaçlanmıştır. Analiz sonucunda her bir durum için titreşim periyodu, taban kesme kuvveti, yatay yerdeğiştirme, burulma katsayısı, görelî kat ötelemesi ve yapı maliyeti gibi yapısal parametrelerdeki değişim değerlendirilerek deprem riskinin yoğun olduğu bölgelerimizde yapılacak bina türü yapılar için en uygun tasarımın belirlenmesi sağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, bodrum katı tamamen perdelerden oluşan modelde her iki yönde de deprem riskinin en belirgin düzeyde azaldığı ancak yapı maliyetinin buna paralel olarak arttığı tespit edilmiştir. Buna karşılık olarak taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan modelde ise deprem riskini en aza indirmek için ilave perde sistemlerinin de kullanılmasının zorunluluk oluşturduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Perde, Betonarme Bina, Taban Kesme Kuvveti, Görelî Kat Ötelemesi, Mod Birleştirme Yöntemi, Yapım Maliyeti

## Investigation of the Effect of Shear Wall Use and Placement on Structural Behavior in an Existing Low-Storey Reinforced Concrete Building

### Abstract

In this study, the behavioral changes on the building as a result of the use of shear walls in reinforced concrete buildings and the placement of these shear walls differently in the plan were examined. For this purpose, an existing building determined within the borders of Sakarya province has been handled, and the static and architectural project and ground survey reports of the building have been reached. In addition to the current situation of the reinforced concrete building, finite element models were produced using the IdeCad package program for 6 situations where the placement of the shear walls in the plan is different. In some of the models, the basement floor was completely surrounded by shear walls, and in some, frame systems were preferred without using shear wall elements in the carrier system. In the study, 6 structural models produced, including the existing reinforced concrete building, were analyzed using the mode combination method, which is one of the modal analysis methods, and it was aimed to determine the most suitable structure against the earthquake risk in the region. As a result of the analysis, the changes in structural parameters such as vibration period, base shear force, horizontal displacement, torsion coefficient, relative story drift and building cost were evaluated for each case,

\* Sorumlu Yazar: [muhammed.oztemel@giresun.edu.tr](mailto:muhammed.oztemel@giresun.edu.tr)

and the most suitable design for building type structures to be built in regions where earthquake risk is high was determined. As a result of the study, it was determined that the earthquake risk in both directions decreased most significantly in the model whose basement floor was completely sheared, but the cost of the building increased in parallel. On the other hand, it has been determined that the use of additional shear wall systems is a necessity in order to minimize the earthquake risk in the model whose carrier system consists only of frames.

**Keywords:** Reinforced Concrete Shear Wall, Reinforced Concrete Building, Base Shear Force, Relative Story Drift, Mode Combination Method, Building Cost

## 1. Giriş

Yapıların deprem etkisi altında emniyetli bir şekilde tasarlanması iyi bir projelendirme aşamasından geçmektedir. Bu doğrultuda yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklere karşı yapının taşıyıcı sistemi ile beraber yapı elemanlarının yeterli dayanımda olması beklenir ( Kasap, Baştürk, 2004). Yatay yüklerin karşılanmasında ve yer değiştirmelerin sınırlandırılmasında önemli bir yere sahip olan betonarme perde elemanların salt çerçeve sistemlerden oluşan yapılarda kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Betonarme perde duvarlar, depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın bir şekilde kullanılan yanal yüke dayanıklı sistem elemanıdır (Lombard, Tlau, Humar, Foo, Cheung, 2000). Aktif fay hatları üzerinde yer alan ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi oldukça fazladır. Son yıllarda ülkemizde yaşanan depremlerde meydana gelen yıkımlar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan can kayıpları depreme dayanıklı yapı tasarımının bir kez daha önemini ortaya çıkarmıştır. Yapıların taşıyıcı sisteminin belirlenmesi ve betonarme yapı elemanlarının tasarımı, depremlerin meydana gelmesinden kaynaklanan can ve mal kayıplarının ve ekonomik kayıpların önlenmesinde önemli bir konudur (Ugalde, Garcia, 2017). Depreme dayanıklı yapı tasarımı doğru malzeme seçimi ve kaliteli işçiliğin yanında doğru bir taşıyıcı sistem seçimine de bağlıdır (Kaya ve Özbay,2019).Genel olarak yapılarda yatay yüklerin karşılanmasında ve ikinci mertebe momentlerinin sınırlandırılması amacı ile perdelerin kullanılması yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Uçar ve Merter,2009). Bu durum aktif fay hatları üzerinde olan ülkemizde daha çok vazgeçilmez bir duruma gelmiştir. Türkiye bina deprem yönetmeliğinde betonarme perdeler kesitteki uzunluğunun kalınlığına oranı en az 6 (altı) olarak tanımlanan taşıyıcı sistem elemanları olarak ifade edilmektedir. Taşıyıcı sistem üzerinde betonarme perdeler yapının depreme karşı performansını artırırken deprem etkisi altında yatay ötelenmeleri de önemli derecede azaltmaktadır (Öztürk, Çağlar, Dok, Yüksel,2017). Betonarme perdeler büyük depremlerde yapıda oluşan yer değiştirmeleri önemli derecede azaltarak yapının hasar almasının önüne geçmektedir. Bu durum aktif deprem kuşağı üzerinde olan ülkemizde betonarme perde kullanımının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Betonarme perdelerde atalet momentleri uzun kenar doğrultusunda çok daha büyük olmasından dolayı, yapıya gelen yatay yükler atalet momentinin kısa kenara göre büyük olduğu uzun kenar doğrultusunda etkili olarak taşınırlar (Aktan ve Kıraç,2010). Dikkatli bir şekilde yapının planı üzerinde düzenlenen perdeler, yapının tamamen yıkılmasını önledikleri gibi, yapısal olmayan hasarların sınırlı düzeyde tutulmasında önemli bir paya sahiptirler(Aktan ve Kıraç,2010). Salt çerçeve sistemlerde yatay rijitliğin etkili bir biçimde sağlanamaması büyük yer değiştirmelere ve bunun etkisi ile yapılarda büyük hasarlara sebep olmaktadır (Celep, 2013).

Perdelerin yapı planı üzerinde doğru yerleştirilmesinin öneminden bahsedilmiş ve perdelerin planda farklı yerleştirilmesiyle yapı üzerinde oluşan davranış değişikliklerini

yorumlamak için 6 farklı tip yapı modeli analiz edilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analiz yönteminde modal analiz yöntemlerinden biri olan mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

Modellerde farklı doğrultuda perdeler çerçeve sisteme dâhil edilmiş ve yapılan analizler sonucunda titreşim periyodu, taban kesme kuvvetleri, yatay yer değiştirmeler, burulma katsayıları ve görelî kat ötelemesi gibi yapısal parametreler açısından incelenmiştir.

### 1.1. TBDY 2018' de Perde Enkesit Koşulları

Perdeler, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az altı olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Özel durumlar dışında, dikdörtgen ve U, L ve T gibi perdelerin gövde bölgesindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/16'sından ve 250 mm'den küçük olmayacaktır. Dikdörtgen perde veya perde kolu kalınlığı perdenin veya perde kolunun plandaki yanal doğrultuda tutulmamış boyunun 1/30'undan küçük olmayacaktır. Perde kolu her iki ucundan yanal doğrultuda bir perde ile tutulu ise, perde kolu kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 250 mm'den küçük olmayacaktır. (TBDY, 2018)

Taşıyıcı sistemi perdelerden oluşan binalarda, İfade 1 'de ile verilen koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda perde kalınlığı, binadaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 200 mm'den az olmayacaktır. (TBDY, 2018)

$$\Sigma Ag / \Sigma Ap \geq 0.002 \quad (1)$$

$$Vt / \Sigma Ag \leq 0.5fctd$$

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, taşıyıcı elemanların farklılık gösterdiği 6 farklı yapısal model bir sonlu elemanlar programı kullanılarak tasarlanmış çıkan sonuçlar titreşim periyodu, taban kesme kuvvetleri, yatay yer değiştirmeler, burulma katsayıları ve görelî kat ötelemesi gibi yapısal parametreler açısından incelenmiştir.

Burada 6 farklı yapı modeline ait planlar İdeCAD statik 10 programı kullanılarak tasarlanmış ve sisteme girilen parametreler doğrultusunda analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda oluşan verilerden alınan değerlerle hazırlanan Excel grafikleri yardımıyla sonuçlar karşılaştırılmıştır.

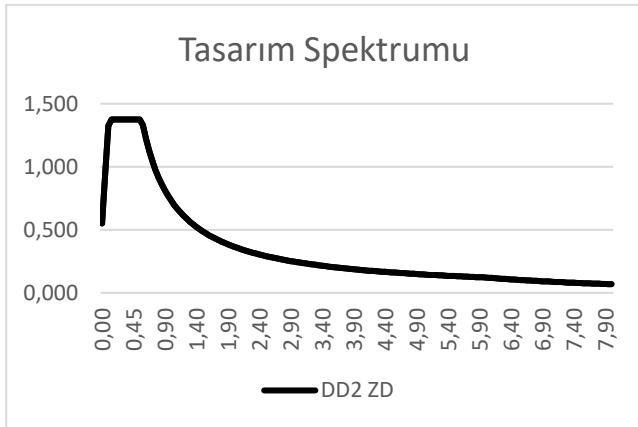
## 2.1. Yapıların Genel Özellikleri

Tamamlanmış bir yapıdan alınan proje üzerinde altı farklı plan modeli oluşturulmuş ve bu projeye ait etüt raporu kapsamında analizler yapılmıştır. 3 katlı betonarme bina için bina önem katsayısı  $I=1$  alınmıştır.

Tablo 1. Yapıya Ait Genel Bilgiler

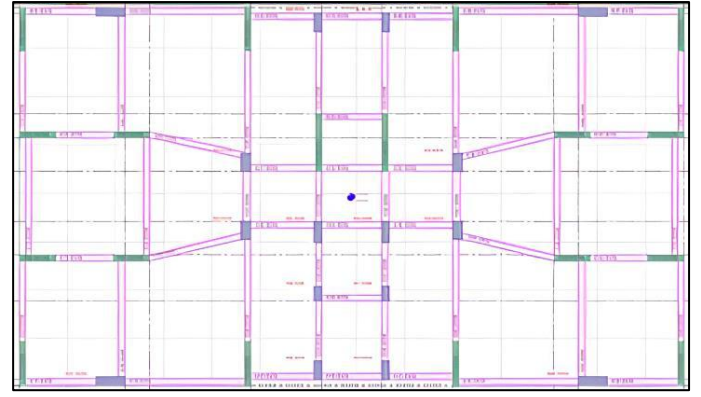
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
Beton Sınıfı	C25
Kat Yüksekliği	3m
Boyuna donatılar	B420C
Enine donatılar	B420C
Bina Önem Katsayısı	1
Kat Sayısı	3

Çalışmamızın konusunu oluşturan Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 ve Yerel Zemin Sınıfı ZD için yapımızın bulunduğu Enlem ve Boylam değerleri için AFAD Deprem Daire Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen tasarım spektrumu aşağıda verilmiştir.

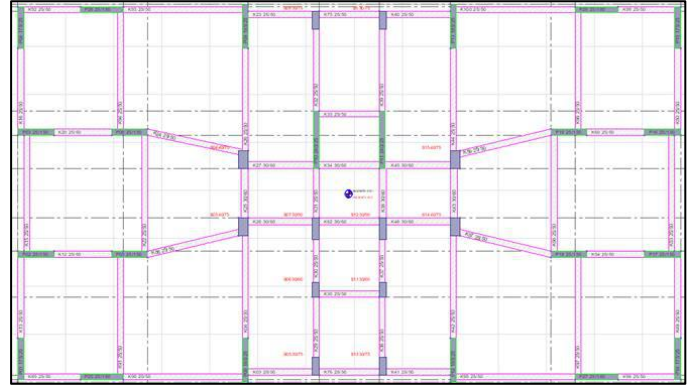


Şekil 1: Deprem yer hareketi düzeyi DD 2 ve yerel zemin sınıfı ZD için elde edilen tasarım spektrumu

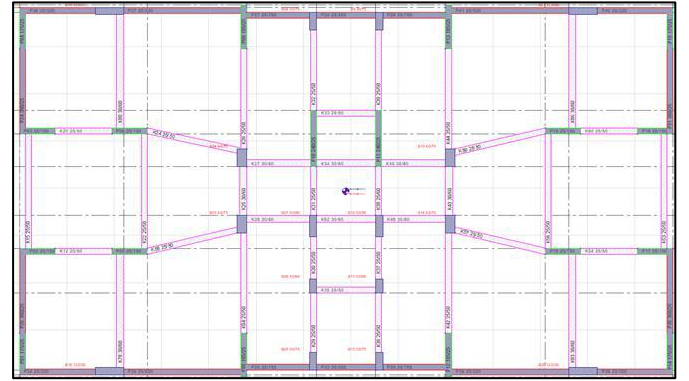
Çalışmamızın konusunu oluşturan mevcut perdeli yapıya P1, tüm çevre kenarlarına x yönünde simetrik olarak yerleştirilen perdelerle oluşturulan yapıya P2, yapının dış kısmının tamamının bodrum perdelerle oluşturulan yapıya P3, yapının çerçeve tipi yapıya dönüştürülerek dış kısmının tamamının bodrum perdelerle oluşturulan yapıya P4, dikdörtgen kesitli düşey taşıyıcı elemanlardan oluşan salt çerçeve tipi yapıya P5, yapının dış kısmının tamamının kare kesitli düşey taşıyıcı elemanlardan oluşan salt çerçeve tipi yapıya P6 isimleri verilmiştir.



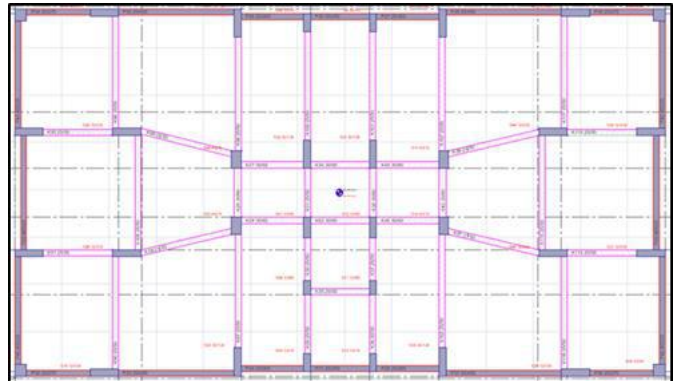
Şekil 2: Yapımı tamamlanmış olan perdeli çerçevesel P1 planını oluşturan mevcut yapı planı



Şekil 3: X yönünde perde yerleştirilmesi ile oluşan P2 planı

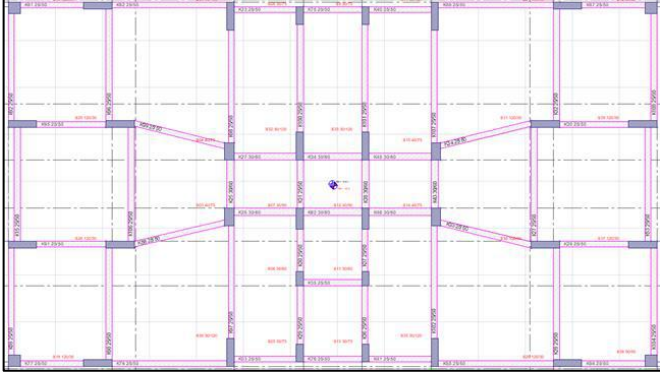


Şekil 4: Yapıya bodrum perdesinin eklenmesi ile oluşturulan P3 planı



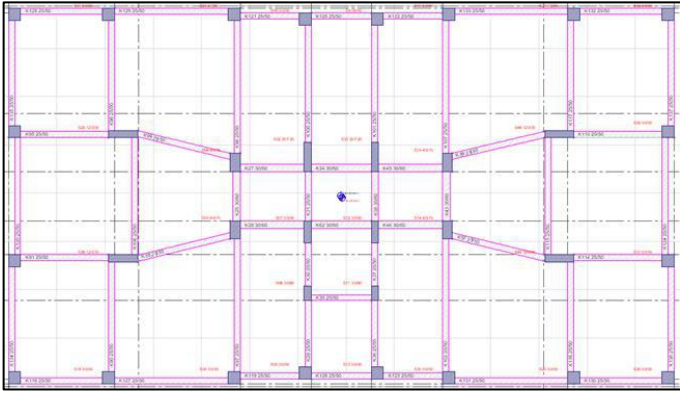
Şekil 5: Yapıdaki tüm betonarme perdelerin kaldırılarak bodrum perdesi kullanımı ile oluşturulan P4 planı

P4 planında mevcut yapının tüm perdelerin yerine 30x90 boyutunda dikdörtgen kesitli kolonlar yerleştirilmiştir. Perdeleri çerçevesi olarak tasarlanmış olan taşıyıcı sistemde bulunan kolon ölçüleri değiştirilmemiştir. P2 planında yapıya yerleştirilen perdelerin kesit kalınlığı 25cm olarak belirlenmiştir. Betonarme perdelerin kesit uzunlukları plandaki konumlarına göre farklılık göstermektedir.



Şekil 6: Tüm perdelerin kaldırılarak oluşturulan çerçeve sisteme ait P5 planı

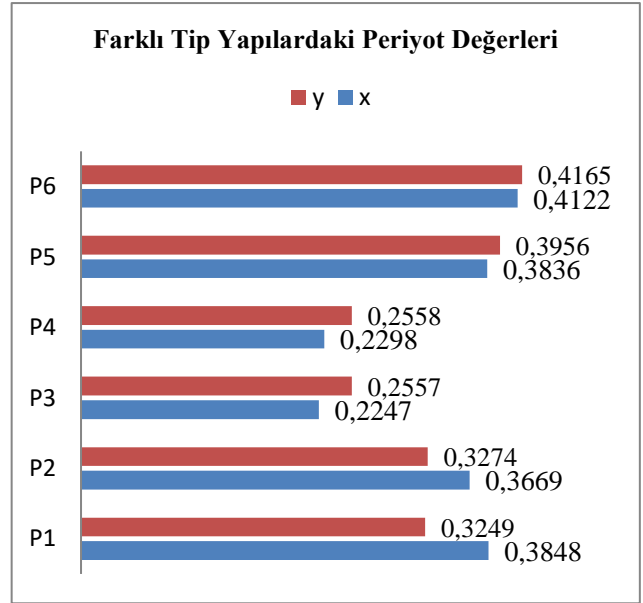
P5 tipi yapı planında tüm perdeler ile beraber bodrum perdesi de kaldırılmış ve bunların yerine planda mimari projenin dışına çıkılmadan 30x90 boyutlarına dikdörtgen kesitli kolonlar yerleştirilmiştir.



Şekil 7: X ve Y yönünde yapıya kare kesitli kolonların yerleştirilmesi ile oluşturulan P6 planı

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı tip yapılarda perdelerin katkısıyla yapı modal analiz sonucunda ilk meydana gelecek farklılık sistemin periyotlarıdır. P1 ve P2 tipi yapılarda y yönünde yapının daha rijit olduğu periyot değerlerinin x yönünde yerleştirilen perde elemanlar etkisinde düşük çıktığı görülmüştür. P5 ve P6 tipi salt çerçeve tipi yapılarda periyot değerleri fazla çıkmıştır. Bu iki yapı arasında ise P5 tipi yapıda kullanılan dikdörtgen kesitli taşıyıcı elemanların farkı görülmüştür.

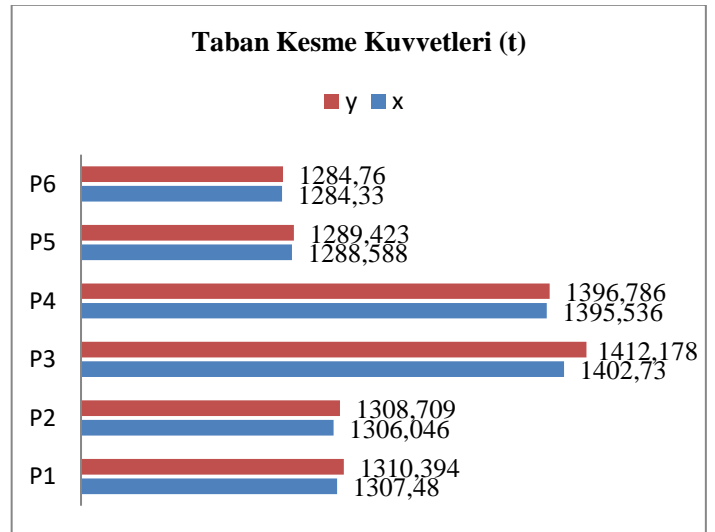


Şekil 8: Farklı tip yapı planlarında x ve y yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan periyot değerleri

P3 ve P4 planlarında her iki yönde yerleştirilen bodrum perdesinin etkisiyle yapıda x ve y yönünde periyot değerlerinin düştüğü görülmektedir. Mevcut yapı planında x yönünde yerleştirilen betonarme perdelerin etkisiyle o yönde periyot değerinin azaldığı görülmektedir.

### 3.1. Taban Kesme Kuvvetleri

Taban kesme kuvvetinin yapı ağırlığı ve spektral ivme katsayısıyla doğru orantılı olacak şekilde artacağı beklenen bir sonuçtur (Kaya ve Özbay,2019). Aşağıda verilen grafikte taban kesme kuvvetinin periyot değeri düşük yapı modellerinde daha fazla çıkmıştır. Ters orantılı olarak yapının periyot değerinin artmasıyla taban kesme kuvvetinin de bu doğrultuda azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 9: Farklı tip yapı planlarında x ve y yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan taban kesme kuvveti değerleri

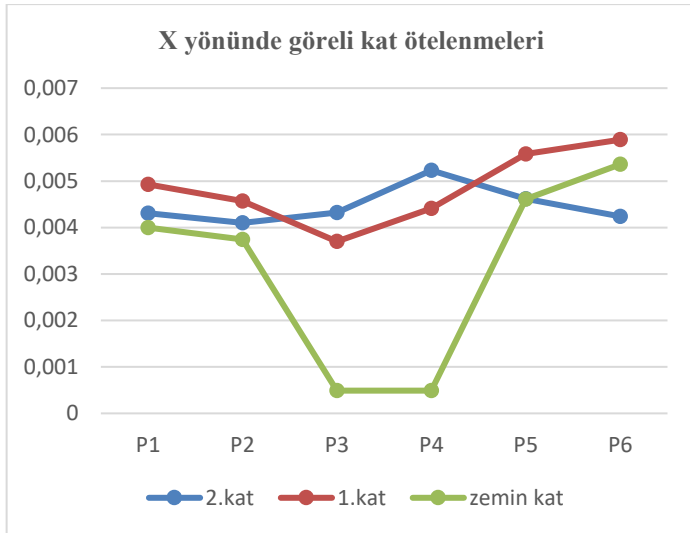
### 3.2. Göreli Kat Ötelemeleri

Betonarme perdelerin depremde yapının hasar almasına yol açan göreli kat öteleme değerlerinde önemli derecede bir azalma meydana getirdiği bilinmektedir. Bu nedenle çalışmamızın konusunu oluşturan yapı modellerimizde göreli kat öteleme değerlerine ait sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar aşağıdaki tabloda ve grafikte görülmektedir.

P5 ve P6 tipi çerçeve yapı ve diğer perdeli-çerçeve yapılar karşılaştırıldığında P2 tipi yapıda özellikle alt katlarda oluşan büyük göreli kat ötelenmesi değerlerinin perdeli-çerçeve yapılarda azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin çerçeve sistemlerde daha fazla çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde bodrum perdesi bulunan P3 ve P4 tipi yapılarda ise alt katlarda daha az çıktığı görülmektedir.

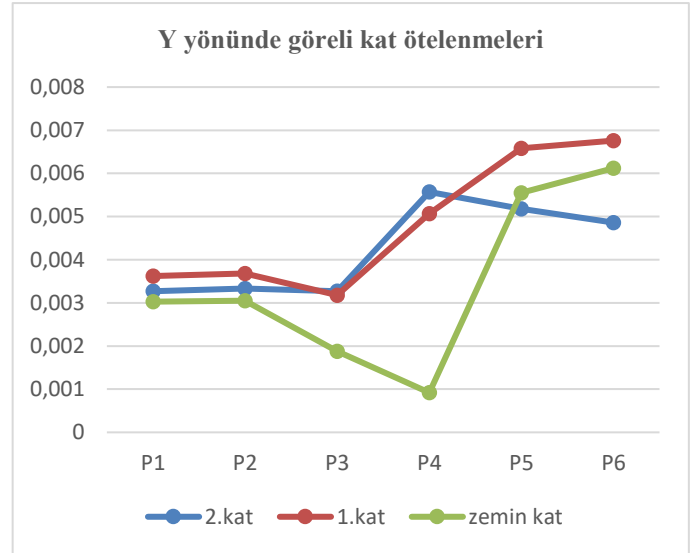
Burada mevcut yapı olarak ifade edilen P1 planı üzerinde y yönünde yerleştirilen perdelerin etkisiyle P2 planı karşılaştırıldığında x yönünde tüm katlarda göreli kat ötelenmesinin azaldığı görülmektedir. P2 tipi yapıda zemin katta oluşan 0.00374 değerine karşılık P6 tipi yapıdaki bu değer 0.00536'dır. Burada değişim yaklaşık %30 civarındadır.

X doğrultusunda perde bulunmayan modellerde en üst katta etkin göreli kat ötelenmesi değerlerinde azalma meydana gelirken X yönünde betonarme perde bulunan P3 ve P4 tipi yapı modellerinde üst katlara çıkıldıkça etkin göreli kat ötelenmesi değerlerinde bir yükselme meydana gelmiştir.



Şekil 10: Farklı tip yapı planlarında x yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan göreli kat ötelenme değerleri

X yönünde perde bulunan modellerde y yönündeki göreli kat ötelenme değerleri x yönünde elde edilen değerlere göre sonuçların ciddi ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Fakat bu değerlerin salt çerçeve tipli yapılarda daha fazla çıktığı görülmektedir. Bodrum perdesinin etkisiyle P3 tipi yapıda ötelenmenin daha da sınırlandırdığı görülmektedir.



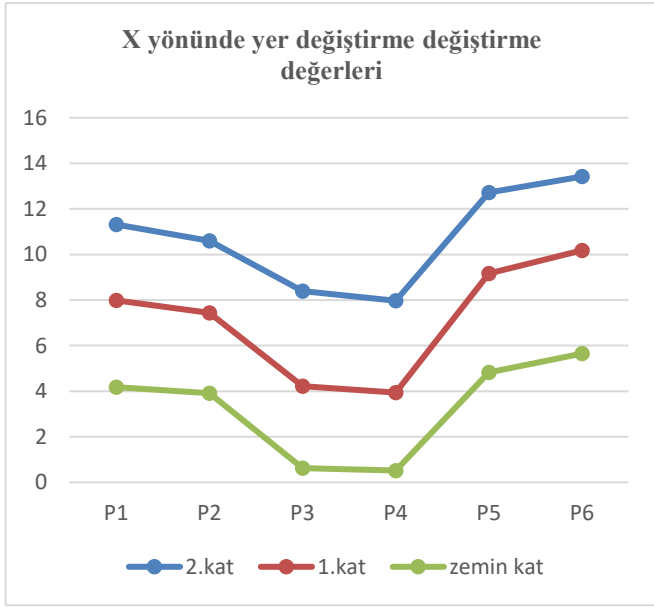
Şekil 11: Farklı tip yapı planlarında y yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan göreli kat ötelenme değerleri

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda çerçevelerin daha çok üst katlarda perdelerin ise daha çok alt katlarda etkin olup ötelenmeleri karşıladıkları sonucuna varılabilir. Perdenin yerleşiminin yapı üzerindeki ötelenme değerleri üzerinde ciddi bir şekilde etkisi vardır. Deprem bölgesinde yapılacak olan bu tip yapılarda her iki yönde de perde yerleşimine dikkat edilmelidir.

Betonarme yapıların depreme karşı taşıyıcı elemanlarının aynı rijitlikte ve sertlikte cevap verebilmesi için yapı modelleri üzerinde bu taşıyıcı elemanların her iki yönde yapı rijitliğini arttıracak şekilde yerleştirilmesi oldukça önemli bir durumdur.

### 3.3. Kat Yerdeğiştirmeleri

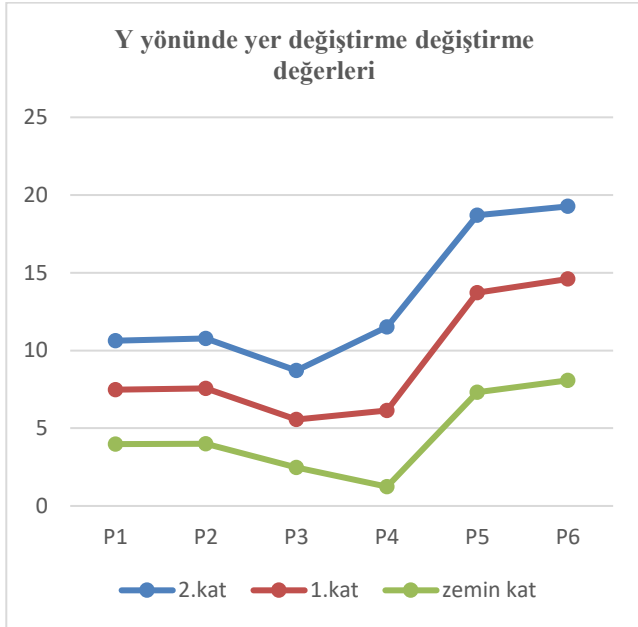
Perdeler yanal yer değiştirmeyi sınırlayıcı elemanlar oldukları için farklı tip yapılardaki davranış özelliklerini incelerken yapılarda oluşan yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Farklı tip planlara ait yer değiştirme değerleri karşılaştırıldığında, x yönündeki yer değiştirme değerlerinde P5 ve P6 tipi yapıların maksimum değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 12: Farklı tip yapı planlarında x yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan yer değıştirme değerleri

Mevcut P1 tipi yapıya göre P2 tipi yapı üzerine yerleştirilen perdeler sayesinde x yönündeki yer değıştirmelerin azaldığı görülmektedir. Salt çerçeve tipli yapılarda yer değıştirme değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir.

P3 ve P4 tipi yapılarda ise bodrum perdesi etkisi ile yer değıştirme değerlerinde önemli ölçüde azalma mevcuttur.



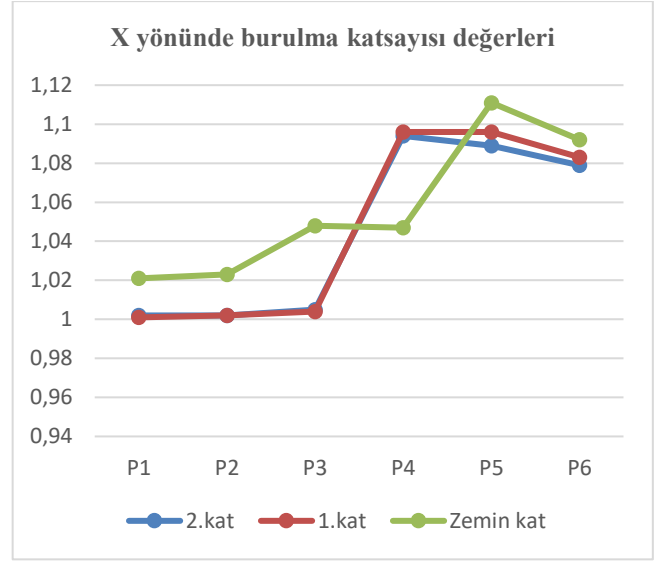
Şekil 13: Farklı tip yapı planlarında y yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan yer değıştirme değerleri

Çerçeve tipi yapılarda yer değıştirme değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir. P3 ve P4 tipi yapılarda bodrum perdesinin etkisiyle yer değıştirme değerleri düşük çıkmıştır. Tüm planlar üzerinde yapılan analiz sonucunda en büyük yer değıştirme değerlerinin P5 ve P6 tipi yapılarda meydana geldiği görülmektedir. x ve y yönlerinde ki yer değıştirme değerlerine

bakıldığı zaman perdelerin büyük ölçüde yer değıştirmeleri sınırlandırdığı görülmektedir.

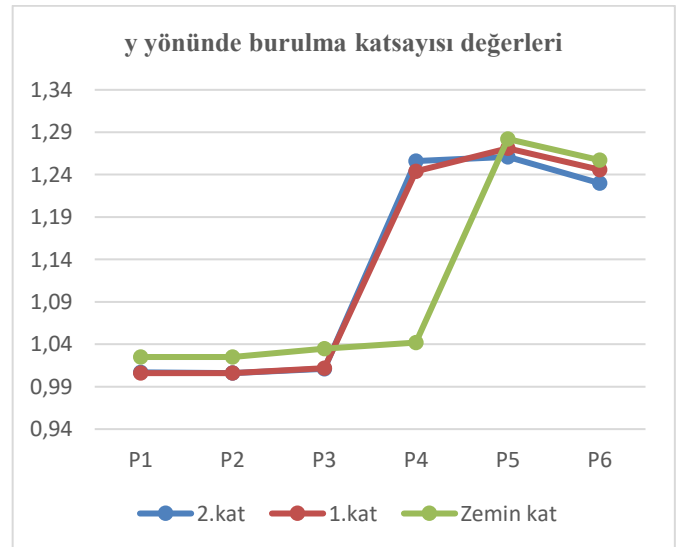
### 3.4. Burulma Katsayıları

Burulma düzensizliği yapılarda birçok farklı sebeplerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu sebeplerin en başında rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmaması gelmektedir. Aynı şekilde plan geometrisi ve planda perde elemanların varlığı ile perdelerin plandaki konumlarına karşı analiz sonucunda tüm planlarda burulma katsayısı değerleri incelenmiştir. Aşağıda x ve y yönleri için burulma katsayısı değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 14: Farklı tip yapı planlarında x yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan burulma katsayısı değerleri

Analiz sonucunda tüm modeller incelendiğinde x yönünden P4,P5 ve P6 tipi yapılarda en büyük burulma katsayısı değerlerinin çıktığı görülmektedir. P1, P2 ve P3 tipi yapılarda perde elemanların etkisi ile burulma katsayısı değerleri küçük çıktığı görülmektedir.



Şekil 15: Farklı tip yapı planlarında x yönünde analiz sonucunda ortaya çıkan burulma katsayısı değerleri



P4 tipi yapıda bodrum perdesinin etkisiyle burulma katsayısı değeri zemin katta düşük çıkarken üst katlarda burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır. Perde etkisiyle P1,P2 ve P3 tipi yapılarda burulma katsayısı değerleri düşük çıkarken çerçeve tipli P5 ve P6 tipli yapılarda burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır.

Y yönünde en yüksek burulma değerleri P5 tipi yapıda ortaya çıkmıştır.P5 ve P6 tipi yapının her iki yönde de büyük burulma değerlerinin yüksek olmasının nedeni bu tip yapıda x ve y yönlerinde perdelerin bulunmamasıdır. P5 ve P6 yapılar salt çerçeve yapılarıdır. X yönünde olduğu gibi y yönünde de P1, P2 ve P3 tipi yapılarda perde elemanların etkisi ile burulma katsayısı değerleri küçük çıktığı görülmektedir. Mevcut yapı olan P1 tipi yapıda her iki yönde de burulma değerleri küçük çıkmıştır.

### 3.5. Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Az katlı yapılar için, perdeli sistemlerin çerçeve sistemlere göre maliyetinin yüksek olması ve çerçeve sisteme göre sünekliğinin daha düşük olması perdeli sistemlerin zayıf bir yönü olarak belirtilmektedir. (Doğangün, 2012). Bu sebeple aşağıda verilen tablo bu ifadeyi destekler niteliktedir. Bu sebeple, perdeli-çerçeve yapılarında düşey taşıyıcı elemanların düzenlenmesi yapının taşıyıcı sisteminde avantaj oluştururken yapım maliyeti yönünden dezavantajlı olmaktadır.

Tablo 2. Farklı tipte bulunan yapıların metraj değerleri

	P1	P2	P3
Beton(m <sup>3</sup> )	606,68	615,08	661,69
Kalıp(m <sup>2</sup> )	2685,69	2707,82	3125,35
Donatı (kg)	55109,69	54403,9	62401,35
	P4	P5	P6
Beton(m <sup>3</sup> )	653,45	592,48	583,22
Kalıp(m <sup>2</sup> )	3041,99	2539,8	2441,18
Donatı (kg)	64146,99	55697,43	54097,28

Tablo 2'den ortaya çıkan sonuca göre perdeli çerçeve sistemin çerçeve sistemlere göre zayıf yönünün maliyet olduğu görülmektedir.

P5 ve P6 tipi yapılarda en düşük beton ve kalıp metraj değerlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Çerçeve tipi yapılara göre P3 ve P4 tipi yapılarda bodrum perdesinin etkisiyle beton, kalıp ve donatı metraj değerleri doğrultusunda yüksek yapı maliyeti ortaya çıkmıştır.

### 4. Sonuç

Çalışmamızın konusunu oluşturan altı farklı yapı modeli incelendiği zaman en küçük yer değiştirme değerlerinin bodrum perdesinin eklenerek oluşturulduğu perdeli çerçeve yapı modeli olan P3 tipi yapıda ortaya çıkmıştır.

Belirlenen mevcut betonarme binayı oluşturan P1 planına x yönünde yerleştirilen perdeler ile oluşturulan P2 tipi yapıda yerdeğiştirmeye değerleri önemli ölçüde azalmıştır.

Çerçeve tipi yapılarda yer değiştirme değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir. P3 ve P4 tipi yapılarda bodrum perdesinin etkisiyle yer değiştirme değerleri düşük çıkmıştır. Tüm planlar üzerinde yapılan analiz sonucunda en büyük yer değiştirme değerlerinin P5 ve P6 tipi çerçeve tipi yapılarda meydana geldiği görülmektedir. Yapı modellerine bakıldığı zaman her iki yönde yerleştirilen perdelerin yer değiştirme değerlerini büyük ölçüde sınırlandırdığı görülmektedir.

Bu sonuçlar perdeli-çerçeve tipte bulunan yapıların incelenen parametreler doğrultusunda daha uygun sonuçlar verdiğini, depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli derecede etkisi olan betonarme perdelerin tercih edilmesi gerektiğini açıkça ortaya çıkarmıştır.

Perdeli sistemlerin yer değiştirme değerlerini ve görel kat öteleme değerlerini büyük ölçüde azalttığı ortaya çıkan verilerde görülmüştür.

Ülkemizde yaygın olan çerçeve tipi yapıların deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde tercih edilmeden önce bir kez daha düşünmek gereklidir.

### Kaynakça

- S.Aktan, ve N.Kıraç, "Betonarme binalarda perdelerin davranış etkileri," Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:XXIII, Sayı:1, s.16-17 2010
- T.Uçar, ve O.Merter, "Planda perde yerleşiminin betonarme perde-çerçeve binaların deprem davranışına etkisi," Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt.11,Sayı.2,s.12-13,2009
- G.Kaya, ve A.E.Ö. Özbay, "Perde ve çerçeve betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranış etkisi," Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Cilt.7,Sayı.1, s.7-8,2019
- Öztürk.A, Çağlar.N, Dok.G, ve Yüksel.M, "Betonarme perdelerin betonarme yüksek binaların deprem performansına etkileri," Mühendislik ve Bilimde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, s.2-3,2017
- Kasap.H, Baştürk.T, "Boşluklu Perdeli- Çerçeve Yapılarda Perde Yerlerinin Değişmesinin Yapı Davranışına Etkisi," Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt.8, Sayı.1,s.31-32,2004
- Ugalde.D, Garcia.D.L," Elastic Overstrength Of Reinforced Concrete Shear Wall Buildings In Chile," 16th World Conference on Earthquake Engineering,2017
- Lombard.J, Tlau.D, Humar.J.L, Foo.S, Cheung.M.S," Seismic Strengthening And Repair Of Reinforced Concrete Shear Walls," 12th World Conference on Earthquake Engineering, Cilt.1, Sayı.1, s.1-2,2000
- Celep, Z. "Betonarme Yapılar," İstanbul: Beta Dağıtım, 2013
- Doğangün, A. "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı," İstanbul: Birsan Yayınevi, 2012
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)(2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı



## Morphology investigation of porous carbon nanofibers

Göktuğ Cihanbeyoğlu<sup>1</sup>, Meltem Yanılmaz<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Nanoscience and Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0562-5715)

<sup>2\*</sup> Department of Textile Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6056-4359),

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1078490)

**ATIF/REFERENCE:** Cihanbeyoğlu, G. & Yanılmaz, M. (2022). Morphology investigation of porous carbon nanofibers. *European Journal of Science and Technology*, (34), 160-163.

### Abstract

Carbon nanofibers (CNFs) have been used in many applications such as sensors, energy storage and biomedical applications owing to high electronic conductivity and chemical stability of CNFs. Performance of carbon nanofibers are influenced by the physical and chemical properties of nanofibers. Furthermore, morphology, porosity and specific surface area are important properties for several applications including energy storage and sensors. There are several techniques to produce nanofibers including chemical vapor deposition, catalytic synthesis, arc discharge and electrospinning. Controlling surface area and porosity is vital considering the performance of CNFs. In this study, polyacrylonitrile (PAN) nanofibers were produced via two commonly used nanofiber production techniques; electrospinning and centrifugal spinning. The morphology of the polymeric nanofibers was studied by using SEM. Moreover, heat treatment was applied in air and the inert atmosphere to fabricate carbon nanofibers and porous carbon nanofibers. The effect of production technique on the morphology and chemical structure was investigated via SEM and XRD studies. Electrospun PAN/PS nanofibers showed beads on string morphology due to low viscosity of the spinning solution while uniform fibers without defects were obtained by using centrifugal spinning technique. Centrifugally spun PAN nanofibers have rough surface while PAN nanofibers with smooth surface was obtained by using electrospinning technique. PCNFs derived from centrifugally spun PAN/PMMA nanofibers had rough surface with porous structure and XRD analysis proved the amorphous structure of PCNFs.

**Keywords:** Nanofibers, Electrospinning, Porosity, Surface area

## Gözenekli Karbon Nanoliflerin Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi

### Öz

Karbon nanofiberler (KNF'ler), KNF'lerin yüksek elektronik iletkenliği ve kimyasal stabilitesi nedeniyle sensörler, enerji depolama ve biyomedikal uygulamalar gibi birçok uygulamada kullanılmıştır. Karbon nanoliflerin performansı, nanoliflerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenir. Ayrıca, morfoloji, gözeneklilik ve spesifik yüzey alanı, enerji depolama ve sensörler dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için önemli özelliklerdir. Kimyasal buhar biriktirme, katalitik sentez, ark deşarjı ve elektro eğirme dahil olmak üzere nanolifler üretmek için çeşitli teknikler vardır. Yüzey alanını ve gözenekliliği kontrol etmek, KNF'lerin performansı göz önüne alındığında hayati önem taşır. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan iki nanolif üretim tekniği ile poliakrilonitril (PAN) nanolifleri üretilmiştir; elektro eğirme ve santrifüj eğirme. Polimerik nanoliflerin morfolojisi SEM kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, karbon nanofiberleri ve gözenekli karbon nanofiberleri üretmek için havada ve azot atmosferde ısıl işlem uygulandı. Üretim tekniğinin morfoloji ve kimyasal yapıya etkisi SEM ve XRD çalışmaları ile araştırılmıştır. Elektrospun PAN/PS nanolifleri, eğirme çözeltisinin düşük viskozitesi nedeniyle sicim morfolojisi üzerinde boncuklar gösterirken, santrifüj eğirme tekniği kullanılarak hatasız homojen lifler elde edildi. Santrifüjle eğrilmiş PAN nanolifler pürüzlü bir yüzeye sahipken, elektro eğirme tekniği kullanılarak pürüzsüz yüzeyli PAN nanolifler elde edilmiştir. Santrifüjle üretilmiş PAN/PMMA nanoliflerinden türetilen PCNF'ler, gözenekli yapıya sahip pürüzlü bir yüzeye sahipti ve XRD analizi, PCNF'lerin amorf yapısını kanıtladı.

**Anahtar Kelimeler:** Nanolifler, Elektro eğirme, Gözeneklilik, Yüzey alanı

## 1. Introduction

Carbon nanofibers (CNFs) have been used in many areas such as selective adsorption, reinforcement, electrochemical catalysis, sensing, and energy storage owing to their high electronic conductivity, high specific surface area and high chemical stability. CNFs are composed of sp<sup>2</sup>-based filaments, with typical high aspect ratio. The direction of layers affects the mechanical properties [1]. Porous carbon nanofibers also gained tremendous attention owing to the surface properties and investigated for many applications including catalyst supports, adsorption agents, gas storage and sensing, and energy storage [2]. PCNFs could be produced by combining electrospinning of PAN/PS, PAN/PMMA, PAN/Silica nanoparticles and heat treatment [3]. For example, Ming-xi Wang et al. oxidized NO into NO<sub>2</sub> on PCNFs with unique properties of high length-to-diameter ratio and high specific surface area [4].

Chemical vapor deposition (CVD) and electrospinning techniques are commonly used to fabricate nanofibers. In CVD technique, high temperature is required to produce CNFs in the presence of gaseous hydrocarbon precursors and metal catalysts. In electrospinning technique, polymeric nanofibers with high carbon content such as polyacrylonitrile nanofibers are produced under the action of electrical field and heat treatment is applied to fabricate CNFs. In electrospinning technique, high voltage is applied on polymer solution. Polymer solution stretches and solvent evaporates under electric field [5]. In this technique, in order to achieve stable Taylor cone, voltage of around 15-20 kV is applied to homogenous solution fed with flow rate constant of around 0.5-1 mL/h. Fibers are collected on an aluminum foil collector which is around 10-20 cm far from the capillary tip. Fibers morphologies are affected by many parameters including solution properties, processing conditions and ambient parameters. Solution concentration is one of the most important parameters that affect the morphology. In the study of Ming-xi Wang et al., they found flexibility and diameter of fibers produced mainly dominated by PAN concentration in solution [4]. However, production rate is low in electrospinning and centrifugal technique is a fast and safe technique to produce nanofibers. Moreover, the morphology, porosity, surface texture, and specific surface areas could be tuned easily to improve properties of CNFs with this technique.

Considering large applications and superior properties of highly porous carbon nanofibers, it is vital to evaluate the morphology and structure of these materials produced via centrifugal spinning that produce nanostructures with the merits of not only high safety and high production rate but also variable morphologies and pore structures. In this study, carbon nanofibers and porous carbon nanofibers were produced via two commonly used techniques; electrospinning and centrifugal spinning for the first time to investigate the difference in the morphology and the chemical structure. The morphology of the polymeric nanofibers was studied by using SEM. Heat treatment was applied in the inert atmosphere to fabricate carbon and porous carbon nanofibers. The morphology and structure of the obtained nanostructured carbons were investigated via SEM and XRD. Results showed that highly porous structure, which is beneficial for many applications could be fabricated via centrifugal spinning and similar crystal structure was observed from centrifugally spun and electrospun carbon structures.

## 2. Material and Method

Polyacrylonitrile (PAN, 150000), polymethylmetacrylate (PMMA 120000), polystyrene (PS, 192000) were dissolved in dimethylformamide (DMF) and 10 wt.% polymer solution was used for electrospinning and centrifugal spinning. The feeding rate was 1 ml/h, the tip to collector distance was 15 cm and applied voltage was 15 kV during electrospinning. Distance was 15 cm and rotational speed was 4000 rpm in centrifugal spinning. After stabilization at 280 °C for 5h and carbonization at 800 °C for 2h, porous carbon nanofibers were obtained. Scanning electron microscope (SEM) was used for morphology study. X-ray diffraction (XRD) were used for structural characterization.

### 3. Results and Discussion

In order to evaluate the effect of production technique on the structure and morphology of nanofibers, centrifugal and electrospinning techniques were used. Figure 1 shows SEM images of centrifugally spun (C-spun) and electrospun (E-spun) PAN nanofiber mats. Fibrous structure without defects were observed from both images.

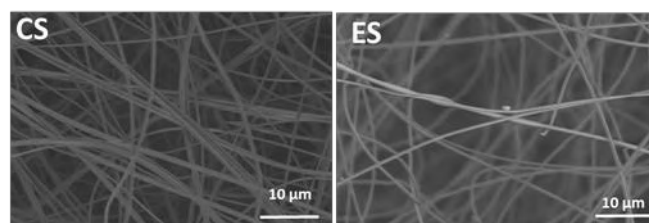


Fig. 1 SEM images of C-spun and E-spun PAN nanofibers

In order to create porous carbon nanofibers, PMMA and PS were added in PAN solution. Figure 2 and 3 shows the SEM images of PAN/PMMA and PAN/PS nanofibers. C-spun and E-spun PAN/PMMA nanofibers have similar morphology and average fiber diameters which is around 800 nm. The average fiber diameters are larger compared to PAN which could be explained by higher viscosity of PAN/PMMA solution (1430 cP) compared to that of PAN solution (610 cP). Rihova et al [6] also studied centrifugally spun PVA and PVP fibers and larger fiber diameters were reported with increasing velocities. Ming-xi Wang et al. reported relation between viscosity and fiber diameters. Solutions with different PAN concentrations (10, 12, 15, 16 wt%) were used to form fibers with diameters ranging from 175 to 1206 nm. As the PAN concentration becomes higher, fiber diameter becomes wider due to increased viscosity [4]. SEM images of C-spun PAN/PS nanofibers show defect free fibrous structure whereas PAN/PS nanofibers have beads on string morphology.

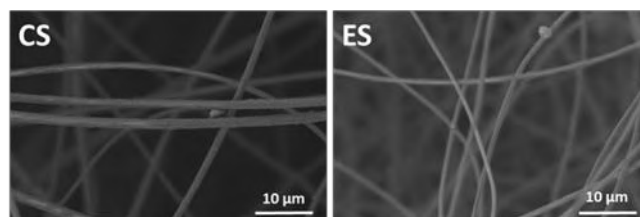


Fig. 2 SEM images of C-spun and E-spun PAN/PMMA nanofibers

In electrospinning, fiber formation relies on electrostatic forces whereas centrifugal force is applied on polymer solution in centrifugal spinning technique. In both electrospinning and

centrifugal spinning, surface tension and viscosity are the most important factors that affect the fiber formation. Besides, in electrospinning, solution conductivity is also effective. Table 1 shows the solution properties that are used for fiber formation in both techniques. As seen in the table, the viscosity of PAN/PS is 140 cP which is much lower than PAN and PAN/PMMA solutions.

Table 1 Solution properties

	Viscosity, cP	Surface tension mN/m	Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$
PAN	610	37	144
PAN/PMMA	1430	37	125
PAN/PS	140	37	116

SEM images of CNFs derived from C-spun and E spun nanofibers are seen in Figure 4. Fibrous structure was seen from both images however roughness of C-spun nanofibers is higher which is beneficial for many applications such as electrodes. Rough surface could improve the amount of active sites and thus improve kinetics of batteries and supercapacitor. For example, Geunsung Lee et al. studied surface roughness of CNT on CNFs with BET surface areas of 0.9522  $\text{m}^2/\text{g}$ , 1.3280  $\text{m}^2/\text{g}$ , 3.0758  $\text{m}^2/\text{g}$ , 4.8636  $\text{m}^2/\text{g}$  respectively. They found that roughness is essential property to cultivate CNTs on CNFs uniformly [7].

Fig. 5 show SEM images of porous carbon nanofibers. C-spun PAN-PMMA derived PCNFs have rougher surface compared to E-spun PCNFs. In Fig. 6, SEM images of PCNFs derived from PAN/PS are seen. Highly porous fibrous structure are seen from the images of PCNFs derived from C spun PAN/PS while SEM images of PCNFs derived from E-spun nanofibers shows fused short fibers. This morphology could be the result of beads on string morphology of E-spun PAN/PS.

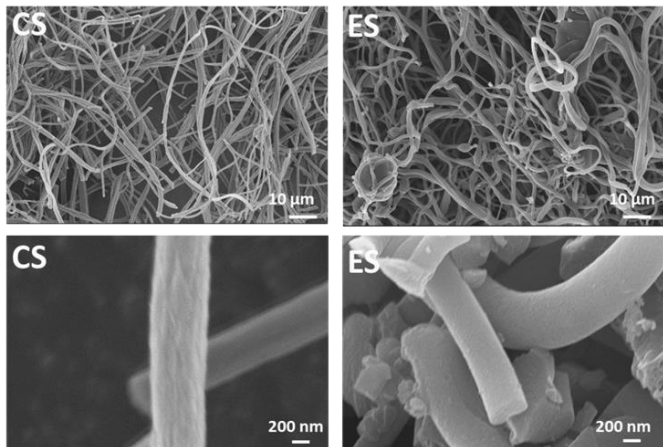


Fig. 4 SEM images of carbon nanofibers

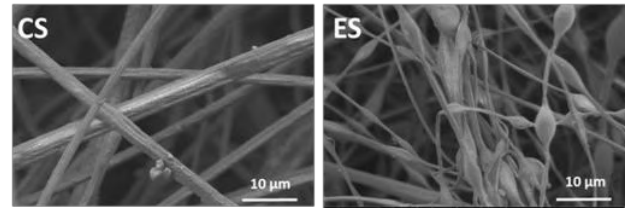


Fig. 3 SEM images of C-spun and E-spun PAN/PS nanofibers

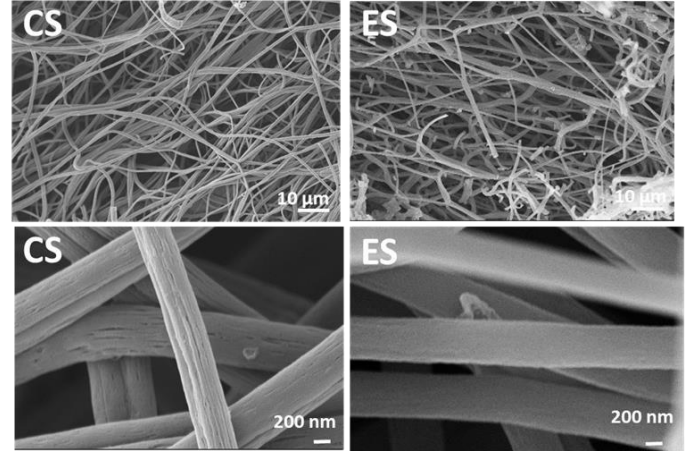


Fig. 5 SEM images of porous carbon nanofibers from PAN/PMMA precursor.

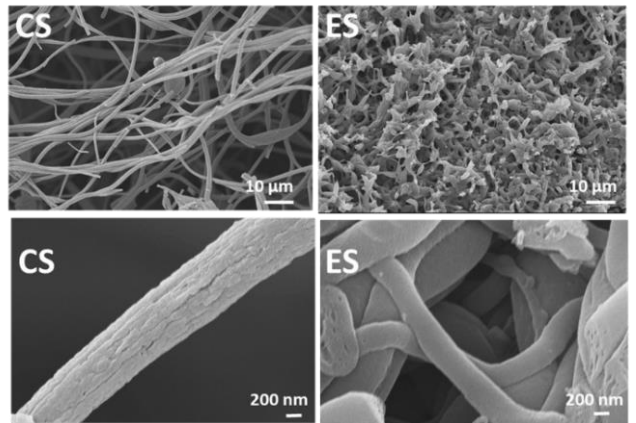


Fig. 6 SEM images of porous carbon nanofibers from PAN/PS precursor.

XRD spectra are seen in Fig.7. XRD technique could be used to determine whether a material has crystalline phases. Wider or broader intensities, as seen in Fig.7, indicates amorphous structures while sharp pattern is a sign of crystallinity. All studies samples show similar large peak at around  $28^\circ$  corresponding to amorphous carbons. XRD spectra proves that CNFs and PCNFs derived from both C-spun and E-spun nanofibers are amorphous.

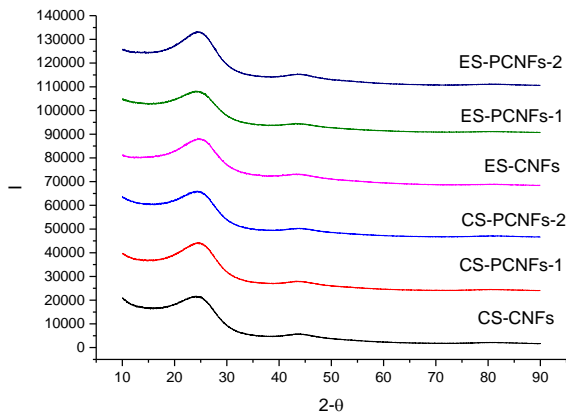


Fig. 7 XRD spectra

## 4. Conclusions and Recommendations

CNFs and PCNFs are fabricated via electrospinning and centrifugal spinning. The effect of production technique on the morphology and chemical structure was studied by using SEM and XRD. CNFs and PCNFs derived from C-spun PAN, PAN/PMMA and PAN/PS nanofibers have rougher surface with higher porosity compared to those obtained from E-spun nanofibers. Results prove that centrifugal spinning could be used to fabricate nanostructured carbons with tunable morphology and roughness.

## 5. Acknowledge

This research was supported by The Scientific and Technology Research Council of Turkey (TUBITAK) 219M348.

## References

- Kim, J., Heo, Y.-J., Hong, J.-Y., & Kim, S.-K. J. M. (2020). Preparation of porous carbon nanofibers with tailored porosity for electrochemical capacitor electrodes. *13*(3), 729.
- Lee, G., Kim, K. J., Yu, W.-R., & Youk, J. H. J. I. j. o. n. (2013). The effect of the surface roughness of carbon fibres on CNT growth by floating-catalyst chemical vapour deposition. *10*(8/9), 800-810.
- Liu, T., Gu, S.-y., Zhang, Y.-h., & Ren, J. J. J. o. P. R. (2012). Fabrication and characterization of carbon nanofibers with a multiple tubular porous structure via electrospinning. *19*(6), 1-6.
- Rihova, M., Ince, A. E., Cizmancova, V., Hromadko, L., Castkova, K., Pavlinak, D., . . . Macak, J. M. (2021). Water-born 3D nanofiber mats using cost-effective centrifugal spinning: comparison with electrospinning process: a complex study. *Journal of Applied Polymer Science*, *138*(5), 49975.
- Sharma, C. S., Vasita, R., Upadhyay, D. K., Sharma, A., Katti, D. S., Venkataraghavan, R. J. I., & Research, E. C. (2010). Photoresist derived electrospun carbon nanofibers with tunable morphology and surface properties. *49*(6), 2731-2739.
- Wang, M.-x., Guo, Z.-y., Huang, Z.-h., & Kang, F.-y. J. N. C. M. (2016). Preparation of porous carbon nanofibers with controllable pore structures for low-concentration NO removal at room temperature. *31*(3), 277-286.



# The Polynomial Sequence Generalizing the Integer Sequence which Enumerates the Number of Subsets of the Set [n] Including No Two Consecutive Even Integers

Bariş Arslan<sup>1\*</sup>, Kemal Uslu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6972-3317), [barismath@gmail.com](mailto:barismath@gmail.com)

<sup>2</sup> Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6265-3128), [kusu@selcuk.edu.tr](mailto:kusu@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1078691)

**ATIF/REFERENCE:** Arslan, B. & Uslu, K. (2022). The Polynomial Sequence Generalizing the Integer Sequence which Enumerates the Number of Subsets of the Set [n] Including No Two Consecutive Even Integers. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 164-169.

## Abstract

Fibonacci polynomial sequence is an extension of Fibonacci sequence. Here we define a polynomial sequence generalizing the integer sequence which enumerates the number of subsets of the set [n] including no two consecutive even integers. The polynomial sequence is associated with the Fibonacci polynomials. Some basic properties of the polynomial sequence are obtained.

**Keywords:** Fibonacci numbers, Fibonacci polynomials, polynomial sequence, consecutive even integers, generating function, combinatorial representation.

## [n] Kümesinin Ardışık İki Çift Tamsayı İçermeyen Alt Kümelerinin Sayısını Veren Tamsayı Dizisini Genelleyen Polinom Dizisi

### Öz

Fibonacci polinom dizisi Fibonacci dizisinin bir genişlemesidir. Burada [n] kümesinin ardışık iki tamsayı içermeyen alt kümelerinin sayısını veren tamsayı dizisini genelleyen bir polinom dizisi tanımladık. Bu polinom dizisi Fibonacci polinomları ile ilişkilendirildi. Polinom dizisinin bazı temel özellikleri elde edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Fibonacci sayıları, Fibonacci polinomları, Polinom dizisi, Ardışık çift sayılar, Üreteç fonksiyon, Kombinatoryal gösterim.

\* Corresponding Author: [barismath@gmail.com](mailto:barismath@gmail.com)

## 1. Introduction

The Fibonacci polynomials are a polynomial sequence which can be considered as a generalization of the Fibonacci numbers. You can see more about Fibonacci polynomials in [5]. The polynomials  $F_n(x)$  studied by Belgian Mathematician Eugene Charles Catalan are defined by the recurrence relation as follows:

$$F_n(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } n = 0 \\ 1, & \text{if } n = 1 \\ xF_{n-1}(x) + F_{n-2}(x), & \text{if } n \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

When  $x = 1$  and  $x = 2$ , we obtain respectively the  $n$ th Fibonacci number  $F_n$  and the  $n$ th Pell number  $P_n$ . Generating function for Fibonacci polynomial sequence and Binet's formula of Fibonacci polynomials are given in [5] by

$$\sum_{n=0}^{\infty} F_n(x) t^n = \frac{t}{1 - xt - t^2}, \quad (2)$$

$$F_n(x) = \frac{(x + \sqrt{x^2 + 4})^n - (x - \sqrt{x^2 + 4})^n}{2^n \sqrt{x^2 + 4}}. \quad (3)$$

Consider the sequence  $(a_n)_{n \geq 0}$  which enumerates the number of subsets  $S$  of the set  $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$  such that  $S$  contains no two consecutive odd integers. You can see [6] for recursive definition, the generating function, the closed form formula and the sum of first  $n$  terms of the sequence  $(a_n)_{n \geq 0}$ :

$$a_n = 2a_{n-2} + 4a_{n-4}, \quad n > 3, \quad (4)$$

$$a_0 = 1, \quad a_1 = 2, \quad a_2 = 4, \quad a_3 = 8.$$

$$F(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k = \frac{4x^3 + 2x^2 + 2x + 1}{1 - 2x^2 - 4x^4}. \quad (5)$$

$$a_{2n} = 2^n F_{n+2}. \quad (6)$$

$$a_{2n+1} = 2^{n+1} F_{n+2}. \quad (7)$$

$$\sum_{0 \leq k \leq 2n} a_k = \frac{2^{n+1}}{5} [F_{n+3} + F_{n+5}] - \frac{9}{5}. \quad (8)$$

$$\sum_{0 \leq k \leq 2n+1} a_k = \frac{3 \cdot 2^{n+1}}{5} [F_{n+2} + F_{n+4}] - \frac{9}{5}. \quad (9)$$

In this paper we first define the polynomial sequence  $(a_n(x))_{n \geq 0}$  using (4) and we obtain some basic properties of the polynomial sequence.

## 2. Main Results

### 2.1. Recursive definition of the polynomial sequence

Let's define the polynomial sequence  $(a_n(x))$  like Eugene Charles Catalan defined in (1) for  $F_n(x)$ :

$$a_n(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } n = 0 \\ 2, & \text{if } n = 1 \\ 4, & \text{if } n = 2 \\ 8, & \text{if } n = 3 \\ 2x^2 a_{n-2}(x) + 4a_{n-4}(x), & \text{if } n \geq 4 \end{cases} \quad (10)$$

The first few polynomials are:

$$a_0(x) = 1$$

$$a_1(x) = 2$$

$$a_2(x) = 4$$

$$a_3(x) = 8$$

$$a_4(x) = 8x^2 + 4$$

$$a_5(x) = 16x^2 + 8$$

$$a_6(x) = 16x^4 + 8x^2 + 16$$

$$a_7(x) = 32x^4 + 16x^2 + 32$$

$$a_8(x) = 32x^6 + 16x^4 + 64x^2 + 16$$

Notice that  $a_n(1) = a_n$  which is [A279312](#) in the On-Line Encyclopedia of Integer Sequences (OEIS) [2].

### 2.2. Generating function and the closed form formula of the polynomial sequence $(a_n(x))$

Let's try to find generating function  $G(x, t)$  of the polynomial sequence  $(a_n(x))$  using the formal power series.

$$G(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n(x) t^n$$

To find  $G(x, t)$ , multiply both sides of the recurrence relation (10) by  $t^n$  and sum over the values of  $n$  for which the recurrence is valid, namely, over  $n \geq 4$ . We get,

$$\sum_{n \geq 4} a_n(x) t^n = \sum_{n \geq 4} 2x^2 a_{n-2}(x) t^n + \sum_{n \geq 4} 4a_{n-4}(x) t^n. \quad (11)$$

Then try to relate these sums to the unknown generating function  $G(x, t)$ . We have

$$\sum_{n \geq 4} a_n(x)t^n = G(x, t) - a_0(x) - a_1(x)t - a_2(x)t^2 - a_3(x)t^3$$

$$= G(x, t) - 1 - 2t - 4t^2 - 8t^3,$$

$$\sum_{n \geq 4} 2x^2 a_{n-2}(x)t^n = 2x^2 t^2 \sum_{n \geq 4} a_{n-2}(x)t^{n-2}$$

$$= 2x^2 t^2 (G(x, t) - a_0(x) - a_1(x)t)$$

$$= 2x^2 t^2 (G(x, t) - 1 - 2t),$$

$$\sum_{n \geq 4} 4a_{n-4}(x)t^n = 4t^4 \sum_{n \geq 4} a_{n-4}(x)t^{n-4}$$

$$= 4t^4 G(x, t).$$

If we write these results on the two sides of (11), we find that

$$G(x, t) - 1 - 2t - 4t^2 - 8t^3$$

$$= 2x^2 t^2 (G(x, t) - 1 - 2t) + 4t^4 G(x, t)$$

which is trivial to solve for the unknown generating function  $G(x, t)$ , in the form

$$G(x, t) = \frac{1 + 2t + (4 - 2x^2)t^2 + (8 - 4x^2)t^3}{1 - 2x^2 t^2 - 4t^4}. \quad (12)$$

Substituting  $x = 1$ , we get the generating function for the sequence  $(a_n)_{n \geq 0}$  which is given in (5).

**Theorem 1.** Let  $(a_n(x))$  is the polynomial sequence defined by (10). Then we have

$$a_{2n}(x) = 2^n [F_{n-1}(x^2) + 2F_n(x^2)],$$

$$a_{2n+1}(x) = 2^{n+1} [F_{n-1}(x^2) + 2F_n(x^2)],$$

where  $F_n(x)$  is the  $n$ th Fibonacci polynomial with the Binet's formula

$$F_n(x) = \frac{(x + \sqrt{x^2 + 4})^n - (x - \sqrt{x^2 + 4})^n}{2^n \sqrt{x^2 + 4}}.$$

**Proof.** If  $A(x, t)$  is the generating function for even terms of the polynomial sequence  $(a_n(x))$  then it is clear that  $A(x, t) = \frac{1}{2}(G(x, t) + G(x, -t))$ . Using generating function (12) we get,

$$A(x, t) = \frac{1 + (4 - 2x^2)t^2}{1 - 2x^2 t^2 - (2t^2)^2}.$$

Substituting  $u$  for  $2t^2$  we have

$$A(x, u) = \frac{1 + (2 - x^2)u}{1 - x^2 u - u^2}$$

$$= \frac{1}{1 - x^2 u - u^2} + (2 - x^2) \frac{u}{1 - x^2 u - u^2} \quad (13)$$

The generating function of the Fibonacci polynomial given by (2) is

$$f(x, t) = \frac{t}{1 - xt - t^2}$$

$$= 0t^0 + 1t^1 + xt^2 + (x^2 + 1)t^3 + \dots + F_n(x)t^n + \dots \quad (14)$$

Let's indicate the correspondence between a sequence and its generating function with a double-sided arrow as follows:

$$\langle 0, 1, x, x^2 + 1, \dots \rangle \leftrightarrow \frac{t}{1 - xt - t^2} \quad (15)$$

$$\langle 1, x, x^2 + 1, \dots \rangle \leftrightarrow \frac{1}{1 - xt - t^2} \quad (16)$$

If we right-shift the polynomial sequence in (16) by adding one leading zero, we obtain the polynomial sequence in (15). Hence the generating function of the polynomial sequence  $F_{n+1}(x)$  is

$$\frac{1}{1 - xt - t^2} =$$

$$1t^0 + xt^1 + (x^2 + 1)t^2 + \dots + F_{n+1}(x)t^n + \dots \quad (17)$$

Substituting  $x^2$  for  $x$  into the equation (17) and replacing  $t$  with  $u$  we have

$$\frac{1}{1 - x^2 u - u^2} =$$

$$1u^0 + x^2 u^1 + (x^4 + 1)u^2 + \dots + F_{n+1}(x^2)u^n + \dots$$

Substituting  $u = 2t^2$  in the right side of the equation we have

$$\frac{1}{1 - x^2 u - u^2} = 1(2t^2)^0 + x^2(2t^2)^1$$

$$+ (x^4 + 1)(2t^2)^2 + \dots + F_{n+1}(x^2)(2t^2)^n + \dots$$

$$= 1.2^0 t^0 + x^2 2^1 t^2 + (x^4 + 1).2^2 t^4 + \dots$$

$$+ F_{n+1}(x^2).2^n t^{2n} + \dots \quad (18)$$

Using (15) we have

$$\frac{u}{1 - x^2 u - u^2} =$$

$$0u^0 + 1u^1 + x^2 u^2 + (x^4 + 1)u^3 + \dots + F_n(x^2)u^n + \dots$$

Substituting  $u = 2t^2$  in the right side of the equation we have

$$\frac{u}{1 - x^2 u - u^2} =$$

$$1(2t^2)^1 + x^2(2t^2)^2 + (x^4 + 1)(2t^2)^3 + \dots$$



$$\begin{aligned}
 & +F_n(x^2)(2t^2)^n + \dots \\
 & = 1.2^1t^2 + x^22^2t^4 + (x^4 + 1).2^3t^6 + \\
 & \dots + F_n(x^2).2^nt^{2n} + \dots \quad (19)
 \end{aligned}$$

Substituting (18) and (19) into the equation (13) we get the coefficients of  $t^{2n}$  which gives the general term for the polynomial subsequence  $(a_{2n}(x))$

$$a_{2n}(x) = 2^n[F_{n+1}(x^2) + (2 - x^2)F_n(x^2)]. \quad (20)$$

Since  $F_n(x) = xF_{n-1}(x) + F_{n-2}(x)$  we have  $F_{n+1}(x^2) = x^2F_n(x^2) + F_{n-1}(x^2)$ . Using this fact and (20) we obtain

$$a_{2n}(x) = 2^n[F_{n-1}(x^2) + 2F_n(x^2)]. \quad (21)$$

If  $B(x, t)$  is the generating function for odd terms of the polynomial sequence  $(a_n(x))$  then it is clear that  $B(x, t) = \frac{1}{2}(G(x, t) - G(x, -t))$ . Using generating function (12) we get,

$$\begin{aligned}
 B(x, t) &= \frac{2t + (8 - 4x^2)t^3}{1 - 2x^2t^2 - (2t^2)^2} \\
 &= t \frac{2}{1 - 2x^2t^2 - (2t^2)^2} + t(4 - 2x^2) \frac{2t^2}{1 - 2x^2t^2 - (2t^2)^2}
 \end{aligned}$$

Using (18) we have

$$\begin{aligned}
 & \frac{2}{1 - 2x^2t^2 - (2t^2)^2} \\
 & = 1.2^1t^0 + x^22^2t^2 + (x^4 + 1).2^3t^4 + \dots \\
 & \quad + F_{n+1}(x^2).2^{n+1}t^{2n} + \dots \\
 & \quad t \frac{2}{1 - 2x^2t^2 - (2t^2)^2} \\
 & = 1.2^1t^1 + x^22^2t^3 + (x^4 + 1).2^3t^5 + \dots \\
 & \quad + F_{n+1}(x^2).2^{n+1}t^{2n+1} + \dots \quad (22)
 \end{aligned}$$

Using (19) we have

$$\begin{aligned}
 & t \frac{2t^2}{1 - 2x^2t^2 - (2t^2)^2} \\
 & = 1.2^1t^3 + x^22^2t^5 + (x^4 + 1).2^3t^7 + \dots \\
 & \quad + F_n(x^2).2^nt^{2n+1} + \dots \quad (23)
 \end{aligned}$$

From (22) and (23) we get the coefficients of  $t^{2n+1}$  which gives the general term for the polynomial subsequence  $(a_{2n+1}(x))$

$$a_{2n+1}(x) = 2^{n+1}[F_{n+1}(x^2) + (2 - x^2)F_n(x^2)] \quad (24)$$

Since  $F_n(x) = xF_{n-1}(x) + F_{n-2}(x)$ , we have  $F_{n+1}(x^2) = x^2F_n(x^2) + F_{n-1}(x^2)$ . Using this fact and (24) we obtain

$$a_{2n+1}(x) = 2^{n+1}[F_{n-1}(x^2) + 2F_n(x^2)], \quad (25)$$

where

$$F_n(x) = \frac{(x + \sqrt{x^2 + 4})^n - (x - \sqrt{x^2 + 4})^n}{2^n\sqrt{x^2 + 4}}.$$

The proof is completed.

Notice that  $a_{2n}(1) = a_{2n} = 2^nF_{n+2}$  which is given in (6).

Notice that  $a_{2n+1}(1) = a_{2n+1} = 2^{n+1}F_{n+2}$  which is given in (7).

It is clear that (21) and (25) implies

$$a_{2n+1}(x) = 2 a_{2n}(x)$$

### 2.3. The sum of the first $n$ terms of the polynomial sequence

The sum of the first  $n$  Fibonacci polynomials is given in [3] as follows:

$$\sum_{i=1}^n F_i(x) = \frac{F_{n+1}(x) + F_n(x) - 1}{x}.$$

**Theorem 2.** Let  $(a_n(x))$  is the polynomial sequence defined by (10). Then we have

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=0}^{2n} a_k(x) \\
 & = \frac{2^{n+1}[(2x^2 + 9)F_n(x^2) + (9 - 2x^2)F_{n-1}(x^2)] + 6x^2 - 15}{2x^2 + 3}, \\
 & \sum_{k=0}^{2n+1} a_k(x) \\
 & = \frac{2^{n+1}[(6x^2 + 15)F_n(x^2) + 12F_{n-1}(x^2)] + 6x^2 - 15}{2x^2 + 3},
 \end{aligned}$$

where  $F_n(x)$  is the  $n$ th Fibonacci polynomial with the Binet's formula

$$F_n(x) = \frac{(x + \sqrt{x^2 + 4})^n - (x - \sqrt{x^2 + 4})^n}{2^n\sqrt{x^2 + 4}}.$$

**Proof.** Let  $(S_n(x))_{n \geq 0}$  be the sum of first  $n$  terms of the polynomial sequence  $(a_n(x))$ :

$$S_n(x) = \sum_{k=0}^n a_k(x)$$

Using recurrence relation (10) and its initial conditions we have

$$a_n(x) = 2x^2a_{n-2}(x) + 4a_{n-4}(x),$$

$$a_0(x) = 1, a_1(x) = 2, a_2(x) = 4, a_3(x) = 8,$$

For  $n > 3$ , we can write the following equations:

$$a_4(x) = 2x^2 a_2(x) + 4a_0(x)$$

$$a_5(x) = 2x^2 a_3(x) + 4a_1(x)$$

.....

$$a_n(x) = 2x^2 a_{n-2}(x) + 4a_{n-4}(x)$$

Adding all these equations term by term we get

$$\begin{aligned} S_n(x) - a_0(x) - a_1(x) - a_2(x) - a_3(x) \\ = 2x^2(S_n(x) - a_0(x) - a_1(x) - a_{n-1}(x) - a_n(x)) \\ + 4(S_n(x) - a_{n-3}(x) - a_{n-2}(x) - a_{n-1}(x) - a_n(x)). \end{aligned}$$

Substituting initial values we have

$$\begin{aligned} S_n(x) &= \frac{(2x^2 + 4)[a_n(x) + a_{n-1}(x)]}{2x^2 + 3} \\ &+ \frac{4[a_{n-2}(x) + a_{n-3}(x)] + 6x^2 - 15}{2x^2 + 3}. \end{aligned} \quad (26)$$

Let's obtain respectively  $S_{2n}(x)$  and  $S_{2n+1}(x)$  using the equation (26),

$$\begin{aligned} S_{2n}(x) &= \frac{(2x^2 + 4)[a_{2n}(x) + a_{2n-1}(x)]}{2x^2 + 3} \\ &+ \frac{4[a_{2n-2}(x) + a_{2n-3}(x)] + 6x^2 - 15}{2x^2 + 3}. \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} S_{2n+1}(x) &= \frac{(2x^2 + 4)[a_{2n+1}(x) + a_{2n}(x)]}{2x^2 + 3} \\ &+ \frac{4[a_{2n-1}(x) + a_{2n-2}(x)] + 6x^2 - 15}{2x^2 + 3}. \end{aligned} \quad (28)$$

Using (27), (28), Theorem 1 and the fact that  $F_n(x) = xF_{n-1}(x) + F_{n-2}(x)$  for  $n \geq 2$  we have

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{2n} a_k(x) &= \frac{6x^2 - 15}{2x^2 + 3} \\ &+ \frac{2^{n+1}[(2x^2 + 9)F_n(x^2) + (9 - 2x^2)F_{n-1}(x^2)]}{2x^2 + 3} \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{2n+1} a_k(x) &= \frac{6x^2 - 15}{2x^2 + 3} \\ &+ \frac{2^{n+1}[(6x^2 + 15)F_n(x^2) + 12F_{n-1}(x^2)]}{2x^2 + 3} \end{aligned} \quad (30)$$

The proof is completed.

Writing  $x = 1$  in (29), we have

$$\sum_{k=0}^{2n} a_k = \frac{2^{n+1}[11F_n + 7F_{n-1}] - 9}{5}.$$

And using the definition of the Fibonacci sequence, we obtain

$$\sum_{0 \leq k \leq 2n} a_k = \frac{2^{n+1}}{5} [F_{n+3} + F_{n+5}] - \frac{9}{5},$$

which is the summation formula given in (8).

Similarly writing  $x = 1$  in (30), we obtain the summation formula given in

### 2.4. The combinatorial representation of the polynomial sequence

The explicit formula of Fibonacci polynomial sequence is given in [4] by the formula:

$$F_n(x) = \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} \binom{n-1-i}{i} x^{n-1-2i} \quad (31)$$

You can see [3] for the equivalent formula as follows

$$F_n(x) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} \binom{n}{2i+1} x^{n-2i-1} (x^2 + 4)^i \quad (32)$$

We use the explicit formula (32) to prove the following corollary.

**Corollary 1.** Let  $(a_n(x))$  is the polynomial sequence defined by (10). Then for  $n \geq 1$  we have

$$a_{2n}(x) = 4 \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \left[ x^2 \binom{n}{2i-1} + \binom{n-1}{2i-1} \right] x^{2n-4i} (x^4 + 4)^{i-1},$$

$$a_{2n+1}(x) = 8 \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \left[ x^2 \binom{n}{2i-1} + \binom{n-1}{2i-1} \right] x^{2n-4i} (x^4 + 4)^{i-1}$$

where the limit of the index of the summations are irrelevant, as  $\binom{n}{k} = 0$  for  $k < 0$  and  $k > n$ .

**Proof.** Using Theorem 1 and (32) we obtain the explicit formulas easily.

### 2.5. Some basic properties of the polynomial sequence

We will give asymptotic behaviour of the polynomial sequence, Honsberger's formula and derivative of the polynomial sequence.

**Proposition 1.** (Asymptotic behaviour of the quotient of the consecutive terms)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n+1}(x)}{a_{2n}(x)} = 2, \quad (33)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n+2}(x)}{a_{2n+1}(x)} = \frac{x^2 + \sqrt{x^4 + 4}}{2}. \quad (34)$$

**Proof.** (33) and (34) are immediate consequences of Theorem 1 and Binet's formula of Fibonacci polynomials given in (3).

If  $x = 1$ , we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n+1}}{a_{2n}} = 2,$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n+2}}{a_{2n+1}} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}.$$

**Proposition 2.**

$$a_{2m+2n}(x) = 2^{m+n} [F_{m+1}(x^2)(2F_n(x^2) + F_{n-1}(x^2)) + F_m(x^2)(2F_{n-1}(x^2) + F_{n-2}(x^2))]$$

where  $F_n(x)$  is the  $n$ th Fibonacci polynomial.

**Proof.** For  $m, n$  integers Honsberger's formula is given in [3] as follows:

$$F_{m+n}(x) = F_{m+1}(x)F_n(x) + F_m(x)F_{n-1}(x) \quad (35)$$

The identity is easily obtained from (35) and Theorem 1.

**Proposition 3.** Let  $F_n(x)$  be the  $n$ th Fibonacci polynomial. For  $n \geq 2$  derivatives of  $a_{2n}(x)$  and  $a_{2n+1}(x)$  are given as follows:

$$a'_{2n}(x) = \frac{x^{2n+1}}{x^4 + 4} [(2n - 2)F_{n+1}(x^2) + (n - 2)F_n(x^2) + (2n + 2)F_{n-1}(x^2) + nF_{n-2}(x^2)],$$

$$a'_{2n+1}(x) = \frac{x^{2n+2}}{x^4 + 4} [(2n - 2)F_{n+1}(x^2) + (n - 2)F_n(x^2) + (2n + 2)F_{n-1}(x^2) + nF_{n-2}(x^2)].$$

**Proof.** The relation between Fibonacci polynomial sequence and its derivative sequence is given in [3] as follows:

$$F'_n(x) = \frac{nF_{n+1}(x) - xF_n(x) + nF_{n-1}(x)}{x^2 + 4} \quad (36)$$

Derivatives of  $a_{2n}(x)$  and  $a_{2n+1}(x)$  are easily obtained using Theorem 1, (36) and the definition of the polynomial sequence  $F_n(x)$ .

### 3. Conclusion

We first defined a polynomial sequence  $(a_n(x))_{n \geq 0}$  which is an extension of the integer sequence studied in detail in [6]. We got the closed form formula of the polynomial sequence  $(a_n(x))_{n \geq 0}$  using the generating function method. Then we obtain some basic properties of the polynomial sequence.

### References

- [1] Andrews, G.E. (2004). Fibonacci numbers and the Rogers-Ramanujan identities, *Fibonacci Quarterly*, 42(1), 3-19.
- [2] Arslan B. (2016). Sequence [A279312](#) in The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences, *published electronically at <https://oeis.org>*.
- [3] Falcon, S. and Plaza, A. (2009). On k-Fibonacci sequences and polynomials and their derivatives, *Chaos Solitons and Fractals*, 39, 1005-1019.
- [4] Hoggatt, Jr. V.E., Bicknell, M. (1973). Generalized Fibonacci polynomials, *Fibonacci Quarterly*, 11(5), 457-465.
- [5] Koshy, T. (2011). *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*, Wiley Interscience Publications, New York.
- [6] Uslu, K. and Arslan B. (2021). The number of subsets of the set  $[n]$  containing no two consecutive even integers, *JP Journal of Algebra Number Theory and Applications*, 52(2), 243-254.



# Randomized Decomposition Methods in Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition for Many-objective Optimization Problems

O. Tolga Altinoz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1236-7961), [taltinoz@ankara.edu.tr](mailto:taltinoz@ankara.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079070)

**ATIF/REFERENCE:** Altinoz, O.T. (2022). Randomized Decomposition Methods in Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition for Many-objective Optimization Problems. *European Journal of Science and Technology*, (34), 170-174.

## Abstract

As the number of objectives are increased in the optimization problem, the objective space is increased therefore it is not possible to use conventional methods to get answers for these problems. Therefore, some methods are proposed to solve this problem. As one of the solutions is called the decomposition. In decomposition the objectives are applied to the scalarization functions, and many sub-problems are obtained. Based on their neighborhood, the best members in the current generation of the evolutionary algorithm will be survived to the next generation. The algorithm which uses that idea is called Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition (MOEA/D). Different typed of decomposition methods can be used with the MOEA/D algorithm. However, each of them has their own weaknesses or advantages. Therefore, to reduce the disadvantage of the decomposition methods, a hybrid approach is proposed in this research such that instead of a single decomposition method, two methods will be use randomly. The performance of the proposed hybrid method will be demonstrated on seven benchmark problems by using two metrics.

**Keywords:** multi-objective optimization, MOEA/D, many-objective optimization, evolutionary algorithms.

## Çok Amaçlı Optimizasyon Problemleri için Ayırıştırma Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritmada Rastgele Ayırıştırma Yöntemleri

### Öz

Optimizasyon probleminde amaç sayısı arttıkça amaç uzayı da büyümektedir, bu nedenle bu problemlere cevap almak için geleneksel yöntemleri kullanmak mümkün değildir. Bu nedenle, bu sorunu çözmek için bazı yöntemler önerilmektedir. Çözümlerden birine ayırıştırma denir. Ayırıştırmada hedefler skalarizasyon fonksiyonlarına uygulanır ve birçok alt problem elde edilir. Komşuluklarına bağlı olarak, evrimsel algoritmanın mevcut neslindeki en iyi üyeler, bir sonraki nesle aktarılacaktır. Bu fikri kullanan algoritmaya Ayırıştırma Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma (MOEA/D) denir. MOEA/D algoritması ile farklı türde ayırıştırma yöntemleri kullanılabilir. Bununla birlikte, her birinin kendi zayıflıkları veya avantajları vardır. Bu nedenle, ayırıştırma yöntemlerinin dezavantajını azaltmak için bu araştırmada tek bir ayırıştırma yöntemi yerine rastgele iki yöntemin kullanılacağı hibrit bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen hibrit yöntemin performansı, iki metrik kullanılarak yedi test problemi üzerinde gösterilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** çok amaçlı optimizasyon, MOEA/D, çok amaçlı optimizasyon, evrimsel algoritmalar.

\* Corresponding Author: [taltinoz@ankara.edu.tr](mailto:taltinoz@ankara.edu.tr)

Table 1. Benchmark Problems [5]

Id.	Mathematical Expression
DTLZ1	$f_1 = \frac{1}{2}x_1x_2 \dots x_{M-1}(1 + g(x_M)) \dots (1 - x_{M-1})(1 + g(x_M)) \dots f_M = \frac{1}{2}(1 - x_1)(1 + g(x_M))$ $g(x_M) = 100 \left[  x_M  + \sum_{i=1}^M \left( \left( x_i - \frac{1}{2} \right)^2 + \cos \left( 20\pi \left( x_i - \frac{1}{2} \right) \right) \right) \right]$
DTLZ2	$f_1 = (1 + g(x_M)) \cos \left( x_1 \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( x_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \cos \left( x_{M-1} \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( x_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \sin \left( x_{M-1} \frac{\pi}{2} \right) \dots$ $f_M = (1 + g(x_M)) \sin \left( x_1 \frac{\pi}{2} \right) g(x_M) = \sum_{i=1}^M \left( \left( x_i - \frac{1}{2} \right)^2 \right)$
DTLZ3	$f_1 = (1 + g(x_M)) \cos \left( x_1 \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( x_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \cos \left( x_{M-1} \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( x_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \sin \left( x_{M-1} \frac{\pi}{2} \right) \dots$ $f_M = (1 + g(x_M)) \sin \left( x_1 \frac{\pi}{2} \right) g(x_M) = 100 \left[  x_M  + \sum_{i=1}^M \left( \left( x_i - \frac{1}{2} \right)^2 + \cos \left( 20\pi \left( x_i - \frac{1}{2} \right) \right) \right) \right]$
DTLZ4	$f_1 = (1 + g(x_M)) \cos \left( x_1^{100} \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( x_{M-2}^{100} \frac{\pi}{2} \right) \cos \left( x_{M-1}^{100} \frac{\pi}{2} \right)$ $\dots f_M = (1 + g(x_M)) \sin \left( x_1^{100} \frac{\pi}{2} \right),$ $g(x_M) = \sum_{i=1}^M \left( \left( x_i - \frac{1}{2} \right)^2 \right)$
DTLZ5	$f_1 = (1 + g(x_M)) \cos \left( \theta_1 \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( \theta_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \cos \left( \theta_{M-1} \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( \theta_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \sin \left( \theta_{M-1} \frac{\pi}{2} \right) \dots$ $f_M = (1 + g(x_M)) \sin \left( \theta_1 \frac{\pi}{2} \right) \theta_i = \frac{\pi}{4(1 + g(x_M))} (1 + 2g(x_M)x_i), g(x_M) = \sum_{i=1}^M \left( \left( x_i - \frac{1}{2} \right)^2 \right)$
DTLZ6	$f_1 = (1 + g(x_M)) \cos \left( \theta_1 \frac{\pi}{2} \right) \dots \cos \left( \theta_{M-2} \frac{\pi}{2} \right) \cos \left( \theta_{M-1} \frac{\pi}{2} \right)$ $\dots f_M = (1 + g(x_M)) \sin \left( \theta_1 \frac{\pi}{2} \right)$ $\theta_i = \frac{\pi}{4(1 + g(x_M))} (1 + 2g(x_M)x_i), g(x_M) = \sum_{i=1}^M (x_i^{0.1})$
DTLZ7	$f_1 = x_1, f_2 = x_2 \dots f_M = (1 + g(x_M)) h g(x_M) = 1 + \frac{9}{ x_M } \sum x_i,$ $h = M - \sum_{i=1}^{M-1} \left( \frac{f_i}{1 + g} (1 + \sin(3\pi f_i)) \right)$

### 1. Introduction

The many-objective optimization problems generally referred as problems with number of objectives more than three. As the number of objectives are increased, more intelligence optimization algorithms are needed to solve these problems since relatively large computational power is needed by using the conventional and classical optimization methods. As a possible solution to problem decomposition (or scalarization) is used with evolutionary algorithm. The algorithm is called Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition (MOEA/D) [1]. The performance of the MOEA/D is greatly depended on chosen decomposition method [2]. At the same paper [2] weighted sum method and Tchebycheff methods are changed through the implementation of the algorithm. In [3], a grid-based approach for multi usage of the decomposition method is proposed such that for each weight a different (one of two decomposition methods) decomposition method is used. Recently in [4], a combination of decomposition methods with a variable is proposed and showed the difference of the proposed method. In this research two decomposition/scalarization methods Penalty-based Boundary Intersection Scalarization (PBI) and Tchebycheff methods are preferred to be used as a hybrid decomposition method. One of these two methods are evaluated randomly. A uniform random

number generator is preferred to generate a random number and based on this number one of the scalarization method evaluates. To present the performance difference of the proposed method seven benchmark problems with different objective numbers 10, 15, 20 and 25 objectives with five independent runs. Two properties of the solutions are compared which are accuracy and distribution of the solution by using two metrics which are IGD and Spread metrics. This research is organized as four sections beginning with the introduction. In the second section MOEA/D Algorithm, decomposition methods and benchmark problems are explained and then implementation results are reported at the next section and finally the conclusion of this study is presented.

### 2. Algorithms

In this section, optimization algorithm with decomposition methods -scalarization methods- are proposed. In addition to that metrics which are used to compare algorithms are proposed. Finally, the benchmark problems and their mathematical formulations are defined as a part of implementations. he definition of the multi-objective optimization algorithm is given as;

$$\min F(x) = (f_1(x) \dots f_M(x)) \quad (1)$$

*subject to*  $x \in \Omega$

Table 2. IGD Solutions

	Prob	M	D	PBI	0.4	0.5	0.6	0.7	Tchebycheff
M=10	DTLZ1	10	14	1.4198e-1 (6.16e-3) +	1.8162e-1 (2.98e-3) -	1.8023e-1 (2.82e-3) -	1.7782e-1 (3.49e-3) =	1.7192e-1 (3.44e-3) +	1.7881e-1 (6.60e-3)
	DTLZ2	10	19	5.0005e-1 (1.15e-3) +	1.0574e+0 (7.52e-2) -	1.0584e+0 (6.74e-2) -	1.0504e+0 (7.09e-2) -	1.0471e+0 (5.52e-2) -	7.2701e-1 (1.56e-2)
	DTLZ3	10	19	8.5641e-1 (3.36e-1) =	1.2044e+0 (6.71e-2) -	1.1904e+0 (7.57e-2) -	1.1998e+0 (5.20e-2) -	1.1600e+0 (8.84e-2) -	7.4049e-1 (3.59e-2)
	DTLZ4	10	19	6.7237e-1 (7.47e-2) +	1.1193e+0 (3.55e-2) -	1.0883e+0 (5.58e-2) -	1.0305e+0 (5.00e-2) -	9.5809e-1 (5.96e-2) -	8.3684e-1 (4.54e-2)
	DTLZ5	10	19	7.3730e-2 (9.76e-6) +	3.1647e-1 (5.39e-2) -	3.3521e-1 (7.46e-2) -	2.7439e-1 (6.06e-2) -	2.6142e-1 (5.76e-2) -	9.2888e-2 (9.95e-3)
	DTLZ6	10	19	7.4600e-2 (1.40e-3) -	4.2423e-1 (1.03e-1) -	4.4320e-1 (1.18e-1) -	3.7221e-1 (1.22e-1) -	3.6877e-1 (1.11e-1) -	6.9955e-2 (7.92e-3)
	DTLZ7	10	29	1.9257e+0 (2.54e-1) +	3.8710e+0 (1.23e+0) -	3.7117e+0 (1.40e+0) -	3.4964e+0 (1.04e+0) -	3.2663e+0 (1.33e+0) =	2.6649e+0 (8.01e-1)
M=15	DTLZ1	15	19	1.5916e-1 (7.96e-3) +	1.8371e-1 (2.29e-3) +	1.8285e-1 (3.06e-3) +	1.7958e-1 (2.05e-3) +	1.7398e-1 (2.87e-3) +	2.2589e-1 (9.65e-3)
	DTLZ2	15	24	6.2138e-1 (8.01e-4) +	1.1673e+0 (2.28e-2) -	1.2076e+0 (7.21e-2) -	1.1753e+0 (4.04e-2) -	1.1764e+0 (1.22e-2) -	8.9365e-1 (5.76e-2)
	DTLZ3	15	24	1.1143e+0 (2.75e-1) =	1.2668e+0 (1.07e-2) -	1.2656e+0 (2.82e-2) -	1.2615e+0 (2.64e-2) -	1.2224e+0 (6.54e-2) -	9.3163e-1 (9.09e-2)
	DTLZ4	15	24	7.1722e-1 (4.48e-2) +	1.2132e+0 (1.05e-2) -	1.1784e+0 (4.66e-2) -	1.1232e+0 (3.20e-2) -	1.0489e+0 (3.72e-2) -	9.6914e-1 (2.93e-2)
	DTLZ5	15	24	9.5739e-2 (1.02e-5) =	2.9748e-1 (3.78e-2) -	2.9899e-1 (9.06e-2) -	2.9522e-1 (4.75e-2) -	2.9920e-1 (1.13e-1) -	9.6429e-2 (8.81e-3)
	DTLZ6	15	24	9.5732e-2 (5.63e-6) =	3.9230e-1 (5.06e-2) -	3.2760e-1 (9.24e-2) -	3.3345e-1 (1.33e-1) -	3.1902e-1 (6.69e-2) -	8.1031e-2 (1.65e-2)
	DTLZ7	15	34	2.7766e+0 (3.23e-1) +	3.4469e+0 (5.27e-1) =	4.1344e+0 (1.67e+0) =	3.5433e+0 (9.32e-1) =	4.4657e+0 (1.71e+0) =	4.4884e+0 (7.43e-1)
M=20	DTLZ1	20	24	1.9488e-1 (9.11e-4) +	2.4609e-1 (1.20e-3) +	2.4565e-1 (2.43e-3) +	2.4312e-1 (2.23e-3) +	2.4188e-1 (1.76e-3) +	2.6417e-1 (8.59e-3)
	DTLZ2	20	29	7.5987e-1 (4.64e-4) +	1.2787e+0 (7.36e-3) -	1.2740e+0 (3.33e-2) -	1.2499e+0 (5.62e-2) -	1.1891e+0 (3.29e-2) -	1.1115e+0 (3.20e-2)
	DTLZ3	20	29	8.7618e-1 (2.54e-1) =	1.3282e+0 (3.89e-3) -	1.3274e+0 (4.75e-3) -	1.3196e+0 (8.42e-3) -	1.2992e+0 (9.41e-3) -	1.1001e+0 (3.16e-2)
	DTLZ4	20	29	8.8050e-1 (2.81e-2) +	1.3357e+0 (3.37e-5) -	1.2757e+0 (1.37e-2) -	1.1911e+0 (4.31e-2) =	1.1557e+0 (2.74e-2) =	1.1157e+0 (8.29e-3)
	DTLZ5	20	29	2.3879e-1 (6.63e-6) -	5.8749e-1 (1.18e-1) -	5.8803e-1 (9.65e-2) -	4.9027e-1 (1.79e-1) -	6.0614e-1 (7.82e-2) -	7.5367e-2 (4.33e-3)
	DTLZ6	20	29	2.3879e-1 (1.22e-6) -	6.4695e-1 (9.64e-2) -	6.1753e-1 (8.96e-2) -	6.0166e-1 (9.71e-2) -	5.8823e-1 (5.25e-2) -	7.2982e-2 (3.46e-3)
	DTLZ7	20	39	3.9573e+0 (1.06e+0) +	4.9145e+0 (7.96e-1) +	4.3803e+0 (1.45e+0) +	6.4104e+0 (3.21e+0) =	4.3851e+0 (8.15e-1) +	7.4403e+0 (2.10e+0)
M=25	DTLZ1	25	29	1.7300e-1 (4.86e-4) +	2.0981e-1 (2.00e-3) +	2.0939e-1 (1.61e-3) +	2.0842e-1 (2.42e-3) +	2.0909e-1 (1.72e-3) +	2.4524e-1 (2.72e-3)
	DTLZ2	25	34	7.7169e-1 (9.83e-4) +	1.2875e+0 (7.22e-3) -	1.3027e+0 (1.91e-2) -	1.2260e+0 (4.10e-2) -	1.2089e+0 (3.58e-2) -	1.1175e+0 (2.92e-2)
	DTLZ3	25	34	1.1058e+0 (3.10e-1) =	1.3350e+0 (5.15e-3) -	1.3184e+0 (1.37e-2) -	1.3300e+0 (9.55e-3) -	1.2791e+0 (3.99e-2) -	1.1375e+0 (1.96e-2)
	DTLZ4	25	34	9.0023e-1 (5.96e-2) +	1.3395e+0 (7.17e-7) -	1.2875e+0 (8.19e-3) -	1.2194e+0 (2.20e-2) -	1.1533e+0 (5.45e-2) =	1.1268e+0 (1.97e-2)
	DTLZ5	25	34	2.6392e-1 (1.03e-6) -	6.3760e-1 (1.51e-2) -	6.1557e-1 (1.49e-1) -	6.4484e-1 (1.94e-2) -	5.9947e-1 (3.50e-2) -	7.3612e-2 (4.57e-4)
	DTLZ6	25	34	2.6392e-1 (2.05e-7) -	6.7650e-1 (3.14e-2) -	7.1245e-1 (1.82e-2) -	6.3223e-1 (7.09e-2) -	6.0803e-1 (6.59e-2) -	7.4097e-2 (5.05e-3)
	DTLZ7	25	44	4.2149e+0 (2.82e-1) +	4.6013e+0 (6.34e-1) +	5.8644e+0 (1.70e+0) =	5.3035e+0 (1.09e+0) =	7.3928e+0 (2.51e+0) =	8.8337e+0 (2.60e+0)

where  $\Omega$  is the decision space and  $F:\Omega \rightarrow RM$  is the real valued objective space [6, 7], where  $F$  is the objective function vector of real valued  $f$ . The best possible solution on the objective space is called Pareto Front (PF) [8].

### 2.1. Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition (MOEA/D)

Multi-objective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition (MOEA/D) is proposed by Zhang and Li in 2007 [1]. MOEA/D is an evolutionary algorithm so that three operators which are Crossover, Mutation and Selection operators are also

evaluated inside MOEA/D algorithm. For crossover operator, the weights are defined. These weights are reference points on the objective space and neighbourhood matrix is defined for the neighbourhood of each reference points. The parents from neighbourhood are selected and offspring is generated by using SBX method. After the offspring are generated mutation operator is applied and Polynomial Mutation is preferred in MOEA/D algorithm. Therefore, two populations are generated and the best members are survived to the next generator. For this purpose, the decomposition (scalarization) methods are applied to the members of these populations.

Table 3. Spread Solutions

	Prob	M	D	PBI	0.4	0.5	0.6	0.7	Tchebycheff
M=10	DTLZ1	10	14	1.3120e-1 (3.71e-2) +	1.0283e+0 (7.64e-3) +	1.0320e+0 (6.52e-3) +	1.0371e+0 (8.31e-3) =	1.0492e+0 (1.43e-2) =	1.0482e+0 (7.78e-2)
	DTLZ2	10	19	3.9726e-1 (6.68e-3) +	1.0217e+0 (1.95e-2) +	1.0243e+0 (2.25e-2) +	1.0198e+0 (1.13e-2) +	1.0190e+0 (1.07e-2) +	1.1519e+0 (7.57e-2)
	DTLZ3	10	19	7.7323e-1 (3.15e-1) +	1.0054e+0 (8.79e-3) +	1.0072e+0 (7.71e-3) +	1.0060e+0 (9.62e-3) +	1.0093e+0 (1.22e-2) +	1.1892e+0 (3.84e-2)
	DTLZ4	10	19	1.1835e+0 (2.12e-1) =	1.0404e+0 (3.49e-2) +	1.0398e+0 (4.08e-2) +	1.0595e+0 (5.05e-2) +	1.1048e+0 (5.65e-2) +	1.2027e+0 (5.84e-2)
	DTLZ5	10	19	1.8535e+0 (2.11e-3) -	1.0201e+0 (3.01e-2) +	1.0181e+0 (3.33e-2) +	1.0240e+0 (3.35e-2) +	1.0166e+0 (1.62e-2) +	1.8300e+0 (3.94e-2)
	DTLZ6	10	19	1.8810e+0 (5.27e-2) -	1.1112e+0 (1.93e-1) +	1.0240e+0 (6.16e-2) +	1.0287e+0 (4.59e-2) +	1.0172e+0 (3.06e-2) +	1.8257e+0 (6.55e-2)
	DTLZ7	10	29	1.0436e+0 (1.41e-2) -	1.0070e+0 (4.63e-3) -	1.0075e+0 (3.89e-3) -	1.0101e+0 (3.30e-3) -	1.0145e+0 (9.88e-3) -	9.4575e-1 (2.72e-2)
M=15	DTLZ1	15	19	1.8181e-1 (2.50e-2) +	1.0170e+0 (2.11e-3) +	1.0232e+0 (8.86e-3) +	1.0333e+0 (8.47e-3) +	1.0659e+0 (1.53e-2) +	1.1501e+0 (4.03e-2)
	DTLZ2	15	24	3.2317e-1 (9.63e-3) +	1.0205e+0 (1.78e-2) +	1.0035e+0 (6.50e-3) +	1.0148e+0 (1.55e-2) +	1.0041e+0 (1.44e-3) +	1.1562e+0 (8.89e-2)
	DTLZ3	15	24	9.1135e-1 (3.25e-1) +	1.0064e+0 (5.86e-3) +	1.0027e+0 (2.12e-3) +	1.0051e+0 (4.21e-3) +	1.0029e+0 (2.87e-3) +	1.1780e+0 (3.46e-2)
	DTLZ4	15	24	1.1647e+0 (2.10e-1) =	1.0513e+0 (1.80e-2) +	1.0180e+0 (2.05e-2) +	1.0376e+0 (2.87e-2) +	1.0738e+0 (4.41e-2) +	1.2151e+0 (3.84e-2)
	DTLZ5	15	24	1.9686e+0 (3.11e-5) =	1.0257e+0 (4.28e-2) +	1.0373e+0 (4.67e-2) +	1.0154e+0 (1.18e-2) +	1.0325e+0 (4.53e-2) +	1.9434e+0 (2.43e-2)
	DTLZ6	15	24	1.9685e+0 (1.42e-4) -	1.0893e+0 (1.80e-1) +	1.0249e+0 (3.26e-2) +	1.0295e+0 (5.16e-2) +	1.0053e+0 (5.08e-3) +	1.9088e+0 (1.58e-2)
	DTLZ7	15	34	1.0114e+0 (3.84e-3) -	1.0038e+0 (2.53e-3) -	1.0045e+0 (1.23e-3) -	1.0076e+0 (2.17e-3) -	1.0080e+0 (1.09e-3) -	9.5624e-1 (3.23e-3)
M=20	DTLZ1	20	24	1.1929e+0 (3.67e-2) -	1.0111e+0 (3.92e-3) =	1.0122e+0 (1.62e-3) =	1.0143e+0 (5.71e-3) =	1.0207e+0 (5.07e-3) =	1.0144e+0 (7.97e-3)
	DTLZ2	20	29	5.1445e-1 (9.79e-2) +	1.0084e+0 (5.07e-3) =	1.0062e+0 (4.28e-3) =	1.0099e+0 (1.03e-2) =	1.0101e+0 (5.94e-3) =	1.0306e+0 (2.85e-2)
	DTLZ3	20	29	7.7904e-1 (1.28e-1) +	1.0012e+0 (7.90e-4) +	1.0018e+0 (1.65e-3) +	1.0023e+0 (3.87e-3) +	1.4296e+0 (9.53e-1) =	1.0339e+0 (2.98e-2)
	DTLZ4	20	29	1.0746e+0 (2.88e-2) =	1.0000e+0 (2.71e-5) +	1.0161e+0 (2.37e-2) =	1.0304e+0 (4.97e-2) =	1.0421e+0 (3.70e-2) =	1.0329e+0 (2.38e-2)
	DTLZ5	20	29	3.5000e+0 (2.94e-5) -	1.0175e+0 (3.43e-2) +	1.0015e+0 (8.28e-4) +	1.0019e+0 (1.80e-3) +	1.0042e+0 (4.29e-3) +	2.8981e+0 (1.61e-4)
	DTLZ6	20	29	3.4999e+0 (4.51e-5) -	1.1564e+0 (3.47e-1) +	1.0774e+0 (1.57e-1) +	1.0149e+0 (3.14e-2) +	1.0013e+0 (5.98e-4) +	2.8980e+0 (1.79e-4)
	DTLZ7	20	39	1.0302e+0 (1.43e-2) -	1.0016e+0 (5.25e-4) =	1.0025e+0 (9.37e-4) -	1.0028e+0 (7.52e-4) -	1.0029e+0 (7.12e-4) -	1.0008e+0 (1.42e-3)
M=25	DTLZ1	25	29	1.1866e+0 (1.72e-2) -	1.0082e+0 (4.13e-3) =	1.0115e+0 (1.62e-3) =	1.0146e+0 (4.62e-3) =	1.0177e+0 (4.69e-3) -	1.0095e+0 (5.00e-3)
	DTLZ2	25	34	8.5247e-1 (4.25e-2) +	1.0058e+0 (1.85e-3) +	1.0045e+0 (2.45e-3) +	1.0096e+0 (6.96e-3) =	1.0117e+0 (3.01e-3) =	1.0240e+0 (1.02e-2)
	DTLZ3	25	34	1.0452e+0 (6.40e-2) =	1.0005e+0 (5.29e-4) +	1.0022e+0 (2.35e-3) +	1.0007e+0 (9.80e-4) +	1.0039e+0 (4.98e-3) +	1.0152e+0 (3.66e-3)
	DTLZ4	25	34	1.0680e+0 (1.81e-2) -	1.0000e+0 (4.26e-7) +	1.0138e+0 (1.34e-2) =	1.0335e+0 (2.24e-2) =	1.0537e+0 (3.59e-2) =	1.0277e+0 (1.99e-2)
	DTLZ5	25	34	3.6800e+0 (4.88e-5) -	1.0011e+0 (9.11e-4) +	1.0020e+0 (4.10e-3) +	1.0006e+0 (4.27e-4) +	1.0027e+0 (1.95e-3) +	3.0292e+0 (1.81e-4)
	DTLZ6	25	34	3.6795e+0 (5.29e-4) -	1.0006e+0 (8.05e-4) +	1.0039e+0 (8.42e-3) +	1.0033e+0 (4.03e-3) +	1.0038e+0 (3.48e-3) +	3.0341e+0 (1.03e-2)
	DTLZ7	25	44	1.0087e+0 (1.00e-3) -	1.0013e+0 (6.74e-4) -	1.0013e+0 (4.42e-4) -	1.0012e+0 (6.06e-4) -	1.0017e+0 (7.80e-4) -	1.0001e+0 (4.90e-4)

Based on scalarization values the smallest values are survived and based on survived members the neighbourhood matrix is updated. This process is repeated until the termination conditions are satisfied.

### 2.2. Decomposition Methods

Decomposition (or scalarization) is a function that converts multi-objective optimization to single objective optimization with a defined weight (w). The sum of these weights will be equal to one. However, if it is applied not only a single set of weights but also applied to many sets, matrix, a set of solution candidate with respect to the weights will be obtained. This is used as a selection operator in MOEA/D.

In this research two different decomposition methods will be used. The first one is named as Penalty-based Boundary Intersection Scalarization (PBI). In Eq. 2 the mathematical expression for the PBI is presented.

$$g(x) = d_1 + \theta d_2 \tag{2}$$

$$d_1 = \frac{\|w(z-F(x))\|}{\|w\|} \text{ and } d_2 = \|F(x) - (z - wd_1)\|$$

As the second decomposition method in this study Tchebycheff method is selected. Unlike previous studies in literature weighted sum and Tchebycheff is evaluated in a different aspect. However, in literature it is clearly demonstrated that weighted sum methods give the worst result on MOEA/D algorithm. However, in this study two best decomposition

methods will be used and compared with each other. In Eq 3 the mathematical description of the Tchebycheff method presented.

$$g(x) = \max(w_i |f_i(x) - z_i|) \quad (3)$$

### 2.3. Metrics

To compare the performance of the algorithms some functions are needed to evaluate the solutions on the objective space. Two important parameters are observed for comparison. These are accuracy and distribution of the solutions on objective space. For the accuracy, inverted generalized distance (IGD) metric is proposed and mathematical description of this metric is given as [9]

$$f_{IGD} = \frac{\sum ds(a,P)}{|P|} \quad (4)$$

The IGD metric is based on computing the average distance between obtained solution candidates and the Pareto Front where

$$ds(a,P) = \sqrt{\sum (a_i - p_i)^2}$$

The second metric is related to the distribution of the solution on the objective space. It is important because each point in objective space corresponds to the solution candidate. The spread metric is defined in Eq. 5 [10]. The metric is based on calculation of the normalized squared sum of the distance between maximum and minimum difference between produced solutions and PF.

$$f_{Spread} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum \left( \frac{\max(a,PF) - \min(a,PF)}{PF_{max} - PF_{min}} \right)^2} \quad (5)$$

### 2.4. Benchmark Problems

Table 1 shows the benchmark problems used in this research which is proposed by Deb et. Al in [5]. These benchmark problems may have many numbers of objectives (M) and in this research 10, 15, 20 and 25 objectives are considered. There are seven benchmark problems are selected for this study. For DTLZ1 the dimension of the decision space is  $M+4$ , DTLZ2-DTLZ6  $M+9$  and for DTLZ7 the dimension is equal to  $M+19$ .

## 3. Implementation

In this research six different setups are implemented on seven benchmark problems (DTLZ1-7). The implementations are repeated 15 independent run and statistics are recorded as mean and standard deviation of the results of the metrics IGD and Spread metric. The population size of each implementation is equal to  $(M*10)$  and maximum number of function evaluations is equals to  $(M*104)$ . The MOEA/D implementations are evaluated as 1) Just PBI, 2) Random number is smaller 0.4 than apply PBI else Tchebycheff, 3) same with smaller 0.5, 4) same with smaller 0.6, 5) same with smaller 0.7, and 6) Just Tchebycheff. Table 2 and 3 shows the performance of these algorithm with respect to the IGD and Spread metrics. From Table 2, the accuracy of the solutions is evaluated and PBI gives almost all cases and all objective dimensions. However, the case "0.7" gives the similar performance with the PBI. On contrary, in Table 3, it is not possible to mention the distribution of the solution for only one method. However, from the statistical results (Wilcoxon rank test)

the case "0.7" gives the average results and statistically almost same performance with other cases in general.

## 4. Conclusion

In this research to improve the distribution property of the PBI decomposition method a hybrid decomposition method with PBI and Tchebycheff are used randomly. The results showed that PBI gives almost best results for the accuracy. However, PBI could not produce a well distributed solution, in this case Tchebycheff helps the PBI to distribute better solution just used approximately -randomly- %30 of the total implementation with respect to the given results.

## References

- [1] Q. Zhang and H. Li "MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition," IEEE Tran. on Evolutionary Com., vol. 11, no. 6, 2007.
- [2] H. Ishibuchi, Y. Sakane, N. Tsukamoto and Y. Nojima "Adaptation of Scalarizing Functions in MOEA/D: An Adaptive Scalarizing Function-Based Multiobjective Evolutionary Algorithm," EMO '09: Proceedings of the 5th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, pp. 438-452, 2009.
- [3] H. Ishibuchi, Y. Sakane, N. Tsukamoto and Y. Nojima "Simultaneous Use of Different Scalarizing Functions in MOEA/D," GECCO '10: Proceedings of the 12th annual conference on Genetic and evolutionary computation, pp. 519-526, 2010.
- [4] Y. Xia, X. Yang, K. Zhao. "A combined scalarization method for multi-objective optimization problems," Journal of Industrial & Management Optimization, vol. 17, no. 5, pp. 2669-2683, 2021.
- [5] K. Deb, L. Thiele, M. Laumanns, and E. Zitzler, Scalable Test Problems for Evolutionary Multi-Objective Optimization. Kanpur, India: Kanpur Genetic Algorithms Lab. (KanGAL), India Inst. Technol., 2001. KanGAL Report 2001001.
- [6] K. Miettinen, "Nonlinear Multiobjective Optimization," Norwell, MA: Kluwer, 1999.
- [7] U. Ozkaya, and L. Seyfi. "A comparative study on parameters of leaf-shaped patch antenna using hybrid artificial intelligence network models." Neural Computing and Applications, 29.8 pp. 35-45, 2018.
- [8] C. Coello D. Veldhuizen and G. Lamont, "Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems," Norwell, MA: Kluwer, 2002.
- [9] H. Ishibuchi H. Masuda Y. Tanigaki and Y. Nojima "Modified distance calculation in generational distance and inverted generational distance," in International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization. Springer, 2015, pp. 110-125.
- [10] M. Ehrgott, "Approximation algorithms for combinatorial multicriteria optimization problems," International Transactions in Operational Research, vol. 7, no. 531, 2000.





# Lineer ve Kübik Regresyon Analizleri Kullanılarak OECD Ülkelerinin CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Tahminlemesi

Ezgi Güler<sup>1\*</sup>, Süheyla Yerel Kandemir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8789-8244), [ezgi.guler@bilecik.edu.tr](mailto:ezgi.guler@bilecik.edu.tr)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4056-5383), [syerel@gmail.com](mailto:syerel@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079187)

**ATIF/REFERENCE:** Güler, E., Yerel Kandemir, S., (2022). Lineer ve Kübik Regresyon Analizleri Kullanılarak OECD Ülkelerinin CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Tahminlemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 175-180.

## Öz

CO<sub>2</sub> emisyonu hava kirliliğine ve küresel ısınmaya etki eden önemli bir faktördür. Bu çalışmada OECD ülkelerinin 1965-2020 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyon değerleri kullanılarak tahminleme çalışması yapılmıştır. Bu tahminleme çalışması için lineer ve kübik regresyon analizlerinden yararlanılmıştır. Kurulan tahmin modellerinin tahminleme başarısı R<sup>2</sup> (Determinasyon Katsayısı), MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hata), MAD (Ortalama Mutlak Hata) ve MSE (Ortalama Kare Hata) değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. İki farklı model ile gelecek 15 yılın emisyon değerleri tahminlenmiştir. Ayrıca iki farklı modelden elde edilen tahmin değerleri için Tek Örneklem T testi uygulanarak tahmin değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı fark olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan yaklaşımın ve elde edilen tahmin değerlerinin karar vericiler ve politika yapıcılar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** CO<sub>2</sub>, Emisyon, OECD ülkeleri, Regresyon analizi, Tahminleme.

## Estimation of CO<sub>2</sub> Emissions by OECD Countries Using Linear and Cubic Regression Analyzes

### Abstract

CO<sub>2</sub> emission is an important factor affecting air pollution and global warming. In this study, an estimation study was carried out using the CO<sub>2</sub> emission values of OECD countries between 1965 and 2020. Linear and cubic regression analyzes were used for this estimation study. The estimation success of the established prediction models was evaluated by calculating the R<sup>2</sup> (Coefficient of Determination), MAPE (Mean Absolute Percent Error), MAD (Mean Absolute Error) and MSE (Mean Square Error) values. Emission values of the next 15 years are estimated with two different models. In addition, the Single Sample T test was applied for the prediction values obtained from two different models, and it was examined whether there was a significant difference between the averages of the predicted values. It is thought that the approach used in the study and the estimation values obtained will be a guide for decision makers and policy makers.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, Emission, OECD countries, Regression analysis, Forecasting.

\* Sorumlu Yazar: [ezgi.guler@bilecik.edu.tr](mailto:ezgi.guler@bilecik.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynakları, enerji kaynaklarında dışa bağımlılık, arz güvenliği ve küresel ısınma en temel dünyamızı ilgilendiren en temel sorunlardır (Güler vd., 2021). EPA (Environmental Protection Agency)'nın tanımına göre CO<sub>2</sub>, yenilenemeyen enerji kaynaklarının, fosil yakıtların ve biyokütlelerin yanması ve diğer endüstriyel süreçlerin bir yan ürünü olarak ortaya çıkan, dünyanın radyasyon dengesini etkileyen, atmosferde bulunan bir sera gazıdır (Environmental Protection Agency, 2019).

Küresel ısınma, dünyanın son yüzyılda şimdiye kadar karşılaştığı en büyük ve muhtemelen en zor çevresel, sosyal ve ekonomik tehditlerden biridir (Shirmohammadi vd. 2018). Atmosfere salınan CO<sub>2</sub>'nin artması, sel, kuraklık gibi olumsuz çevresel etkilerle birlikte küresel ısınmanın temel nedenlerinden biridir. 20. yüzyılda dünyanın ortalama sıcaklığı 0,6 derece artmış ve önümüzdeki yüzyıl için 1-5 derece daha artacağı tahmin edilmektedir (Hosseini vd. 2019).

OECD ülkeleri; ABD, Almanya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Danimarka, Fransa, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Kanada, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Türkiye, Yunanistan, Japonya, Finlandiya, Avustralya, Yeni Zelanda, Meksika, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Polonya, Güney Kore, Slovakya, Şili, Estonya, Slovenya, İsrail, Letonya, Litvanya, Kolombiya ve Kosta Rika'dır. Tüm OECD ülkeleri ve gelişmekte olan bazı ülkeler hava kirleticilerin emisyon seviyelerini azaltmak amacıyla Kyoto Protokolünü imzalamış olsa da ekosistem konusundaki endişeler hala devam etmektedir (Saboori vd. 2014). OECD ülkelerinin ekonomileri, dünyadaki en yüksek enerji tüketimi seviyesi ile karakterize edilmektedir. Bu ülkeler için elektrik enerjisi, devasa enerji arzının kilit kaynaklarından biridir (Shafiei ve Salim, 2014). OECD ülkelerindeki elektrik üretiminin yaklaşık %80'i hala yenilenemeyen enerji kaynaklardan elde edilmektedir. Dolayısıyla, CO<sub>2</sub> emisyonlarında önemli bir artış mevcuttur. Ayrıca ülkelerin internet kullanımındaki artış, enerji talebi ile bağlantılı olarak CO<sub>2</sub> emisyonunun artmasına neden olacak baskı oluşturabilir (Salahuddin vd. 2016).

CO<sub>2</sub> gibi insan sağlığına etki eden ve küresel ısınmayı tetikleyen hava kirleticilerin uzun ya da kısa dönemli tahmin verilerinin elde edilmesi ülkeler ve karar vericiler için önemlidir. Literatürde bu konuyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların bazıları özetlenmiştir:

Gülhan vd. (2018) çalışmalarında İstanbul'daki biyolojik atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonunu modelleme metodu ile tahmin etmişlerdir. Bu amaçla General Purpose Simulator (GPS-X) sürüm 6.5 simülasyon programını kullanmışlardır. Räsänen vd. (2018) çalışmalarında River Basin bölgesinde CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahminlemek için emisyon modelleri önermişlerdir. Çeşmeli ve Pençe (2020) çalışmalarında Türkiye için sera gazı emisyon tahminini makine öğrenmesi yöntemleri ile gerçekleştirmişlerdir. Özhan (2020) çalışmasında yine Türkiye'deki karbondioksit emisyonunu yapay sinir ağları ve üstel düzleştirme yöntemleri ile tahmin etmiştir. Ancak regresyon modellerinin karşılıklı değerlendirildiği çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada OECD ülkelerinin 1965-2020 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyon verileri kullanılarak emisyon tahminleme çalışması yapılmıştır. Lineer regresyon ve kübik regresyon analizleri

kullanılarak farklı performans metriklerine göre karşılaştırılmış ve sonraki 15 yıla ait tahmin verileri elde edilmiştir. Tahmin verilerinin ortalamaları arasındaki ilişki incelenerek analiz seçimine alternatif durum geliştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan veriler BP'nin istatistiksel raporlarını içeren web sayfasından temin edilmiştir. Raporda düşülen nota göre BP'nin Dünya Enerjisi 2021 İstatistiksel İncelemesi, COVID-19 pandemisinin enerji piyasaları üzerinde dramatik bir etkisi olduğunu ve hem birincil enerji hem de karbon emisyonlarının İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana en hızlı oranlarda düştüğünü ortaya koymaktadır. Bu sebeple belirtilen olağanüstü durumun genel perspektifi etkilememesi için istatistiksel rapora 1965-2020 yılı arasındaki CO<sub>2</sub> emisyonları dahil edilmiştir (BP Reports, 2020).

Bu çalışmada OECD ülkeleri için 1965-2020 yılı arasındaki 56 yıllık CO<sub>2</sub> emisyon değerleri kullanılarak emisyon miktarları tahminlenmiştir. OECD ülkelerine ait karbondioksit emisyon değerleri (milyon ton cinsinden) Tablo 1'de bulunmaktadır.

Tablo 1. OECD ülkelerinin karbondioksit emisyon değerleri (1965-2020 yılları arası)

Yıl	CO <sub>2</sub> emisyonu	Yıl	CO <sub>2</sub> emisyonu	Yıl	CO <sub>2</sub> emisyonu	Yıl	CO <sub>2</sub> emisyonu
1965	7701.3	1979	11501.1	1993	11823.3	2007	13742.2
1966	8003.2	1980	11207.1	1994	12007.7	2008	13537.4
1967	8270.9	1981	10858.6	1995	12173.1	2009	12613.5
1968	8782.8	1982	10473.9	1996	12596.6	2010	13046.1
1969	9306.7	1983	10366.4	1997	12702.2	2011	12857.6
1970	9791.5	1984	10752.2	1998	12722.9	2012	12667.9
1971	9934.1	1985	10943.9	1999	12801.0	2013	12767.2
1972	10365.2	1986	10991.5	2000	13078.3	2014	12553.9
1973	10962.3	1987	11244.5	2001	13041.7	2015	12473.1
1974	10685.2	1988	11574.0	2002	13119.6	2016	12377.7
1975	10370.3	1989	11777.7	2003	13362.7	2017	12396.3
1976	10962.8	1990	11716.2	2004	13519.9	2018	12494.8
1977	11153.1	1991	11710.6	2005	13631.7	2019	12140.1
1978	11204.4	1992	11747.7	2006	13625.0	2020	10778.1

Çalışmada lineer regresyon ve kübik regresyon analizleri kullanılmıştır. MAPE, MAD, MSE ve R<sup>2</sup> değerleri hesaplanarak modellerin başarısı değerlendirilmiştir. Modellerden elde edilen tahmin değerlerinin ortalamaları arasındaki istatistiksel farkı incelemek için tek örneklem T testi uygulanmıştır.

### 2.1. Lineer Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki ya da ikiden fazla bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılan istatistiksel analiz yöntemidir. Regresyon analizi tek bir değişkenin olduğu durumlarda tek değişkenli regresyon, birden fazla değişkenin olduğu durumlarda çok değişkenli regresyon olarak adlandırılır. Normal dağılım gösteren iki değişkenin arasındaki doğrusal ilişki "basit lineer regresyon analizi" ile değerlendirilmektedir (Yılmaz vd., 2016). Lineer regresyon analizi ile bilinen ya da saptanabilen değişken(ler) kullanılarak belirlenmek istenen bir diğer değişkeni tahmin eden bir tahmin modeli oluşturulur (Kılıç, 2013). Bu çalışmada OECD ülkelerinin tahminlemek istenen emisyon değerleri bağımlı değişken, süre (yıl) ise bağımsız değişken olarak

ele alındığı için basit lineer regresyon modeli kullanılmıştır. Basit regresyon model denklemi Eşitlik (1)'de bulunmaktadır.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de;

$y_i$  bağımlı değişkeni,  $\beta_0$  regresyon sabitini,  $\beta_1$  regresyon katsayısını,  $x_i$  bağımsız değişkeni,  $\varepsilon$  hata terimini ifade etmektedir.  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  değerleri En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak elde edilebilmektedir (Erbaş, 2013).

## 2.2. Kübik Regresyon Analizi

Polinom Regresyon Analizi esasen çok değişkenli doğrusal regresyonun özel bir durumudur (Meyers vd., 2016). Polinom Regresyon Analizinde sadece bir bağımsız değişken (x) dikkate alınır. x değişkeni zaman serileri için “dönem (gün, ay, yıl vb.)”dir. Bu çalışmada x değişkeni “yıl” olarak alınmıştır. Polinom regresyon modeli için x bağımsız değişkeninin derecesi “3” olduğunda ilgili model Kübik Regresyon Modeli olarak adlandırılır. Kübik regresyon modeli Eşitlik (2)'de bulunmaktadır (Özen vd., 2021).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \varepsilon \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de;

$y_i$  bağımlı değişkeni,  $\beta_0$  regresyon sabitini,  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  regresyon katsayılarını,  $x_i$  bağımsız değişkeni,  $\varepsilon$  hata terimini ifade etmektedir.

## 2.3. Tahmin Modeli Değerlendirme Metrikleri

Bu çalışmada lineer ve kübik regresyon modellerinin tahminleme başarısını değerlendirmek amacıyla R<sup>2</sup>, MAPE, MAD ve MSE metrikleri (ya da kriterleri) kullanılmıştır.

### 2.3.1. R<sup>2</sup> (Determinasyon Katsayısı)

Regresyon analizinde hesaplanan R<sup>2</sup>, uyum/tahmin edici ve gerçek değerler arasındaki ilişkinin doğrusal bir eğriye ne kadar iyi uyduğunu ölçmektedir. R<sup>2</sup> değerinin 1'e eşit olması, modelin doğrusal bir eğri sağlayarak mükemmel olduğunu gösterir. R<sup>2</sup> değerinin yüksek olması, regresyon modeli için istenen bir özelliktir (Yerel ve Ersen, 2013; Çıtakoğlu ve Coşkun, 2021). R<sup>2</sup> formülü Eşitlik (3)'te verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

Eşitlikte  $Y_j$  ve  $\hat{Y}_j$  gerçek ve tahmine dayalı değerler,  $\bar{Y}_j$  veri kümesinin ortalama değeridir, N örnek boyutu veya değer sayısıdır.

### 2.3.2. MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)

MAPE, gerçek ve tahmini değerler arasındaki yüzde hatayı temsil eden bir hata metriğidir (Özkaya vd., 2022). Tahmini değerler gerçek değerleri yansıtmadığında veya örtüşmediğinde MAPE değeri yüksektir. MAPE değeri %10'un altında olduğunda tahmin modelinin doğruluğu çok yüksek olarak belirtilmektedir (Gönültaş vd., 2020). Mutlak hata yüzdesini veren MAPE formülü Eşitlik (4)'te verilmiştir.

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \left| \frac{Y_j - \hat{Y}_j}{Y_j} \right| \quad (4)$$

### 2.3.3. MAD (Ortalama Mutlak Hata)

MAD, iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür. Gerçek ve tahmini değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamıdır. Toplam hata mutlak değerinin gözlem miktarına bölünmesiyle elde edilmektedir (Çoban vd., 2021). Ortalama mutlak hata değeri 0'dan ∞'a kadar değişebilmektedir. (Chai ve Draxler, 2014). MAD formülü Eşitlik (5)'te verilmiştir.

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |Y_j - \hat{Y}_j| \quad (5)$$

### 2.3.4. MSE (Ortalama Karesel Hata)

MSE, tahmin modelinin hata oranını aynı zamanda başarılarını hatanın karesi ile ölçen bir metriktir. Gerçek ve tahmini değer arasındaki fark ne kadar az ise o oranda iyi bir tahmin yapılmış olur. MSE değeri 0'a yaklaşırsa tahmin o oranda iyidir (Dursun ve Toraman, 2021). MSE formülü Eşitlik (6)'da verilmiştir.

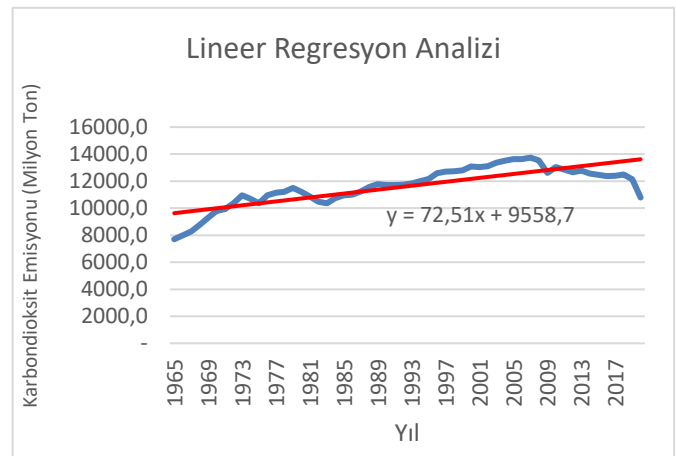
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2 \quad (6)$$

## 2.4. Tek Örneklem T Testi

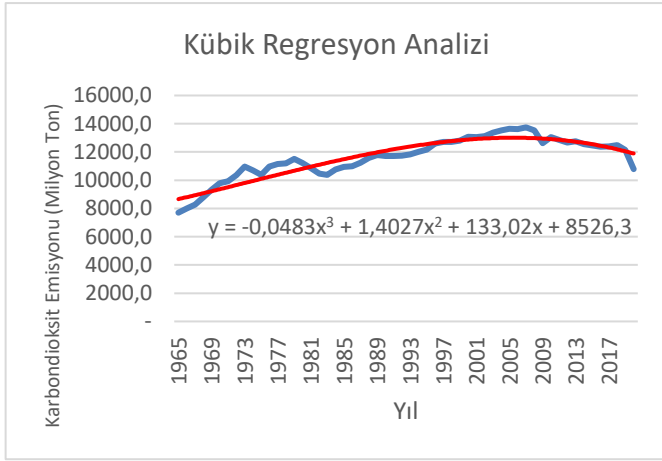
İstatistikte bilinmeyen iki ana kütlelerin ortalamasının karşılaştırılması gerektiğinde bazı testler uygulanmaktadır (Ediz ve Kan, 1993). Tek örneklem T testi, parametrik bir istatistiksel testtir ve araştırmalarda parametrik test türüne yönelmek için bazı varsayımlar bulunmaktadır. Bu varsayımlardan ilki verilerin normal dağılıma uygunluğudur. Tek örneklem t testinin uygulanabilmesi için aynı zamanda veri sayısının 30'dan küçük olması gerekmektedir (n<30) (Göker vd., 2017).

## 3. Bulgular

Bu çalışmada Tablo 1'deki emisyon verileri kullanılarak OECD ülkeleri için gelecek dönem karbondioksit emisyon tahminlemesi yapılmıştır. Lineer regresyon ve kübik regresyon analizi ile elde edilen eğim grafikleri, regresyon denklemleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de bulunmaktadır.



Şekil 1. Lineer regresyon eğimi ve regresyon denklemi



Şekil 2. Kübik regresyon eğimi ve regresyon denklemi

Tablo 1’de bulunan geçmiş dönem verileri için elde edilen tahmin modellerinin başarısı R<sup>2</sup>, MAPE, MAD ve MSE değerleri hesaplanarak incelenmiştir. Elde edilen tahmin modeli değerlendirme metrikleri Tablo 2’de bulunmaktadır.

Tablo 2. Tahmin modelleri için değerlendirme metrikleri

Tahmin Metrikleri	Lineer Regresyon Analizi	Kübik Regresyon Analizi
R <sup>2</sup>	0.6633	0.8718
MAPE	0.0563	0.0384
MAD	653.4756	420.761
MSE	697374	265547.6

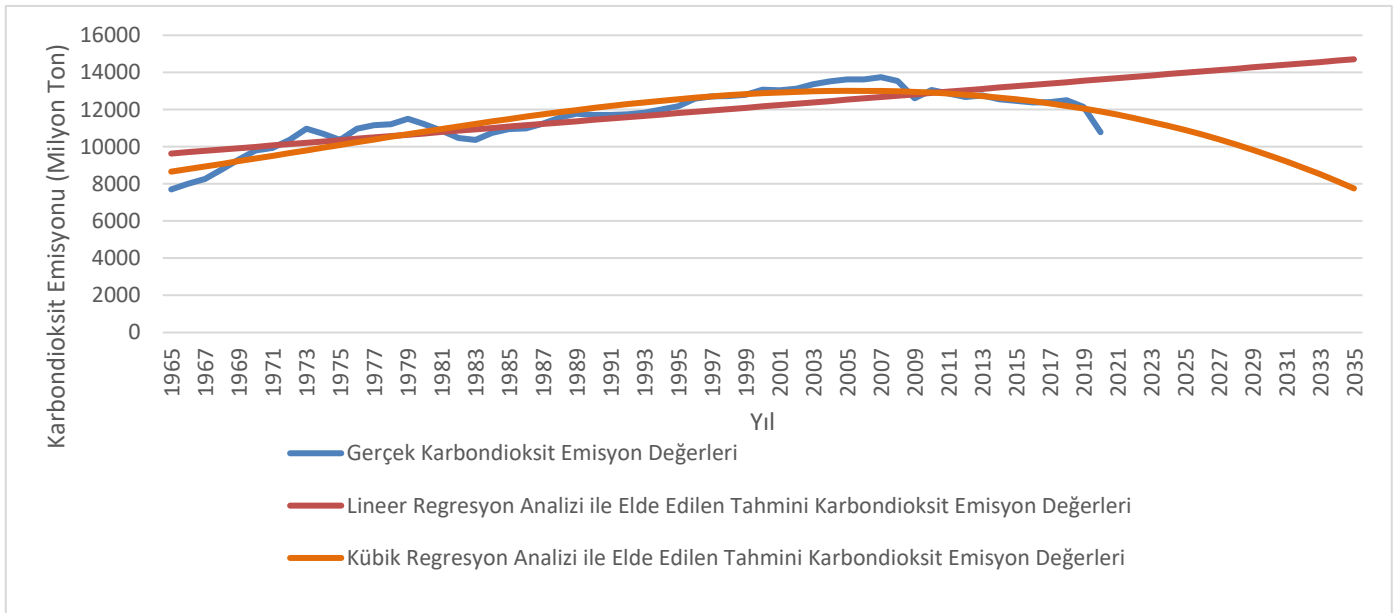
Tablo 2’de bulunan değerlere göre kübik regresyon analizi ile elde edilen tahmin modelinin başarısı lineer regresyon analizi ile elde edilen tahmin modelinin başarısından daha iyi durumdadır. Kübik regresyonda R<sup>2</sup> değeri pozitif ve 1’e daha yakın bir değerdeyken, diğer hata metrikleri daha küçüktür ve bu durum hata payının azlığını ifade etmektedir. Şekil 2’deki tahmin eğimi

incelendiğinde ileriki dönemler için OECD ülkelerinde karbondioksit emisyonunun azalma trendinde olacağı söylenebilir. Fakat bu durum belirsizlikler de barındırabilir. Bu sebeple çalışmada hem lineer hem de kübik regresyon analizi ile gelecek döneme ait tahmin değerleri elde edilmiştir. Elde edilen CO<sub>2</sub> emisyon tahmin değerleri Tablo 3’te yer almaktadır. Tahminlemeye dair doğru yorumlamaların yapılabilmesi için elde edilen tahmin değerlerinin ortalamaları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olup olmadığı tek örneklem T testi ile incelenmiştir.

Tablo 3. Lineer ve Kübik regresyon modelleri ile elde edilen tahmini karbondioksit emisyon değerleri (Milyon Ton)

Yıl	Lineer Regresyon Modeli	Kübik Regresyon Modeli
2021	13691.77	11720.9904
2022	13764.28	11536.2332
2023	13836.79	11337.473
2024	13909.3	11124.42
2025	13981.81	10896.7844
2026	14054.32	10654.2764
2027	14126.83	10396.6062
2028	14199.34	10123.484
2029	14271.85	9834.62
2030	14344.36	9529.7244
2031	14416.87	9208.5074
2032	14489.38	8870.6792
2033	14561.89	8515.95
2034	14634.4	8144.03
2035	14706.91	7754.6294

Lineer ve kübik regresyon analizi için tahmin değerlerinin grafiği Şekil 3’te bulunmaktadır.



Şekil 3. Regresyon modelleri ile elde edilen tahmin değerlerinin grafiği

Her iki regresyon modeli ile tahmin değerleri elde edildikten sonra elde edilen tahmin değerlerinin ortalamaları arasındaki istatistiksel farkın anlamlı olup olmadığı tek örneklem T testi ile e-ISSN: 2148-2683

değerlendirilmiştir. Öncelikle verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı test edilmiştir. Anlamlılık düzeyi %95 ( $\alpha = 0.05$ )

olarak belirlenerek H0 ve H1 hipotezleri kurulmuştur. Kurulan hipotezler aşağıdaki gibidir:

H0: Tahmini karbondioksit emisyon değerleri normal dağılmıştır.

H1: Tahmini karbondioksit emisyon değerleri normal dağılıma uygun değildir.

Kolmogrov- Smirnov ve Shapiro-Wilk sonuçları Tablo 4'te bulunmaktadır (İst.:İstatistik; SD: Serbestlik Derecesi; Sig.:Anlamlılık düzeyi).

Tablo 4. Normallik Testleri

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İst.	SD	Sig.	İst.	SD	Sig.
Doğrusal Regresyon Tahmin Değerleri	.082	15	.200*	.964	15	.755
Kübik Regresyon Tahmin Değerleri	.103	15	.200*	.954	15	.582

Normallik testlerinde elde edilen anlamlılık düzeyleri 0,05'ten fazla olduğu için H0 hipotezi kabul edilmiştir. Karbondioksit emisyon değerleri normal dağılıma uygundur. Tek örneklem T testi uygulanabilir.

Tek örneklem T Testi için anlamlılık düzeyi %95 ( $\alpha = 0.05$ ) olarak belirlenerek kurulan H0 ve H1 hipotezleri aşağıdadır.

H0: Lineer ve kübik regresyon modeli ile elde edilen tahmini CO2 emisyon değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı fark yoktur.

H1: Lineer ve kübik regresyon modeli ile elde edilen tahmini CO2 emisyon değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı fark vardır.

Tek örneklem T testi sonuçları Tablo 5'te bulunmaktadır.

Tablo 5. Tek Örneklem T testi sonuçları

	Test Değeri = 0					
	t	SD	sig.	Ortalama Fark	%95 Güven Aralığı	
					Alt	Üst
Doğrusal Regresyon Tahmin Değerleri	169.5	14	.000	14199.3	14019.7	14378.9
Kübik Regresyon Tahmin Değerleri	30.4	14	.000	9976.56	9272.79	10680.3

Tablo 5'teki anlamlılık sonuçlarına göre H0 hipotezi reddedilir. Tahmin değerlerinin ortalaması arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlıdır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada OECD ülkelerinin CO2 emisyon değerleri kullanılarak tahminleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla lineer ve kübik regresyon analizi kullanılmıştır. Elde edilen tahmin modellerinin tahmin başarıları farklı metrikler hesaplanarak değerlendirilmiştir. Hesaplanan değerlere göre kübik regresyon analizi ile daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi Lineer regresyon modelinde artan bir eğilim mevcutken Kübik regresyon modelinde azalan eğilim mevcuttur. OECD ülkeleri genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketiminin hızlanmasıyla karbondioksit emisyonunun azalacağı öngörülebilir fakat ilerleyen dönemlerde hava kirliliğine ve karbondioksit emisyonunun artışına sebep olacak başka durumlar da ortaya çıkabilir. Bu nedenle iki farklı tahmin yöntemi ile elde edilen tahmin değerlerinin ortalamaları arasındaki anlamlı fark incelenmiştir. Tek örneklem t testi sonucunda tahmin değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli ya da anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda kübik regresyon analizi ile elde edilen tahmin değerlerinin zamana bağlı olarak gerçeğe daha yakın sonuçlar vermesi muhtemeldir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin ve yöntemlerden elde edilen verilerin karar vericiler için ilerleyen dönemlerdeki politikalara yön vereceği öngörülmektedir.

## Kaynakça

- BP Reports, (2020). İnternet Adresi: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Çeşmeli, M. Ş., & Pençe, İ. (2020). Makine Öğrenimi Yöntemleri ile Türkiye için Sera Gazı Emisyonu Tahmini. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 8(2), 332-348.
- Chai, T., Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Geosci. Model Dev., 7, 1247-1250.
- Çıtakoğlu, H., & Coşkun, Ö. Dalgacık Dönüşüm Modeli Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Orta Anadolu Bölge İstasyonlarının Yağış Tahmini. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 6(1), 39-54.
- Çoban, V., Güler, E., Kılıç, T., & Kandemir, S. Y. (2021). Precipitation forecasting in Marmara region of Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 14(2), 1-10.
- Dursun, Ö. O., & Toraman, S. (2021). Uzun Kısa Vadeli Bellek Yöntemi ile Havayolu Yolcu Tahmini. Journal Of Aviation, 5(2), 241-248.
- Ediz, B., & Kan, İ. (1993). İki ortalama farkına ilişkin hipotezlerin z ve t testi ile kontrolünde, verilen kararların doğruluk dereceleri. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 2, 127-130.
- Erbaş, S. O. (2013). Olasılık ve İstatistik. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Göker, İ. E. K., Arar, T. & Uysal, B. (2017). Kurumsal itibar kavramı ve hisse senedi fiyatlarına etkisi: Türkiye örneği. Muhasebe ve Finansman Dergisi, (74), 133-156.
- Gönültaş, H., Kızılaslan, H., and N. Kızılaslan. (2020). Projections of effects of global warming on rainfall regime in some provinces; Ankara, Rize, Aydın and Hakkâri provinces example. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(10), 2156-2163.
- Güler, E., Yerel Kandemir, S., Acikkalp, E., & Ahmadi, M. H. (2021). Evaluation of sustainable energy performance for OECD countries. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 16(6), 491-514.

- Gülhan, H., Özgün, H., Erşahin, M.E., Dereli, R.K., Öztürk İ. (2018). İstanbul'daki Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonunun Modelleme Metodu ile Tahmini. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30, 1, 59-67.
- Hosseini, S. M., Saifoddin, A., Shirmohammadi, R., & Aslani, A. (2019). Forecasting of CO2 emissions in Iran based on time series and regression analysis. Energy Reports, 5, 619-631.
- Kılıç, S. (2013). Doğrusal regresyon analizi. Journal of Mood Disorders, 3(2), 90-92.
- Meyers L.S., Gamst, G., Guarino, A.J. (2016). Applied Multivariate Research: Design and Interpretation, 1st ed., New York, USA: SAGE Publications.
- Özkaya, U., Öztürk Ş. (2022). Gaussian Regression Models for Day-Level Forecasting of COVID-19 in European Countries. Understanding COVID-19: The Role of Computational Intelligence. Springer, Cham, 339-356.
- Özhan, E. (2020). Yapay Sinir Ağları ve Üstel Düzleştirme Yöntemi ile Türkiye'deki CO2 Emisyonunun Zaman Serisi ile Tahmini. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19), 282-289.
- Räsänen, T. A., Varis, O., Scherer, L., & Kummu, M. (2018). Greenhouse gas emissions of hydropower in the Mekong River Basin. Environmental Research Letters, 13(3), 034030.
- Saboori, B., Sapri, M., & bin Baba, M. (2014). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in OECD (Organization for Economic Co-operation and Development)'s transport sector: A fully modified bi-directional relationship approach. Energy, 66, 150-161.
- Salahuddin, M., Alam, K., & Ozturk, I. (2016). The effects of Internet usage and economic growth on CO2 emissions in OECD countries: A panel investigation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1226-1235.
- Shafiei, S., & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: a comparative analysis. Energy Policy, 66, 547-556.
- Shirmohammadi, R., Soltanieh, M., & Romeo, L. M. (2018). Thermoeconomic analysis and optimization of post-combustion CO2 recovery unit utilizing absorption refrigeration system for a natural-gas-fired power plant. Environmental Progress & Sustainable Energy, 37(3), 1075-1084.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2019). US EPA. 02.02.2022 tarihinde [https://ofmpub.epa.gov/sor\\_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Glossary Climate Change Terms](https://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Glossary+Climate+Change+Terms) İnternet adresinden alındı.
- Yerel S. & Ersen T. (2013) Prediction of the Calorific Value of Coal Deposit Using Linear Regression Analysis, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 35:10, 976-980.
- Yılmaz, M., Kanıt, R., Erdal, M., Yıldız, S., & Bakış, A. (2016). Bina Bakım Onarım Ödeneklerinin Etkin Kullanımı Maksadıyla İhale Bedelini Etkileyen faktörlerin yapay sinir ağları ve lineer regresyon yöntemleri ile belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 19(4), 461-470.



# Adjoint Approach between a Spatial Curve and a Ruled Surface Based on the Bishop Frame

Vahide Bulut

İzmir Katip Çelebi University, Department of Engineering Sciences, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0786-8860), [vahide.bulut@ikcu.edu.tr](mailto:vahide.bulut@ikcu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079225)

**ATIF/REFERENCE:** Bulut, V. (2022). Adjoint Approach between a Spatial Curve and a Ruled Surface Based on the Bishop Frame. *European Journal of Science and Technology*, (34), 181-192.

## Abstract

The adjoint approach is usually used to study the crank-rocker linkages' coupler curves and the geometry of rigid objects in spatial motion. In this paper, the adjoint approach between a spatial curve and a ruled surface based on the Bishop frame is presented. Also, a ruled surface by using the components of the Type-1 and Type-2 Bishop frames is expressed. Moreover, for a curve that adjoint to a ruled surface the fixed point conditions concerning the Bishop frame are determined. Finally, we presented four examples to show the relationship between the ruled surface and its adjoint curve.

**Keywords:** Type-1 Bishop frame, Type-2 Bishop frame, Serret-Frenet frame, adjoint curve, ruled surface.

## Bir Uzay Eğrisi ve Regle Yüzey Arasında Bishop Çatısına Dayalı Bitişik Yaklaşımı

### Öz

Bitişik yaklaşım genellikle krank-rocker bağlantılarının kuplör eğrilerini ve uzay hareketinde katı cisimlerin geometrisini incelemek için kullanılır. Bu makalede, Bishop çatısına dayalı bir uzay eğrisi ve bir regle yüzey arasındaki bitişik yaklaşım sunulmaktadır. Ayrıca, Tip-1 ve Tip-2 Bishop çatılarının bileşenleri kullanılarak bir regle yüzey ifade edilmiştir. Ayrıca, bir regle yüzeye bitişik bir eğri için Bishop çatısına bağlı sabit nokta koşulları belirlenmiştir. Son olarak, regle yüzey ile onun bitişik eğrisi arasındaki ilişkiyi göstermek için dört örnek sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tip-1 Bishop çatısı, Tip-2 Bishop çatısı, Serret-Frenet çatısı, bitişik eğri, regle yüzey.

### 1. Introduction

The Serret-Frenet frame is formed for the curve which is differentiable nondegenerate curves. Since, the curvature may vanish at some points on the curve when the Serret- Frenet frame is used, Bishop defined a new frame for a space curve and called it the Bishop frame (parallel transport frame). Bishop frame can be defined even if the curve has a vanishing second derivative in  $\mathbb{E}^3$ . The advantages of the Bishop frame and relationship between the Bishop and the Serret- Frenet frame in  $\mathbb{E}^3$  can be found in [1] and [2].

The adjoint approach is widely studied on the properties of a spatial curve or a surface with a spatial curve or surface [3, 4], such as the properties of an involute and evolute of a curve or Bertrand curves [5]. Also, some researchers have been used the adjoint approach in mechanical engineering [6, 7, 8, 9].

In this study, we present the ruled surface by using the components of the Type-1 and Type-2 Bishop frames. Moreover, we express the generator trihedron of this ruled surface and determine the fixed point FP conditions for a curve that adjoint to a ruled surface based on the Bishop frame.

### 2. Preliminaries

A spatial curve  $\mathbf{a}: I \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{E}^3$  in  $\mathbb{E}^3$  is called a unit speed curve if  $\|\mathbf{a}'(s)\| = 1$ , where  $s$  is the arc length parameter of this curve. Serret-Frenet frame of the curve  $\mathbf{a}(s)$  in  $\mathbb{E}^3$  parameterized by arc length parameter  $s$  is given with

$$\mathbf{a}'(s) = \mathbf{T}, \quad \frac{\mathbf{T}'}{\|\mathbf{T}'\|} = \mathbf{N} \text{ and } \mathbf{T} \times \mathbf{N} = \mathbf{B}, \tag{1}$$

where the unit vectors  $\mathbf{T}$ ,  $\mathbf{N}$  and  $\mathbf{B}$  are called the unit tangent, unit principal normal, and unit binormal vectors, respectively. Also, the invariants  $\kappa = \kappa(s) = \|\mathbf{T}'(s)\|$  and  $\tau = \tau(s) = \|\mathbf{B}'(s)\|$  of this curve are the curvature and the torsion at the point  $s_0$ , respectively. The derivative formulas of the Serret-Frenet frame are written as

$$\begin{bmatrix} \mathbf{T}' \\ \mathbf{N}' \\ \mathbf{B}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ -\kappa & 0 & \tau \\ 0 & -\tau & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{T} \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

The Bishop frame [1] is based on parallel fields. Parallel transport of the Serret-Frenet frame along the curve  $\mathbf{a}$  can be defined as a parallel transporting each component of the frame. The derivative formulas of the Type-1 Bishop frame are expressed with the following equation.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{T}' \\ \mathbf{M}'_1 \\ \mathbf{M}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & k_2 \\ -k_1 & 0 & 0 \\ -k_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{T} \\ \mathbf{M}_1 \\ \mathbf{M}_2 \end{bmatrix}, \tag{3}$$

where  $\{\mathbf{T}, \mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2\}$  is the Type-1 Bishop frame, and  $k_1$  and  $k_2$  are called the first and second Bishop curvature, respectively [1]. Moreover, the relationship between the Serret-Frenet frame and Type-1 Bishop frame can be expressed as

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \mathbf{T} \\ \mathbf{N} &= \cos \varphi \mathbf{M}_1 + \sin \varphi \mathbf{M}_2 \\ \mathbf{B} &= -\sin \varphi \mathbf{M}_1 + \cos \varphi \mathbf{M}_2, \end{aligned} \tag{4}$$

where  $\varphi(s) = \arctan\left(\frac{k_2}{k_1}\right)$ ,  $\tau(s) = \left(\frac{d\varphi}{ds}\right)$  and  $\kappa(s) = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ . Also, Type-1 Bishop curvatures are defined with

$$k_1 = \kappa \cos \varphi, \quad k_2 = \kappa \sin \varphi.$$

The Type-2 Bishop frame formulas are given below:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N}'_1 \\ \mathbf{N}'_2 \\ \mathbf{B}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\mu_1 \\ 0 & 0 & -\mu_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{N}_1 \\ \mathbf{N}_2 \\ \mathbf{B} \end{bmatrix}, \tag{5}$$

in which  $\{\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2, \mathbf{B}\}$  is the Type-2 Bishop frame,  $\mu_1$  and  $\mu_2$  are called the first and second Bishop curvature, respectively [1]. Also, we can express the relationship between the Serret-Frenet frame and Type-2 Bishop frame as

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \sin \phi \mathbf{N}_1 - \cos \phi \mathbf{N}_2 \\ \mathbf{N} &= \cos \phi \mathbf{N}_1 + \sin \phi \mathbf{N}_2 \\ \mathbf{B} &= \mathbf{B}, \end{aligned} \tag{6}$$

where  $\phi(s) = \arctan\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)$ ,  $\tau(s) = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}$ . Additionally, Type-2 Bishop curvatures are defined by

$$\mu_1 = -\tau \cos \phi, \quad \mu_2 = -\tau \sin \phi.$$

#### 2.1. Ruled Surface

A ruled surface is a surface generated by moving a line in space. A ruled surface is shown as;

$$\mathbf{R}(u, t) = \mathbf{a}(u) + t\mathbf{l}(u) \tag{7}$$

where  $\mathbf{a}(u)$  is the directrix curve and the unit vector  $\mathbf{l}(u)$  is the direction vector of the generator or the ruling of the ruled surface (see Figure (1)).

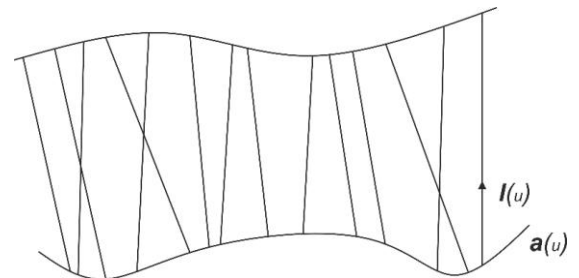


Figure 1: A ruled surface

**Definition 1:** The point of a ruling of a ruled surface at which the tangent plane of the ruling is perpendicular to the limit position of the tangent plane is called the striction point of the ruling. The set of all striction points forms a curve called the striction curve of the ruled surface. The striction curve can be presented with the following equation [10]:



$$\mathbf{b}(u) = \mathbf{a}(u) - \frac{\left(\frac{da}{du} \cdot \frac{dl}{du}\right)}{\left(\frac{dl}{du}\right)^2} \cdot \mathbf{l}(u). \quad (8)$$

**Theorem 1:** The directrix curve is the striction curve of the ruled surface  $\mathbf{R}(u, t)$  if and only if

$$\frac{d\mathbf{a}}{du} \cdot \frac{d\mathbf{l}}{du} = 0, \quad (9)$$

in which  $\mathbf{l}(u)$  and  $\mathbf{a}(u)$  are the generator and the directrix curve of  $\mathbf{R}(u, t)$  [11].

Since, a directrix curve can be any curve if the curve intersects with all the rulings, the ruled surface  $\mathbf{R}(u, t)$  can be rewritten by considering the striction curve with

$$\mathbf{R}(u, t) = \mathbf{b}(u) + t\mathbf{l}(u). \quad (10)$$

On the other hand, the trihedron that is located on the striction curve is called a generator trihedron. We can present this trihedron as  $\{\mathbf{b}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$  and the differential formulas of this trihedron are defined as

$$\left( \begin{array}{l} \frac{d\mathbf{b}}{d\sigma} = \lambda \mathbf{x}_1 + \eta \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_1}{d\sigma} = \mathbf{x}_2 \\ \frac{d\mathbf{x}_2}{d\sigma} = -\mathbf{x}_1 + \rho \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_3}{d\sigma} = -\rho \mathbf{x}_2 \end{array} \right) \quad (11)$$

where  $\lambda, \eta$  and  $\rho$  are called the construction parameters and they are a ruled surface's kinematic invariants. Also,  $\sigma$  is the spherical image curve's arc length and the relationship between  $\sigma$  and  $u$  can be expressed with

$$d\sigma = \left| \frac{d\mathbf{l}}{du} \right| du. \quad (12)$$

The geometrical meaning of these kinematic invariants is that:

- i)  $\lambda$  is the angle between the striction curve's tangent vector and the generator and can be determined as

$$\lambda = \frac{d\mathbf{b}}{d\sigma} \cdot \mathbf{x}_1 = \frac{\frac{d\mathbf{b}}{du}}{\left| \frac{d\mathbf{l}}{du} \right|} \cdot \mathbf{l}. \quad (13)$$

- ii)  $\eta$  is the distribution parameter and can be determined as

$$\eta = \frac{d\mathbf{b}}{d\sigma} \cdot \mathbf{x}_3 = \frac{\left(\frac{d\mathbf{b}}{du} \cdot \mathbf{l}, \frac{d\mathbf{l}}{du}\right)}{\left| \frac{d\mathbf{l}}{du} \right|^2}, \quad (14)$$

- iii)  $\rho$  is the spherical image curve's geodesic curvature and can be determined as [11]

$$\rho = \left( \mathbf{l}, \frac{d\mathbf{l}}{d\sigma}, \frac{d^2\mathbf{l}}{d\sigma^2} \right) = \frac{\left( \mathbf{l}, \frac{d\mathbf{l}}{du}, \frac{d^2\mathbf{l}}{du^2} \right)}{\left| \frac{d\mathbf{l}}{du} \right|^3}. \quad (15)$$

### 3. A Spatial Curve Adjoining A Ruled Surface Based On Bishop Frame

We examined a spatial curve adjoining a spatial curve according to the Type-1 and Type-2 Bishop frames in [12]. Now, we will examine a spatial curve adjoining a ruled surface according to the Type-1 and Type-2 Bishop frames. For this purpose, let's take a ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in the fixed coordinate system  $\{\mathbf{O}; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$  with

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{a}(s) + t\mathbf{l}(s) \quad (16)$$

where  $s$  is the arc length parameter. A point  $P$  that does not belong to the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  traces a curve  $\mathbf{r}^*$  in the same fixed coordinate system  $\{\mathbf{O}; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ . Consequently, each position of the point  $P$  along the curve  $\mathbf{r}^*$  adjoint to the generator of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$ . The curve  $\mathbf{r}^*$  is called an adjoint curve and the surface  $\mathbf{R}(s, t)$  is called an original surface [11] (see Figure (2)).

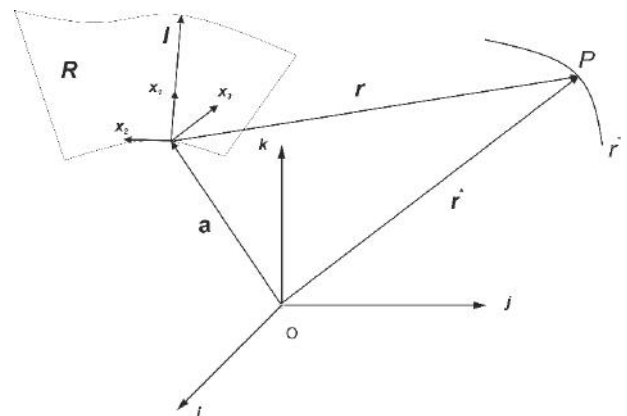


Figure 2: The spatial curve  $\mathbf{r}^*$  adjoint to the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$ .

Let us express this curve adjoint to the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  by using Type-1 and Type-2 Bishop frame in the following subsections.

**3.1. Type-I Bishop Frame  $\{\mathbf{a}; \mathbf{T}, \mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2\}$**

**3.1.1. The Generator is  $T$**

The ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit tangent vector  $\mathbf{T}$  the curve  $\mathbf{a}(s)$  according to the arc length parameter  $s$  as

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{a}(s) + t\mathbf{T}(s). \tag{17}$$

On the other hand, since  $\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{d\mathbf{T}}{ds} = \mathbf{T} \cdot (k_1\mathbf{M}_1 + k_2\mathbf{M}_2) = 0$  according to Theorem 1, the directrix curve  $\mathbf{a}(s)$  can be taken as a striction curve. Therefore, we can express the generator trihedron of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  as

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_1 = \mathbf{T} \quad \mathbf{x}_2 &= \frac{k_1\mathbf{M}_1 + k_2\mathbf{M}_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \\ \mathbf{x}_3 &= \frac{k_1\mathbf{M}_2 - k_2\mathbf{M}_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}. \end{aligned} \tag{18}$$

The relationship between  $\sigma$  and  $s$  is  $\frac{d\sigma}{ds} = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ . The differential formulas of the generator trihedron are given below:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{a}}{d\sigma} = \lambda\mathbf{x}_1 \\ \frac{d\mathbf{x}_1}{d\sigma} = \mathbf{x}_2 \\ \frac{d\mathbf{x}_2}{d\sigma} = -\mathbf{x}_1 + \rho\mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_3}{d\sigma} = -\rho\mathbf{x}_2 \end{cases} \tag{19}$$

in which the kinematic invariants are determined as follows:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}, \quad \eta = 0, \quad \rho = \frac{k_1k_2' - k_2k_1'}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}}. \tag{20}$$

where  $k_1' = \frac{dk_1}{ds}$  and  $k_2' = \frac{dk_2}{ds}$ .

**Remark 1:** It should be noted that the kinematic invariants have a relationship with the torsion of the directrix curve  $\mathbf{a}(s)$ , since  $\sqrt{k_1^2 + k_2^2} = \kappa$ .

The adjoint curve  $\mathbf{r}^*$  of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  can be written as

$$\mathbf{r}^* = \mathbf{a} + \mathbf{r} = \mathbf{a} + u_1\mathbf{x}_1 + u_2\mathbf{x}_2 + u_3\mathbf{x}_3, \tag{21}$$

where  $u_1, u_2,$  and  $u_3$  are the coordinates of the point  $P$  in  $\{\mathbf{a}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$  and  $\mathbf{a}$  is the striction curve of  $\mathbf{R}(s, t)$ . Based on the *e-ISSN: 2148-2683*

generator trihedron formulas in (19), we can express the first derivative of the equation (21) wrt. the arc length  $\sigma$  with the following equation.

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} &= \Sigma_1\mathbf{x}_1 + \Sigma_2\mathbf{x}_2 + \Sigma_3\mathbf{x}_3 \\ \Sigma_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 + \frac{1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \\ \Sigma_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{k_1k_2' - k_2k_1'}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \\ \Sigma_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{k_1k_2' - k_2k_1'}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \end{aligned} \tag{22}$$

where  $\Sigma_i, (i = 1,2,3)$  are the rates of change of the absolute coordinates of the point  $P$  in  $\{O; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ , and  $\frac{du_i}{d\sigma}, (i = 1,2,3)$  are the relative coordinates' rates of change of the point  $P$  in  $\{\mathbf{a}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$ . On the other hand, if the point  $P$  is a fixed point in  $\{O; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ , then it will be true that  $\frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} = 0$ . Hence, we can write the equation (22) as

$$\begin{aligned} \Sigma_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 + \frac{1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} = 0 \\ \Sigma_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{k_1k_2' - k_2k_1'}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} = 0 \\ \Sigma_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{k_1k_2' - k_2k_1'}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} = 0. \end{aligned} \tag{23}$$

For a curve that adjoint to a ruled surface, the equations in (23) can be called as the fixed point conditions according to the Type-1 Bishop frame with the generator  $\mathbf{T}$ .

**3.1.2. The Generator is  $M_1$**

The ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $\mathbf{M}_1$  of the curve  $\mathbf{a}(s)$  according to the arc length parameter  $s$  with

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{a}(s) + t\mathbf{M}_1. \tag{24}$$

Also, since  $\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{d\mathbf{M}_1}{ds} = -k_1 \neq 0$  according to Theorem 1, the directrix curve  $\mathbf{a}(s)$  can not be taken as a striction curve. Consequently, the striction curve can be found with

$$\begin{aligned} \mathbf{b}(s) &= \mathbf{a}(s) - \frac{\left(\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{d\mathbf{M}_1}{ds}\right)}{\left(\frac{d\mathbf{M}_1}{ds}\right)^2} \mathbf{M}_1(s) \\ &= \mathbf{a}(s) + \frac{1}{k_1} \mathbf{M}_1(s). \end{aligned} \quad (25)$$

Then, the ruled surface in (24) can be rewritten as

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{b}(s) + t\mathbf{M}_1. \quad (26)$$

Therefore, the generator trihedron of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  can be expressed by

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{M}_1, \quad \mathbf{x}_2 = \frac{\frac{d\mathbf{M}_1}{ds}}{\left|\frac{d\mathbf{M}_1}{ds}\right|} = -\mathbf{T}, \quad \mathbf{x}_3 = \mathbf{M}_2. \quad (27)$$

The relationship between  $\sigma$  and  $s$  is  $\frac{d\sigma}{ds} = k_1$ . The differential formulas of the generator trihedron are given with the following equation.

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{b}}{d\sigma} = \lambda \mathbf{x}_1 \\ \frac{d\mathbf{x}_1}{d\sigma} = \mathbf{x}_2 \\ \frac{d\mathbf{x}_2}{d\sigma} = -\mathbf{x}_1 + \rho \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_3}{d\sigma} = -\rho \mathbf{x}_2 \end{cases} \quad (28)$$

in which the kinematic invariants are shown below:

$$\lambda = \frac{k_1'}{k_1^3}, \quad \eta = 0, \quad \text{and} \quad \rho = -\frac{k_2}{k_1}. \quad (29)$$

The adjoint curve  $\mathbf{r}^*$  of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  can be written as

$$\mathbf{r}^* = \mathbf{b} + \mathbf{r} = \mathbf{b} + u_1\mathbf{x}_1 + u_2\mathbf{x}_2 + u_3\mathbf{x}_3, \quad (30)$$

where  $u_1, u_2,$  and  $u_3$  are the coordinates of the point  $P$  in  $\{\mathbf{b}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$  and  $\mathbf{b}$  is the striction curve of  $\mathbf{R}(s, t)$ . Based on the generator trihedron formulas (28), we can express the first derivative of the equation (30) wrt. the arc length  $\sigma$  with the equation below.

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} &= \Sigma_1\mathbf{x}_1 + \Sigma_2\mathbf{x}_2 + \Sigma_3\mathbf{x}_3 \\ \Sigma_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 + \frac{k_1'}{k_1^3} \\ \Sigma_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 + u_3 \frac{k_2}{k_1} \\ \Sigma_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} - u_2 \frac{k_2}{k_1} \end{aligned} \quad (31)$$

On the other hand, if the point  $P$  is a fixed point in  $\{O; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ , then it will be true that  $\frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} = 0$ . Hence, we can write the equation (31) as

$$\begin{aligned} \Sigma_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 + \frac{k_1'}{k_1^3} = 0 \\ \Sigma_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 + u_3 \frac{k_2}{k_1} = 0 \\ \Sigma_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} - u_2 \frac{k_2}{k_1} = 0. \end{aligned} \quad (32)$$

For a curve that adjoint to a ruled surface, the equations in (32) can be called as the fixed point conditions according to the Type-1 Bishop frame with the generator  $\mathbf{M}_1$ .

### 3.1.3. The Generator is $\mathbf{M}_2$

The ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $\mathbf{M}_2$  of the curve  $\mathbf{a}(s)$  according to the arc length parameter  $s$  with

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{a}(s) + t\mathbf{M}_2. \quad (33)$$

Also, since  $\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{d\mathbf{M}_2}{ds} = -k_2 \neq 0$  according to Theorem 1, the directrix curve  $\mathbf{a}(s)$  can not be taken as a striction curve. Consequently, the striction curve can be obtained as

$$\begin{aligned} \mathbf{b}(s) &= \mathbf{a}(s) - \frac{\left(\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{d\mathbf{M}_2}{ds}\right)}{\left(\frac{d\mathbf{M}_2}{ds}\right)^2} \mathbf{M}_2(s) \\ &= \mathbf{a}(s) + \frac{1}{k_2} \mathbf{M}_2(s). \end{aligned} \quad (34)$$

Then, the ruled surface in (33) can be rewritten as

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{b}(s) + t\mathbf{M}_2. \quad (35)$$

Therefore, we can express the generator trihedron of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  as

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{M}_2, \quad \mathbf{x}_2 = -\mathbf{T}, \quad \mathbf{x}_3 = \mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2 = -\mathbf{M}_1. \quad (36)$$

The relationship between  $\sigma$  and  $s$  is  $\frac{d\sigma}{ds} = k_2$ . The differential formulas of the generator trihedron are

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{b}}{d\sigma} = \lambda \mathbf{x}_1 \\ \frac{d\mathbf{x}_1}{d\sigma} = \mathbf{x}_2 \\ \frac{d\mathbf{x}_2}{d\sigma} = -\mathbf{x}_1 + \rho \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_3}{d\sigma} = -\rho \mathbf{x}_2 \end{cases} \quad (37)$$

in which the kinematic invariants are expressed as follows:

$$\lambda = -\frac{k_2'}{k_2^3}, \quad \eta = 0, \quad \text{and} \quad \rho = \frac{k_1}{k_2}. \quad (38)$$

The adjoint curve  $\mathbf{r}^*$  of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  can be written as

$$\mathbf{r}^* = \mathbf{b} + \mathbf{r} = \mathbf{b} + u_1 \mathbf{x}_1 + u_2 \mathbf{x}_2 + u_3 \mathbf{x}_3, \quad (39)$$

where  $u_1, u_2,$  and  $u_3$  are the coordinates of the point  $P$  in  $\{\mathbf{b}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$  and  $\mathbf{b}$  is the striction curve of  $\mathbf{R}(s, t)$ . Based on the generator trihedron formulas (37), we can express the first derivative of the equation (39) wrt. the arc length  $\sigma$  with the following equation.

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} &= \Sigma_1 \mathbf{x}_1 + \Sigma_2 \mathbf{x}_2 + \Sigma_3 \mathbf{x}_3 \\ \Sigma_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 - \frac{k_2'}{k_2^3} \\ \Sigma_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{k_1}{k_2} \\ \Sigma_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{k_1}{k_2} \end{aligned} \quad (40)$$

If the point  $P$  is a fixed point in  $\{O; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ , then it will be true that  $\frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} = 0$ . Hence, we can write the equation (40) as

$$\begin{aligned} \Sigma_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 - \frac{k_2'}{k_2^3} = 0 \\ \Sigma_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{k_1}{k_2} = 0 \\ \Sigma_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{k_1}{k_2} = 0. \end{aligned} \quad (41)$$

For a curve that adjoint to a ruled surface, the equations in (41) can be called as the fixed point conditions according to the Type-1 Bishop frame with the generator  $\mathbf{M}_2$ .

### 3.2. Type-II Bishop Frame $\{\mathbf{a}; \mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2, \mathbf{B}\}$

#### 3.2.1. The Generator is $\mathbf{N}_1$

The ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $\mathbf{N}_1$  of the curve  $\mathbf{a}(s)$  according to the arc length parameter  $s$  with

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{a}(s) + t\mathbf{N}_1(s). \quad (42)$$

On the other hand, since  $\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{d\mathbf{N}_1}{ds} = \mathbf{T} \cdot (-\mu_1 \mathbf{B}) = 0$  according to Theorem 1, the directrix curve  $\mathbf{a}(s)$  can be taken as a striction curve. Therefore, we can express the generator trihedron of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  as

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{N}_1, \quad \mathbf{x}_2 = -\mathbf{B}, \quad \mathbf{x}_3 = \mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2 = \mathbf{N}_2. \quad (43)$$

The relationship between  $\sigma$  and  $s$  is  $\frac{d\sigma}{ds} = \mu_1$ . The differential formulas of the generator trihedron are given below:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{a}}{d\sigma} = \lambda \mathbf{x}_1 + \eta \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_1}{d\sigma} = \mathbf{x}_2 \\ \frac{d\mathbf{x}_2}{d\sigma} = -\mathbf{x}_1 + \rho \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_3}{d\sigma} = -\rho \mathbf{x}_2 \end{cases} \quad (44)$$

in which the kinematic invariants can be written as follows:

$$\lambda = \frac{1}{\mu_1} \sin \phi, \quad \eta = -\frac{1}{\mu_1} \cos \phi, \quad \rho = -\frac{\mu_2}{\mu_1}. \quad (45)$$

The adjoint curve  $\mathbf{r}^*$  of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  can be expressed with

$$\mathbf{r}^* = \mathbf{a} + \mathbf{r} = \mathbf{a} + u_1 \mathbf{x}_1 + u_2 \mathbf{x}_2 + u_3 \mathbf{x}_3, \quad (46)$$

where  $u_1, u_2,$  and  $u_3$  are the coordinates of the point  $P$  in  $\{\mathbf{a}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$  and  $\mathbf{a}$  is the striction curve of  $\mathbf{R}(s, t)$ . Based on the generator trihedron formulas (44), we can express the first derivative of the equation (46) wrt. the arc length  $\sigma$  as follows:

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} &= \Psi_1 \mathbf{x}_1 + \Psi_2 \mathbf{x}_2 + \Psi_3 \mathbf{x}_3 \\ \Psi_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 + \frac{1}{\mu_1} \sin \phi \\ \Psi_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{\mu_2}{\mu_1} \\ \Psi_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} - u_2 \frac{\mu_2}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1} \cos \phi \end{aligned} \quad (47)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\mathbf{a}}{d\sigma} &= \lambda \mathbf{x}_1 + \eta \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_1}{d\sigma} &= \mathbf{x}_2 \\ \frac{d\mathbf{x}_2}{d\sigma} &= -\mathbf{x}_1 + \rho \mathbf{x}_3 \\ \frac{d\mathbf{x}_3}{d\sigma} &= -\rho \mathbf{x}_2 \end{aligned} \right. \quad (51)$$

However, if the point  $P$  is a fixed point in  $\{O; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ , then it will be true that  $\frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} = 0$ . Hence, we can write the equation (47) as

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 + \frac{1}{\mu_1} \sin \phi = 0 \\ \Psi_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{\mu_2}{\mu_1} = 0 \\ \Psi_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} - u_2 \frac{\mu_2}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_1} \cos \phi = 0. \end{aligned} \quad (48)$$

For a curve that adjoint to a ruled surface, the equations in (48) can be called as the fixed point conditions according to the Type-1 Bishop frame with the generator  $N_1$ .

### 3.2.2. The Generator is $N_2$

The ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $N_2$  of the curve  $\mathbf{a}(s)$  according to the arc length parameter  $s$  with

$$\mathbf{R}(s, t) = \mathbf{a}(s) + tN_2(s). \quad (49)$$

On the other hand, since  $\frac{d\mathbf{a}}{ds} \cdot \frac{dN_2}{ds} = \mathbf{T} \cdot (-\mu_2 \mathbf{B}) = 0$  according to Theorem 1, the directrix curve  $\mathbf{a}(s)$  can be taken as a striction curve. Therefore, we can express the generator trihedron of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  as

$$\mathbf{x}_1 = N_2, \quad \mathbf{x}_2 = \mathbf{B}, \quad \mathbf{x}_3 = \mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2 = -N_1. \quad (50)$$

The relationship between  $\sigma$  and  $s$  is  $\frac{d\sigma}{ds} = \mu_2$ . The differential formulas of the generator trihedron are:

in which the kinematic invariants are given as follows:

$$\lambda = -\frac{1}{\mu_2} \cos \phi, \quad \eta = -\frac{1}{\mu_2} \sin \phi, \quad \rho = \frac{\mu_1}{\mu_2}. \quad (52)$$

The adjoint curve  $\mathbf{r}^*$  of the ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  can be written as

$$\mathbf{r}^* = \mathbf{a} + \mathbf{r} = \mathbf{a} + u_1 \mathbf{x}_1 + u_2 \mathbf{x}_2 + u_3 \mathbf{x}_3, \quad (53)$$

where  $u_1, u_2$ , and  $u_3$  are the coordinates of the point  $P$  in  $\{\mathbf{a}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$  and  $\mathbf{a}$  is the striction curve of  $\mathbf{R}(s, t)$ . Based on the generator trihedron formulas (51), we can express the first derivative of the equation (53) wrt. the arc length  $\sigma$  with the following equation.

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} &= \Psi_1 \mathbf{x}_1 + \Psi_2 \mathbf{x}_2 + \Psi_3 \mathbf{x}_3 \\ \Psi_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 - \frac{1}{\mu_2} \cos \phi \\ \Psi_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{\mu_1}{\mu_2} \\ \Psi_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{\mu_1}{\mu_2} - \frac{1}{\mu_2} \sin \phi \end{aligned} \quad (54)$$

On the other hand, if the point  $P$  is a fixed point in  $\{O; \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$ , then it will be true that  $\frac{d\mathbf{r}^*}{d\sigma} = 0$ . Hence, we can write the equation (54) as

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 - \frac{1}{\mu_2} \cos \phi = 0 \\ \Psi_2 &= \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{\mu_1}{\mu_2} = 0 \\ \Psi_3 &= \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{\mu_1}{\mu_2} - \frac{1}{\mu_2} \sin \phi = 0. \end{aligned} \quad (55)$$

For a curve that adjoint to a ruled surface, the equations in (55) can be called as the fixed point conditions according to the Type-1 Bishop frame with the generator  $N_2$ .

3.2.3. The Generator is  $B$

The ruled surface  $R(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $B$  of the curve  $a(s)$  according to the arc length parameter  $s$  by

$$R(s, t) = a(s) + tB(s). \tag{56}$$

Also, since  $\frac{da}{ds} \cdot \frac{dB}{ds} = T \cdot (\mu_1 N_1 + \mu_2 N_2)$  according to Theorem 1, we can express the striction curve as

$$b(s) = a(s) - \frac{\left(\frac{da}{ds} \cdot \frac{dB}{ds}\right)}{\left(\frac{dB}{ds}\right)^2} B(s).$$

In the above equation, since

$$\frac{\left(\frac{da}{ds} \cdot \frac{dB}{ds}\right)}{\left(\frac{dB}{ds}\right)^2} B(s) = \frac{T \cdot (\mu_1 N_1 + \mu_2 N_2)}{\left(\frac{dB}{ds}\right)^2} B(s) \neq 0,$$

we can not take the curve  $a(s)$  as a striction curve. Therefore, the striction curve is

$$b(s) = a(s) - \frac{\mu_1 \sin \phi - \mu_2 \cos \phi}{\mu_1^2 + \mu_2^2} B(s).$$

On the other hand, the generator trihedron of the ruled surface  $R(s, t)$  is

$$x_1 = B, \quad x_2 = \frac{\mu_1 N_1 + \mu_2 N_2}{\sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}}, \quad x_3 = \frac{\mu_1 N_2 - \mu_2 N_1}{\sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}}. \tag{57}$$

The relationship between  $\sigma$  and  $s$  is  $\frac{d\sigma}{ds} = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}$ . The differential formulas of the generator trihedron are:

$$\begin{cases} \frac{da}{d\sigma} = \lambda x_1 \\ \frac{dx_1}{d\sigma} = x_2 \\ \frac{dx_2}{d\sigma} = -x_1 + \rho x_3 \\ \frac{dx_3}{d\sigma} = -\rho x_2 \end{cases} \tag{58}$$

in which the kinematic invariants are given as follows:

$$\lambda = \frac{(\mu_1' + \mu_2) \sin \phi + (\mu_1 - \mu_2') \cos \phi}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{3/2}} - \frac{2(\mu_1^2 \mu_1' \sin \phi - \mu_2^2 \mu_2' \cos \phi)}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{5/2}}, \tag{59}$$

$$\eta = 0$$

$$\rho = \frac{\mu_1 \mu_2' - \mu_2 \mu_1'}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{3/2}}$$

**Remark 2:** It should be noted that the kinematic invariants have a relationship with the torsion of the directrix curve  $a(s)$ , since  $\sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2} = \tau$ .

The adjoint curve  $r^*$  of the ruled surface  $R(s, t)$  can be written as

$$r^* = a + r = a + u_1 x_1 + u_2 x_2 + u_3 x_3, \tag{60}$$

where  $u_1, u_2,$  and  $u_3$  are the coordinates of the point  $P$  in  $\{a; x_1, x_2, x_3\}$  and  $a$  is the striction curve of  $R(s, t)$ . Based on the generator trihedron formulas (58), we can express the first derivative of the equation (60) wrt. the arc length  $\sigma$  with the following equation.

$$\frac{dr^*}{d\sigma} = \Psi_1 x_1 + \Psi_2 x_2 + \Psi_3 x_3$$

$$\Psi_1 = \frac{du_1}{d\sigma} - u_2$$

$$\Psi_2 = \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{\mu_1 \mu_2' - \mu_2 \mu_1'}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{3/2}} \tag{61}$$

$$\Psi_3 = \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{\mu_1 \mu_2' - \mu_2 \mu_1'}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{3/2}} + \frac{\mu_1 \sin \phi + \mu_2 \cos \phi}{\mu_1^2 + \mu_2^2}$$

If the point  $P$  is a fixed point in  $\{0; i, j, k\}$ , then it will be true that  $\frac{dr^*}{d\sigma} = 0$ . Hence, we can write the equation (54) as

$$\Psi_1 = \frac{du_1}{d\sigma} - u_2 = 0$$

$$\Psi_2 = \frac{du_2}{d\sigma} + u_1 - u_3 \frac{\mu_1 \mu_2' - \mu_2 \mu_1'}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{3/2}} = 0 \tag{62}$$

$$\Psi_3 = \frac{du_3}{d\sigma} + u_2 \frac{\mu_1 \mu_2' - \mu_2 \mu_1'}{(\mu_1^2 + \mu_2^2)^{3/2}} + \frac{\mu_1 \sin \phi + \mu_2 \cos \phi}{\mu_1^2 + \mu_2^2} = 0.$$

For a curve that adjoint to a ruled surface, the equations in (62) can be called as the fixed point conditions according to the Type-1 Bishop frame with the generator  $B$ .

4. Examples

In this section, first, we present the Type-1 and Type 2 curvatures, and kinematic invariants and thereafter illustrate four examples of ruled surfaces and their adjoint curves.

Let us take a unit speed curve in  $E^3$  by

$$a(s) = \left(\frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s\right), \quad \|a'(s)\| = 1 \tag{63}$$

The curve  $a = a(s)$  can be seen in Figure (3).

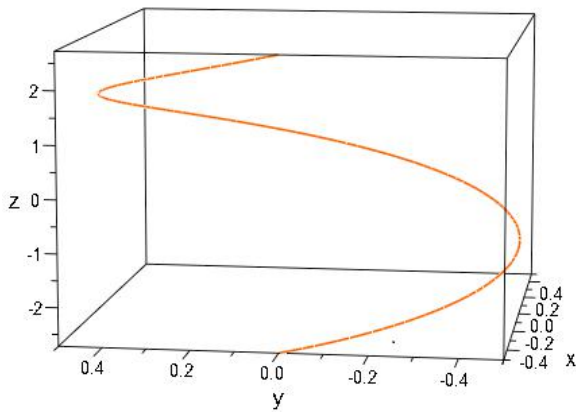


Figure 3: Directrix curve  $\mathbf{a} = \mathbf{a}(s)$ .

One can calculate its Frenet–Serret frame components as follows:

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \left(-\frac{1}{2}\sin s, \frac{1}{2}\cos s, \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\ \mathbf{N} &= (-\cos s, -\sin s, 0) \\ \mathbf{B} &= \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\sin s, -\frac{\sqrt{3}}{2}\cos s, \frac{1}{2}\right) \end{aligned} \quad \begin{aligned} \kappa &= \frac{1}{2} \\ \tau &= \frac{\sqrt{3}}{2}. \end{aligned} \quad (64)$$

Next, we can find the Type-1 Bishop trihedra of  $\mathbf{a}(s)$  by using the equations (4) and  $\varphi(s) = \int_0^s \frac{\sqrt{3}}{2} ds = \frac{\sqrt{3}}{2}s$  as:

$$\mathbf{T} = \left(-\frac{1}{2}\sin s, \frac{1}{2}\cos s, \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad (65)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_1 &= \left(-\cos \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \cos s - \frac{\sqrt{3}}{4}\sin \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \sin s, \right. \\ &\quad \left.-\cos \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \sin s + \frac{\sqrt{3}}{4}\sin \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \cos s, \right. \\ &\quad \left.-\frac{1}{2}\sin s\right) \end{aligned} \quad (66)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_2 &= \left(-\sin \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \cos s + \frac{\sqrt{3}}{4}\cos \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \sin s, \right. \\ &\quad \left.-\sin \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \sin s - \frac{\sqrt{3}}{4}\cos \frac{\sqrt{3}}{2}s \cdot \cos s, \right. \\ &\quad \left.\frac{1}{2}\cos s\right) \end{aligned} \quad (67)$$

Also, the Type-1 Bishop curvatures can be determined with

$$k_1 = \frac{1}{2}\cos \frac{\sqrt{3}}{2}s \quad \text{and} \quad k_2 = \frac{1}{2}\sin \frac{\sqrt{3}}{2}s \quad (68)$$

Moreover, we can find the Type-2 Bishop trihedra of  $\mathbf{a}(s)$  by using the equations (6) and  $\phi(s) = \int_0^s \frac{1}{2} ds = \frac{1}{2}s$  as:

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_1 &= \left(-\cos \frac{1}{2}s \cdot \cos s - \frac{1}{2}\sin \frac{1}{2}s \cdot \sin s, \right. \\ &\quad \left.-\cos \frac{1}{2}s \cdot \sin s + \frac{1}{2}\sin \frac{1}{2}s \cdot \cos s, \right. \\ &\quad \left.\frac{\sqrt{3}}{2}\sin \frac{1}{2}s\right) \end{aligned} \quad (69)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_2 &= \left(\frac{1}{2}\cos \frac{1}{2}s \cdot \sin s - \sin \frac{1}{2}s \cdot \cos s, \right. \\ &\quad \left.-\frac{1}{2}\cos \frac{1}{2}s \cdot \cos s + \sin \frac{1}{2}s \cdot \sin s, \right. \\ &\quad \left.-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos \frac{1}{2}s\right) \end{aligned} \quad (70)$$

$$\mathbf{B} = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\sin s, -\frac{\sqrt{3}}{2}\cos s, \frac{1}{2}\right). \quad (71)$$

Also, the Type-2 Bishop curvatures can be determined with

$$\mu_1 = -\frac{\sqrt{3}}{2}\cos \frac{1}{2}s, \quad \mu_2 = -\frac{\sqrt{3}}{2}\sin \frac{1}{2}s. \quad (72)$$

#### 4.1. Example 1:

The ruled surface  $\mathbf{R}(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit tangent vector  $\mathbf{T}$  in (65) the curve  $\mathbf{a}(s)$  in (63) according to the arc length parameter  $s$  as follows:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(s, t) &= \left(\frac{1}{2}\cos s, \frac{1}{2}\sin s, \frac{\sqrt{3}}{2}s\right) \\ &\quad + t\left(-\frac{1}{2}\sin s, \frac{1}{2}\cos s, \frac{\sqrt{3}}{2}\right). \end{aligned} \quad (73)$$

Additionally, the kinematic invariants are  $\lambda = 2$ ,  $\eta = 0$  and  $\rho = \sqrt{3}$ . This ruled surface' adjoint curve can be written by using the equations (65), (66), and (67) as

$$\begin{aligned} \mathbf{r}^* &= \mathbf{a} + \mathbf{r} \\ &= \left(\frac{1}{2}\cos s, \frac{1}{2}\sin s, \frac{\sqrt{3}}{2}s\right) + u_1\mathbf{T} \\ &\quad + \frac{(u_2 + u_3)k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}\mathbf{M}_1 + \frac{(u_2 - u_3)k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}\mathbf{M}_2. \end{aligned} \quad (74)$$

One can see the relationship between this ruled surface in (73) and its adjoint curve below from Figure (4).

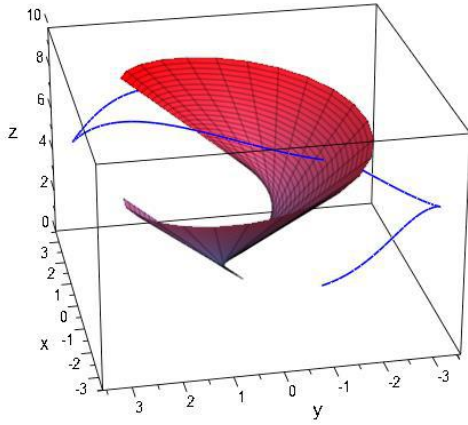


Figure 4: The ruled surface  $R(s, t)$  in (73) with the generator  $T$  and its adjoint curve in (74).

#### 4.2. Example 2:

The ruled surface  $R(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $M_1$  in (66) the curve  $a(s)$  in (63) according to the arc length parameter  $s$  as follows:

$$R(s, t) = \left( \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) + t \left( -\cos \frac{\sqrt{3}}{2} s \cdot \cos s - \frac{\sqrt{3}}{4} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} s \cdot \sin s, -\cos \frac{\sqrt{3}}{2} s \cdot \sin s + \frac{\sqrt{3}}{4} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} s \cdot \cos s, -\frac{1}{2} \sin s \right). \quad (75)$$

Additionally, the kinematic invariants are  $\lambda = -2\sqrt{3} \frac{\sin \frac{\sqrt{3}}{2} s}{(\cos \frac{\sqrt{3}}{2} s)^3}$ ,

$\eta = 0$  and  $\rho = -\tan \frac{\sqrt{3}}{2} s$ . This ruled surface's adjoint curve can be written by using the equations (65), (66), and (67) as

$$r^* = b + r = \left( \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) - u_2 T + \left( u_1 + 2 \frac{1}{\cos \frac{\sqrt{3}}{2} s} \right) M_1 + u_3 M_2. \quad (76)$$

One can see the relationship between this ruled surface in (75) and its adjoint curve (76) from Figure (5).

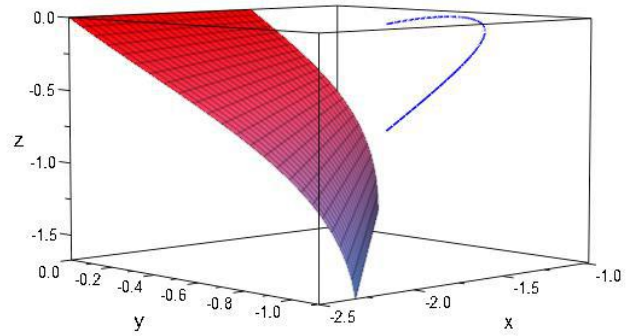


Figure 5: The ruled surface  $R(s, t)$  in (75) with the generator  $M_1$  and its adjoint curve in (76).

#### 4.3. Example 3:

The ruled surface  $R(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $N_1$  in (69) the curve  $a(s)$  in (63) according to the arc length parameter  $s$  as follows:

$$R(s, t) = \left( \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) + t \left( -\cos \frac{1}{2} s \cdot \cos s - \frac{1}{2} \sin \frac{1}{2} s \cdot \sin s, -\cos \frac{1}{2} s \cdot \sin s + \frac{1}{2} \sin \frac{1}{2} s \cdot \cos s, \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \frac{1}{2} s \right). \quad (77)$$

Additionally, the kinematic invariants are  $\lambda = -\frac{2}{\sqrt{3}} \tan \frac{1}{2} s$ ,  $\eta = \frac{2}{\sqrt{3}}$  and  $\rho = -\tan \frac{1}{2} s$ . This ruled surface' adjoint curve can be written by using the equations (69), (70), and (71) as

$$r^* = a + r = \left( \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) + u_1 N_1 - u_2 N_2 + u_3 B. \quad (78)$$

One can see the relationship between this ruled surface in (77) and its adjoint curve (78) from Figure (6).



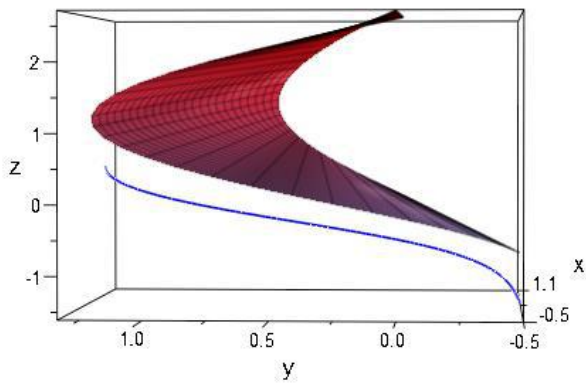


Figure 6: The ruled surface  $R(s, t)$  in (77) with the generator  $N_1$  and its adjoint curve in (78).

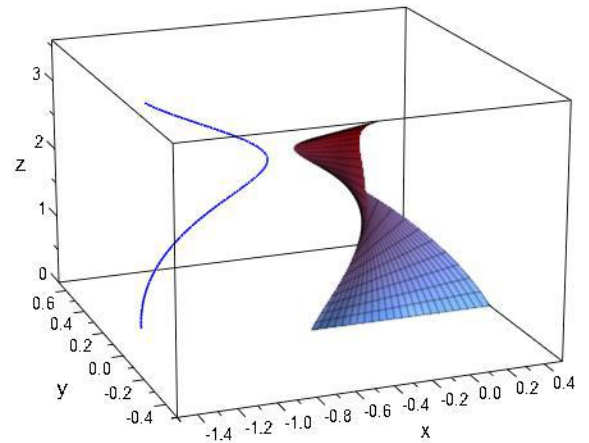


Figure 7: The ruled surface  $R(s, t)$  in (79) with the generator  $N_2$  and its adjoint curve in (80).

#### 4.4. Example 4:

The ruled surface  $R(s, t)$  in (16) can be written by taking the generator as the unit vector  $N_2$  in (70) the curve  $a(s)$  in (63) according to the arc length parameter  $s$  as follows:

$$R(s, t) = \left( \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) + t \left( \frac{1}{2} \cos \frac{1}{2} s \cdot \sin s - \sin \frac{1}{2} s \cdot \cos s, -\frac{1}{2} \cos \frac{1}{2} s \cdot \cos s + \sin \frac{1}{2} s \cdot \sin s, -\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \frac{1}{2} s \right). \quad (79)$$

Additionally, the kinematic invariants are  $\lambda = \frac{2}{\sqrt{3}} \cot \frac{1}{2} s$ ,  $\eta = \frac{2}{\sqrt{3}}$  and  $\rho = \cot \frac{1}{2} s$ . This ruled surface' adjoint curve can be written by using the equations (69), (70), and (71) as

$$r^* = a + r = \left( \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{2} \sin s, \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) + u_1 N_2 - u_2 B - u_3 N_1. \quad (80)$$

One can see the relationship between this ruled surface in (79) and its adjoint curve (80) from Figure (7).

**Remark 3:** The ruled surface  $R(s, t)$  in (16) with the generators  $M_2$  and  $B$  with their adjoint curves can be expressed similarly.

### 5. Conclusion

In this paper, we examined the adjoint approach between a curve and a ruled surface based on Type-1 and Type-2 Bishop frames. First of all, we expressed the ruled surface and its generator trihedron by using the components of the Type-1 and Type-2 Bishop frames. Also, we determined the fixed point conditions for a curve adjoint to a ruled surface according to the Bishop frame.

### 6. References

- Bishop, L.R. (1975). There is a more than one way to frame a curve, Amer. Math. Monthly. Vol 82, Issue 3, 246-251.
- Hanson, A. J. and Ma, H.H. (1995). Parallel Transport Approach to Curve Framing, Tech. Math. Rep. 425, Indiana University Computer Science Department.
- Gray, A. (1996). Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematics, CRC Press, Inc.
- Lipschutz, M. (1969). Schaum's Outline of Differential Geometry, Schaum's Outlines.
- Lucas, P., Ortega-Yagües, J.A. (2012). Bertrand curves in the three-dimensional sphere, Journal of Geometry and Physics, 62, 1903-1914.
- Sasaki, S. (1955). Differential Geometry (in Japanese), Kyolitsu Press.
- Wang, D. and Xiao, D.Z. (1993). Distribution of coupler curves for crank-rocker linkages, Mechanism and Machine Theory, 28, 671-684.
- Wang, D., Liu, J. and Xiao, D.Z. (1997). Kinematic differential geometry of a rigid body in spatial motion-I. A new adjoint approach and instantaneous properties of a point trajectory in spatial kinematics, Mechanism and Machine Theory, 32, 419-432.
- Wang, D., Liu, J. and Xiao, D.Z. (1997). Kinematic differential geometry of a rigid body in spatial motion-III. Distribution of characteristic lines in the moving body in spatial motion, Mechanism and Machine Theory, 32, 445-457.
- Goetz, A. (1970). Introduction to differential geometry, Addison-Wesley series in mathematics, Intermediate Mathematics Series; Addison Wesley Pub. Co.

- Wang, D. and Wang, W. (2015). Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages, Wiley, 1 edition.
- Bulut, V. (2018). A Spatial Curve Adjoining Another Spatial Curve Based on Bishop Frame, International Conference on Mathematical Advances and Applications (ICOMAA2018), Istanbul.



# Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış

Sinem Işık<sup>1\*</sup>, Sıraç Yavuz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1044-5092), [sinemisik@bingol.edu.tr](mailto:sinemisik@bingol.edu.tr)

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bingöl, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5878-8994), [siracyavuz@bingol.edu.tr](mailto:siracyavuz@bingol.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079255)

**ATIF/REFERENCE:** Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (34), 193-201.

## Öz

Artan nüfus nedeniyle enerji ihtiyaçlarının artması ve mevcut fosil yakıtların gelecek yıllarda bu ihtiyacı karşılayamayacak olması araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji arayışına yöneltmiştir. Biyoyakıtlara olan ilginin gün geçtikçe artma nedenlerinden biri de çevre kirliliğine neden olmamasıdır. Biyoyakıt kullanımının geliştirilmesi tarımın gelişmesini de teşvik eder. Ayrıca ülkemizdeki kırsal kalkınmayı da destekler. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı olan ve biyoyakıt üretmek için hammadde olarak kullanılan biyokütle; elektrik üretiminde, ısıtma ve soğutma uygulamalarında, evsel ihtiyaçlarda, yakıt olarak ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Biyokütle kaynağı olarak genellikle tarımsal atıklar, yağlı tohum bitkileri, karbonhidrat içeren bitkiler, hayvan ve insan atıkları, belediye atıkları ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır. Ülkemizde biyokütle kaynağından elde edilen biyoyakıtlardan elektrik üretilmesindeki en yüksek payı biyogaz almaktadır. Biyogaz ise birincil biyoyakıtlar takip etmektedir. Biyoyakıtlar biyodizel, biyogaz, bioetanol, biyometanol, biyodimetil eter, biyoyağ, biyobütanol ve biyohidrojen olarak sınıflandırılmaktadır. Çalışmamızda bu biyoyakıt çeşitleri tek tek açıklanmıştır. Her bir biyoyakıt çeşidinin olumlu ve olumsuz yönlerine, nasıl elde edildiklerine ve nerelerde kullanıldıklarına değinilmiştir. Bioetanol karbonhidrat bakımından zengin olan bitkilerden; biyometanol hayvansal atıklardan, çöplüklerden ve gıda atıkları gibi atıklardan; biyodizel yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağlardan ya da hayvansal yağlardan; biyodimetil eter metan ve karbondioksit içeren yenmeyen atıklardan; biyobütanol şeker ve tahıl gibi birinci nesil biyoyakıtlar ile tarım ve orman atıkları gibi yenilmeyen lignoselülozik malzemelerden; biyohidrojen tarımsal, odun, gıda, kanalizasyon, insan ve hayvan atıkları ile alglerden; biyogaz ise bitkisel ve hayvansal atıklardan elde edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, Biyoyakıt, İklim değişikliği, Yenilenebilir enerji, Alternatif yakıt.

## An Overview of Biofuels Derived from Biomass

### Abstract

The increase in energy needs due to the increasing population and the fact that existing fossil fuels will not be able to meet this need in the coming years have led researchers to seek new and renewable energy sources. One of the reasons why the interest in biofuels is increasing day by day is that it does not cause environmental pollution. Improving the use of biofuels also encourages the development of agriculture. It also supports rural development in our country. Biomass, which is a new and renewable energy source and used as a raw material to produce biofuels; It is used in electricity generation, heating and cooling applications, domestic needs, fuel and industrial applications. Agricultural wastes, oilseed crops, plants containing carbohydrates, animal and human wastes, municipal wastes and industrial wastes are generally used as biomass sources. In our country, biogas has the highest share in electricity generation from biofuels obtained from biomass sources. Biogas is followed by primary biofuels. Biofuels are classified as biodiesel, biogas, bioethanol, biomethanol, biodimethyl ether, biooil, biobutanol and biohydrogen. In our study, these biofuel types are explained one by one. The positive and negative aspects of each biofuel type, how they are obtained and where they are used are mentioned. Bioethanol is one of the plants rich in carbohydrates, biomethanol is produced from animal waste, landfills and waste such as food waste. Biodiesel is made from oils obtained from oilseed plants or from animal fats, from inedible waste containing bio dimethyl ether methane and carbon dioxide. Bioethanol is made from first generation biofuels such as sugar and grains, and inedible lignocellulosic materials such as agricultural and forestry wastes. Biohydrogen from agricultural, wood, food, sewage, human and animal wastes and algae, biogas is obtained from plant and animal wastes.

**Keywords:** Biomass, Biofuel, Climate change, Renewable energy, Alternative fuel.

## 1. Giriş

Uzun yıllardır bütün dünyada ana enerji kaynağı olarak petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fakat fosil yakıtların tükenebilir olması ve çevreye verdiği zararlardan dolayı daha az sera gazı oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları arayışı son yıllarda hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biyokütle, hidrojen ve dalga enerjisinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle, dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %13'ünü oluşturmaktadır [1].

İklim değişikliğine neden olan fosil yakıtlara nazaran biyokütle en büyük, en çeşitli ve en kolay kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [2]. Biyokütle 100 yıldan daha kısa bir sürede yenilenebilir. Fosilleşmemiş, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen bütün biyolojik malzemelere genel olarak biyokütle denilmektedir [3]. Biyokütle: doğal kaynaklar (ağaç atıkları, tarımsal atıklar, otlar ve enerji bitkileri), endüstriyel kaynaklar (sıvı gübre, biyogaz ve etil alkol ve biyodizel gibi sıvı yakıtlar)ve belediye atıklarından elde edilir [4].

Biyokütle, yakıt olarak hem saf haliyle hem de katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlara dönüştürülerek; elektrik üretimi, nakliye, ısıtma, soğutma, evsel kullanım ve endüstriyel ihtiyaçlar için kullanılabilir [3]. Çevreye zarar vermeyen ve yenilenebilir olan, yetiştirilmesi kolay bitkiler ve atıklardan elde edilen biyokütle kaynakları elektrik ve yakıt üretimi gibi günümüz enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çok iyi bir seçenektir.

Fosil yakıtlar hidrokarbon yapıya sahipken, biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar karbonhidrat yapısına sahiptirler. Bu nedenle de yüksek oranda oksijen içeriğine sahip yakıt türüdür. Bu da düşük enerji üretimine ve daha fazla dumana neden olur [5, 6]. Ayrıca, biyoyakıt kullanımı enerji güvenliği, döviz tasarrufu ve kırsal alanların gelişmesine katkıda bulunmaktadır [7, 8].

## 2. Biyokütle

Biyokütle, biyoyakıt üretmek için kullanılan yeni ve yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütleden üretilen biyoyakıtlar tüketilirken atmosfere CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleşir. Ancak yayılan CO<sub>2</sub> biyokütle sentezlenmesinde tekrardan geri dönüştürülür. Bu nedenle biyokütleden üretilen biyoyakıt kullanımı sera gazı emisyonlarının azalmasına neden olur [8].

Endüstrinin her alanında bulunan biyokütle kökenli ürünler Tablo 1'de verildiği gibi 3 ana bölümde sınıflandırılırlar. Bunlar; boyalar, yapıştırıcılar, yapı ve kompozit malzemeler gibi malzemeleri içeren biyomalzemeler, katı, sıvı ve gaz yakıtlardan oluşan biyoyakıtlar ve yağlar ve kimyasalları içeren biyokimyasallardan oluşmaktadır (Tablo 1) [9].

Tablo 1. Biyokökenli endüstriyel ürünler [9].

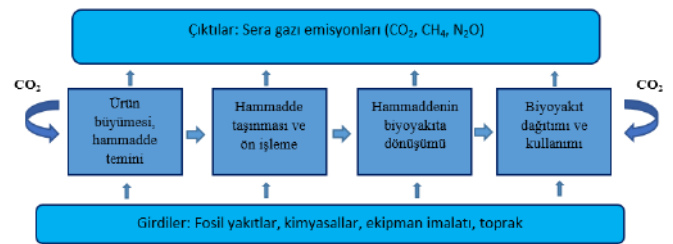
BIYOKÖKENLİ ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER		
Biyomalzemeler	Biyoyakıtlar	Biyokimyasallar
-Mürekkepler	-Gaz Yakıtlar	-Yüzeysel Tutucular
-Boyalar ve Kaplamalar	-Katı Yakıtlar	-Ara Kimyasallar
-Çözücüler ve Temizleyiciler	-Sıvı Yakıtlar	-Yağlama Yağları
-Yapıştırıcılar		
-Polimerler		
-Yapı Malzemeleri		
-Kompozit Malzemeler		
-Lifler, Kağıt ve Ambalajlar		

Genellikle, ağaç atıkları, bitkisel atıklar, odun; ayçiçek, pamuk, soya gibi yağlı tohum bitkileri; mısır, patates, buğday gibi karbonhidrat içeren bitkiler; keten, kenevir gibi elyaf bitkileri; hayvansal atıklar; belediye atıkları ve endüstriyel atıklar biyokütle hammaddesi olarak değerlendirilmektedirler [9].

## 3. Biyoyakıtlar

Uzun yıllardır temel enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar, tükenebilir olmalarının yanı sıra uzun dönemde çevreye de kalıcı zararlar vermektedir. Zararları azaltmak ve küresel enerji talebini karşılamak için biyoyakıtlar gibi başka kaynaklara yönelmek zorundayız [10]. Biyoyakıt genel olarak, her türlü organik maddeden yapılan herhangi bir yakıt türü olarak tanımlanmaktadır. Biyoyakıtlar son yıllarda ortaya çıkan yeni bir teknoloji değildir.

Biyoyakıtların yanmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları, fosil yakıtların yanmasıyla oluşandan çok daha düşüktür. Biyoyakıtların üretimi ve kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları Şekil 1'de verilmiştir. Sera gazları; hammadde üretiminden nakliyeye, biyoyakıt dönüşümüne, biyoyakıt dağıtımına ve kullanıma kadar her aşamada ortaya çıkmaktadır [11].



Şekil 1. Biyoyakıtların üretimi ve kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları [11].

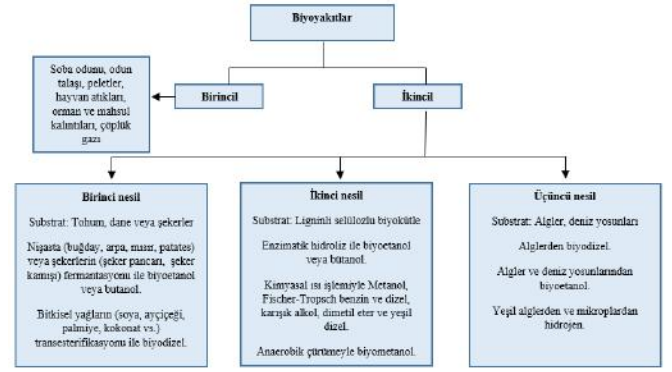
Biyoyakıtlar genellikle orman, yem ve gıda artıkları gibi yenilmeyen tarım ürünlerinden, özel olarak ekilmiş enerji bitkilerinden, hayvan ve insan artıkları kullanılarak elde edilmektedir. [6, 12]. Biyoyakıtların yenilmeyen biyokütleden üretilmeleri, fosil yakıtları korumaları ve yenilenebilir enerji kaynağı olmalarının yanında; yüksek nem içeriği, zayıf ateşleme, düşük yanma verimliliği, yüksek duman oluşturma, egzozda karbon seviyesinin artması gibi olumsuzlukları da mevcuttur. Biyokütlenin yakıt olarak kullanılmasındaki avantaj ve dezavantajlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Biyoyakıtların avantaj ve dezavantajları [6].

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Yenilenebilir enerji kaynağıdır.	Biyokütle hammaddelerinin güvensizliği
Yenmeyen biyokütle kullanılır.	Biyoyakıtlar için yenilenebilir enerji kaynağının eksikliği
Fosil yakıtlar korunur.	Yenilenebilir biyokütle (gıda, yiyecek) ve biyomateryal üretimi ile rekabet
Kül, C, FC, N, S, Si gibi zararlı elementler çok düşük miktarda yayılır.	Doğal ekosistemin zarar görmesi (ormansızlaştırma, yanlış arazi kullanımı, gübreler, böcek ilaçları vb.)
Biyokütle kalıntılarını ve atıkları azaltır.	Biyoyakıtların özellikleri ve kalitesi hakkında bilgi yetersizliği
Tehlikeli (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , toksik eser elementleri) emisyonları azaltır.	Düşük enerji yoğunluğu
Bozulmuş ve kirlenmiş arazilerin kullanımı	Düşük pH ve füzyon sıcaklığı
Kırsal bölgelerde yeni iş ve gelir kaynağı oluşturması	Su, gübre ve böcek ilacının fazla kullanımı
Okyanus, deniz, düşük kaliteli ve tarım yapılamayan toprakların kullanılması	Yüksek yatırım maliyeti
Yakıt arzı ve enerji güvenliğinin çeşitlendirilmesi	Bölgesel ve mevsimlik kullanılabilirlik

### 3.1. Biyoyakıtların Sınıflandırılması

Biyoyakıtlar, birincil ve ikincil biyoyakıtlar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Şekil 2). Birincil biyoyakıtlar odun, talaş, pelet, hayvansal atıklar gibi enerji üretimi için kullanılan işlenmemiş biyokütleden oluşurlar. Biyokütlelerin işlenmesiyle elde edilen biyodizel, etanol gibi araçlarda ve endüstriyel işlemlerde kullanılan biyoyakıtlar da ikincil biyoyakıtlar olarak adlandırılır. İkincil biyoyakıtlar kullanılan hammadde ve teknolojiye göre kendi arasında üçe ayrılırlar [13].



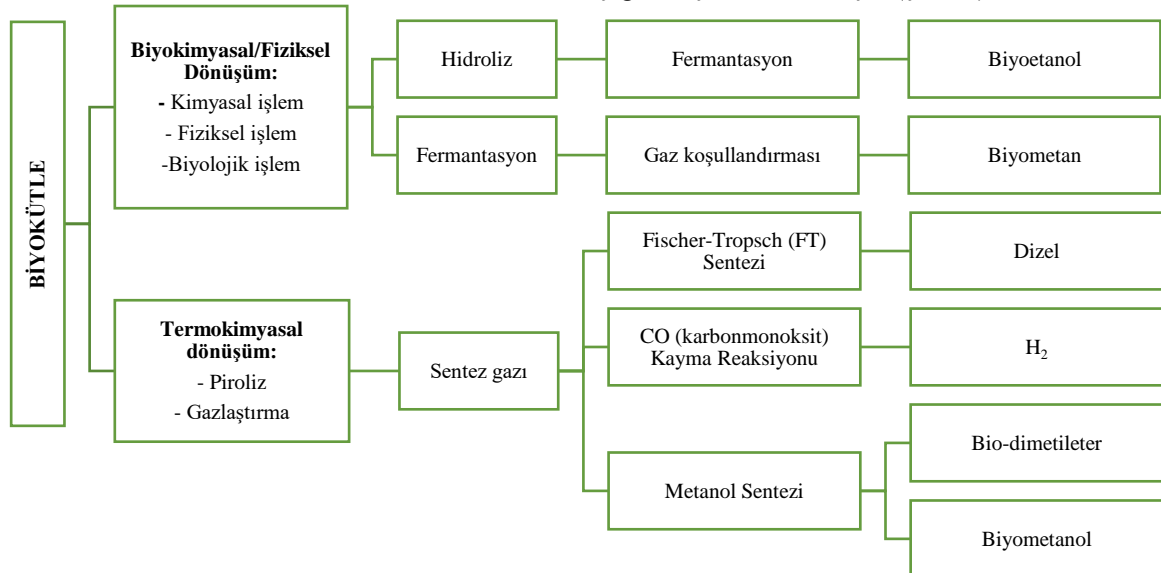
Şekil 2. Biyoyakıtların sınıflandırılması [13].

Birincil biyoyakıtlar, işlenmemiş olduğundan genellikle küçük ve büyük ölçekli endüstriyel uygulamalarda pişirme yakıtı, ısıtma veya elektrik üretim ihtiyaçlarını karşılamak için doğrudan kullanılırlar [13].

İkincil biyoyakıtlar ise birincil biyoyakıtların katı, sıvı ve gaz şeklinde işlenerek elde edildiği yakıtlardır. Her türlü uygulamada kullanılabilirler [13, 14].

1. nesil sıvı biyoyakıtlar, genellikle tahıllar, şeker bitkileri ve yağlı tohumlar sıvı ürünlerden elde edilmektedir [15]. 1. Nesil sıvı biyoyakıtlardan en iyi bilinen ise şeker veya nişastalı ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen etanoldür [13]. Birincil nesil sıvı biyoyakıtların elde edilebilmesinde kullanılan ürünler tarım arazilerinin belirli bölümlerine ekilerek elde edilir. Küçük bir kısmı kullanılan tarım arazilerinin verimsiz bir şekilde kullanımına neden olmaktadır. Ayrıca kullanılan tahıllar, şekerler ve yağlı tohumlar yenilebilir gıda ürünleri olduğundan fiyatlarında artışa da neden olmaktadır. Bu nedenle yenmeyen biyokütlelerin kullanılması biyoyakıt kullanımı için daha uygun olacaktır.

2. Nesil sıvı biyoyakıtlar orman kalıntılarında (tahıl samanı, şeker kamışı küspesi gibi), atıklardan (belediye katı atıklarının organik bileşenleri) ve özel olarak yetiştirilen bitkilerden (amaca uygun yetiştirilmiş bitkisel otlar, enerji bitkileri) elde edilmektedir [15]. Yenilmeyen ve atık maddelerden oluşan lignoselülozik biyokütleden üretilen 2. Nesil biyoyakıtlar birinci nesil biyoyakıtlara kıyasla daha ekonomik ve sürdürülebilirdir. Bu nedenle 2. Nesil biyoyakıtların kullanımı teşvik edilmelidir. Genel olarak ikinci nesil biyoyakıtları işleme yöntemleri aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İkinci nesil biyokütelleri işleme yöntemleri [16, 17].

Katı biyokütleden ikinci nesil sıvı veya gaz halindeki biyoyakıt üretimi için iki temel prosedür vardır (Şekil 3). Birincisi, termokimyasal yöntemle toplam biyokütlenin yüksek değerli sentez gazına dönüştürülmesini amaçlar. İkincisi ise yüksek nemli hammadde materyallerini mikrobiyolojik fermantasyon ile biyogaz gibi yüksek enerji içerikli ürünlere dönüştürülmesini amaçlar [17].

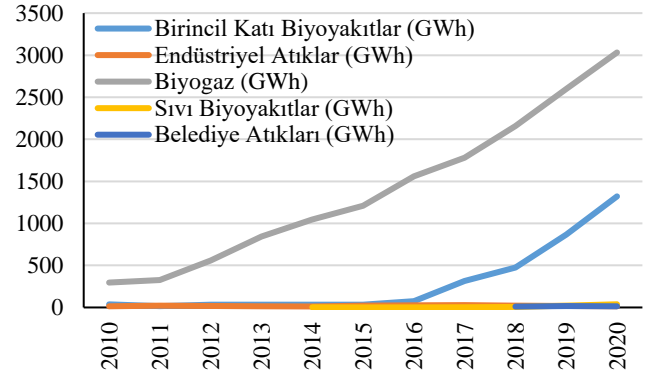
### 3.2. Biyoyakıtların Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de 2021 yılındaki verilere bakıldığında, yılda yaklaşık 194 milyon ton hayvansal atık, 62 milyon ton bitkisel üretimden elde edilen atık ve yaklaşık 32 milyon ton belediye atıkları elde edilmiştir. Elde edilen bu atıklar yılda 34 milyon TEP enerjiye eşdeğerdir. Ülkemizde 8 biyodizel ve 5 biyoetanol işleme firması bulunmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Türkiye biyokütle enerji potansiyeli [18].

<b>Hayvan Sayısı (adet):</b>	422.832.374
<b>Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl):</b>	193.878.079
<b>Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	4.385.371
<b>Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	1.084.506
<b>Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl):</b>	171.399.002
<b>Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl):</b>	62.206.754
<b>Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	25.384.268
<b>Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	1.462.159
<b>Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl):</b>	32.170.975
<b>Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl):</b>	3.373.011
<b>Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl):</b>	485.858
<b>Orman Varlığı Artıkları (ster / yıl):</b>	3.914.904
<b>Orman Varlığı Artıklarının Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	859.899
<b>Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar:</b>	8
<b>Biyoetanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar:</b>	5
<b>Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı:</b>	199
<b>Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):</b>	34.002.549

Ülkemizde biyokütle kaynaklarından elektrik üretim potansiyeli 2010 yılından itibaren her geçen yıl sürekli olarak artmaktadır (Şekil 4). Özellikle biyogaz üretimi 2010 yılında 296 GWh iken 2020 yılında yaklaşık 10 kat artarak 3032 GWh'e ulaşmıştır. Sıvı biyoyakıtlardan elektrik üretimine 2014 yılında, belediye atıklarından elektrik üretimine ise 2018 yılında başlanılmıştır. Her yıl elektrik üretimdeki en yüksek payı sırasıyla biyogaz ve birincil katı yakıtlar almaktadır.



Şekil 4. Biyokütle kaynaklarından elektrik üretimi [19].

### 3.3. Biyoyakıt Çeşitleri

Biyoyakıtlar biyodizel, biyogaz, biyoetanol, biyometanol, biyodimetil eter, biyoyağ, biyobütanol ve biyohidrojen olarak sınıflandırılırlar (Tablo 4).

Tablo 4. Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar

#### Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlar

<u>Katı Biyoyakıtlar</u>	<u>Sıvı Biyoyakıtlar</u>	<u>Gaz Biyoyakıtlar</u>
➤ Peletler	➤ Biyodizel	➤ Biyogaz
	➤ Biyoetanol	➤ Biyosentez
	➤ Biyometanol	➤ Biyohidrojen
	➤ Biyodimetil eter	
	➤ Biyoyağ	
	➤ Biyobütanol	

#### 3.1.1. Biyo-Etanol

Biyookol olarak da bilinen biyoetanol renksiz, yanıcı ve oksitlenmiş hidrokarbondur [20]. Yaygın olarak bilinen bir sıvı biyoyakıttır. Şeker, nişasta ve selülozik biyokütleden fermente edilir [21]. Biyoetanol yakıtı genellikle ulaşım sektöründe, kozmetikte, ilaç sektöründe, güç jeneratörlerinde ve alkollü içecek üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle etanol ve benzin karışımının alternatif bir motor yakıtı olarak bütün dünyada kullanımı artmaktadır. Etanol üretiminin yerli olması ve yakıt olarak kullanılabilmesi petrole olan bağımlılığı ve hava kirliliğini azaltabilir, ayrıca kırsal alanlarda istihdam yaratabilir [21]. Biyoetanol üretiminde karbonhidrat bakımından zengin olan mısır, şeker kamışı, patates, buğday, şeker pancarı, arpa ve odun gibi bitkiler kullanılmaktadır [1]. Farklı biyokütle kaynaklarından etanol üretim verimi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Farklı bitkilerden etanol üretim verimi [22].

Bitki Kaynağı	Etanol verimi (L/ha)
Buğday	2590
Tatlı sorgum	3050-4070
Mısır	3460-4020
Şeker pancarı	5010-6680
Şeker kamışı	6190-7500
Çim	10760
Mikroalg	40760-1402900

Lignoselülozik biyokütlenin miktarındaki fazlalık ve biyoetanole dönüştürülmesindeki çevresel faydalar yaygın olarak bilinmektedir. Lignoselülozik biyokütleden elde edilen biyoetanol

temiz, düşük karbonlu ve güvenli enerji kaynağı sağlamaktadır. Böylece biyoetanol yakıtının ulaşım sektörüne büyük faydalar sağlayacağı düşünülmektedir. Yüksek oktan sayısına sahip olan biyoetanol benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır [20]. İthal ettiğimiz enerji miktarını azaltmak için biyoetanol üretiminin ve kullanımının teşvik edilmesi gerekir.

### 3.1.2. Biyo-Metanol

Metanol, plastik, boya, kozmetik ve yakıtlar da dahil olmak üzere günlük kullanılan binlerce üründe bulunan berrak bir sıvı kimyasaldır. Metanol aynı zamanda denizcilik, otomotiv ve elektrik sektörlerinde kullanılan bir enerji kaynağı ve gelişmekte olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Metanol (CH<sub>3</sub>OH) suda çözünebilir, temiz bir şekilde yanan, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen, hidrojen, oksijen ve karbon içeren bir alkol türüdür. Metanolün çevresel ve ekonomik avantajları, onu araçlara ve gemilere güç sağlamak, yemek pişirmek ve evleri ısıtmak için giderek daha çekici bir alternatif yakıt haline getirmektedir [23, 24]. Metanol, halihazırda kullanılan doğal gaz, kömür ve biyokütle gibi diğer kaynakların dahil olduğu bir dizi kaynak kullanılarak sentez gazından üretilir. Basınçlı sentez gazının bir katalizör varlığında, Denk.(1)'e göre reaksiyona girdiği Fischer-Tropsch formülüyle üretilir [25].



Yenilenebilir gazlar, mevcut atıklar, hayvan atıkları, çöplükler, mahsul artıkları ve gıda atıkları dahil olmak üzere çeşitli yenilenebilir ve sürdürülebilir biyokütle kaynaklarından üretilen doğal gaz veya biyometanoldür [26]. Biyometanol, piroliz, gazlaştırma, biyo-sentez, elektroliz ve foto elektrokimyasal işlemler gibi birkaç geleneksel ve yeni yöntemle üretilir. Metanol üretmek için metan ve karbondioksit gibi kaynakları kullanan biyosentez süreçleri, gaz halinde bir yakıt üretmek için belediye katı atıkları, kanalizasyon çamuru, birincil ve ikincil tarım atıkları gibi organik atıkları kullanan dönüşüm süreçleri olarak işlev görür. Ayrıca, foto elektrokimyasal ve elektroliz gibi yeni tekniklerin laboratuvar ölçeğinde biyo-metanol üretimi için potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır, ancak büyük ölçekli üretimde kullanılmadan önce daha fazla araştırma yapılması gerektiği bildirilmiştir [27].

### 3.1.3. Biyodizel

Artan yakıt fiyatları ve enerji talebini karşılamak için biyodizel gibi alternatif yakıtlara yönelmemiz gerekmektedir. Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlar ve dizel yakıtlar için en uygun alternatif yakıt biyodizeldir [28]. Yağlı tohum bitkilerinden (kolza, Ayçiçek, soya, aspir gibi) elde edilen yağların ya da hayvansal yağların katalizör yardımıyla (metanol ya da etanol gibi kısa zincirli bir alkol) reaksiyona girmesi sonucunda biyodizel elde edilmektedir. Biyodizel araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizel genel olarak B5 (%5 Biyodizel+%95 Dizel), B20 (%20 Biyodizel+%80 Dizel), B50 (%50 Biyodizel+%50 Dizel) ve B100 (%100 Biyodizel) şeklinde isimlendirilmektedir. Biyodizelin 3 farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; FAME (Yağ asidi metil esteri), HVO (Hidroişlenmiş bitkisel yağ) ve BTL (Biyokütleden sıvılara)'dir [29].

Biyodizelin yakıt olarak kullanılması; enerji güvenliğini artırır, güvenlik faydaları sağlar, hava kalitesini iyileştirir ve emisyonları azaltır. Dizel motorlarda hareketli parçaların erken aşınmasını önlemek için yakıtın yağlayıcılığına ihtiyaç vardır. Biyodizel en düşük karışım seviyelerinde bile dizel yakıtın kayganlığını artırarak hareketli parçaların aşınmasını

önlemektedir. Ayrıca biyodizel yakıtın setan sayısını da yükseltmektedir. Biyodizelin parlama noktası dizel yakıtından daha yüksek olduğundan yanıcılığı daha azdır. İşlenmesi, depolanması ve taşınması dizel yakıtına kıyasla daha güvenilirdir [30].

Biyodizel, karıştırma, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz (ayrıştırma) ve transesterifikasyon işlemleri ile üretilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon işlemi bitkisel veya hayvansal yağlar metanol ve etanol gibi kısa zincirli alkollerle reaksiyona sokulur. Reaksiyon sonucunda yan ürün olarak gliserin oluşur. Gliserinin yoğunluğu biyodizelden daha fazla olduğu için reaksiyon sonucunda dibе çöker ve biyodizelden ayrıştırılır. Daha sonra biyodizelle karışım halinde olan alkol damıtma yöntemiyle geri kazanılır. Böylece yağ ile alkol reaksiyonundan gliserin, biyodizel ve alkol elde edilmiş olur [31]. Biyodizelin fiziksel özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Biyodizelin fiziksel özellikleri [30].

<b>Özgül Ağırlık</b>	0,88
<b>40°C'de Kinematik Viskozitesi</b>	4-6
<b>Setan Sayısı</b>	47-65
<b>Üst Isıl Değeri (Btu/gal)</b>	127960
<b>Alt Isıl Değeri (Btu/gal)</b>	119550
<b>15°C'de Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	874,7
<b>Karbon (%wt)</b>	77
<b>Hidrojen (%wt)</b>	12
<b>Oksijen (%wt)</b>	11
<b>Kaynama Noktası (°C)</b>	315-350
<b>Parlama Noktası (°C)</b>	100-170
<b>Kükürt (%wt)</b>	0-0,0015
<b>Bulut Noktası (°C)</b>	-3-15
<b>Akma Noktası (°C)</b>	-5-10

### 3.1.4. Biyo-dimetil Eter

Biyodimetil eter (Biyo-DME), LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı)'ye benzer özelliklere sahip olan alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Düşük karbon içerikli olduğundan çevreye zarar vermez. Tarım atıkları gibi metan ve karbondioksit içeren yenmeyen atıklardan elde edilmektedir [32]. Biyokütlenin gazlaştırılması yoluyla elde edilmektedir [33]. Yanma sırasında NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> gibi çevreye zararlı gazlar yaymadığından dolayı ulaşım sektörü ve dizel yakıtlar için umut verici olarak kabul edilmiştir [32]. Biyodimetil eterin yüksek setan sayısı, düşük tutuşma sıcaklığı ve toksik olmayan bileşik içermesi en önemli özelliklerindedir [34]. Düşük konsantrasyonlarda neredeyse hiç kokusu yoktur. Sağlığa olumsuz etkileri bulunmamaktadır. Dimetil eter, C-H ve C-O bağları bulunan ve yaklaşık %34,8 oksijen içeren gaz halindeki eter bileşimidir. DME'de C-C bağı bulunmamaktadır. Dimetil eterin özellikleri Tablo 7'de verilmiştir [34].

Tablo 7. Dimetil eterin özellikleri [34].

<b>Kimyasal formül</b>	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>3</sub>
<b>Setan sayısı</b>	55-66
<b>Düşük kalorifik sayı</b>	27600 kJ/kg
<b>Stokiyometrik hava-yakıt oranı</b>	8.9
<b>Viskozite</b>	0,15
<b>Oksijen</b>	%34,8
<b>Yoğunluk</b>	660 kg/m <sup>3</sup>
<b>Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı</b>	235 °C
<b>Kaynama noktası</b>	-25 °C

### 3.1.5. Biyoyağ

Biyoyağ, fosil yakıtlara göre temiz bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Yanma sırasında CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını oluşturmayarak daha az çevre kirliliğine yol açarlar. Fakat yüksek viskozite, su ve kül içerikleri, kararsızlık ve yüksek aşındırıcılıkları ile düşük ısıl değeri gibi dezavantajlarından dolayı sınırlı kullanımları vardır [35]. Büyük miktarda yüksek moleküler ağırlıklı oksijenatlar ve minimum miktarda olsa hidrokarbon içermektedir [36]. Biyoyağ, ısı ve enerji üretmek için kullanılan yenilenebilir bir yakıt türüdür [35]. Biyoyağlar araçlarda doğrudan yakıt olarak kullanılamazlar, petrol yakıtları ile çözücü eklenerek kullanılabilirler.

Biyoyağ, biyokütleyle flaş piroliz ve hidrotermal sıvılaştırma yöntemleri uygulanarak elde edilmektedir (Tablo 8). Flaş piroliz yöntemi, kuru biyokütlelere uygulanır. Organik bileşiklerin oksijen olmadan hızlı termal ayrışmasını içerir. Hidrotermal sıvılaştırma yöntemi ise su kaynaklı biyokütlelere uygulanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında biyokütlenin su içerisinde reaksiyona girmesi işlemidir [35].

Tablo 8. Biyoyağ üretiminde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması [35].

<p><b>Flaş Piroliz Yöntemi</b></p>	<p><b><u>Olumlu Yönleri</u></b>                      ✓450-500 °C arasında yüksek sıcaklıkta uygulanır.                      ✓Reaksiyonda yaklaşık 1 s kadar kısa kalma süresi vardır.                      ✓Atmosfer basıncında uygulanır.                      ✓İşlem sonrasında kurutma işlemi gereklidir.                      ✓Gaz fazında homojen reaksiyonlarla yağlı ürünler elde edilmektedir.                      ✓Kuru beslemede yaklaşık %80 yüksek yağ verimi vardır.                      ✓Kurulum maliyeti düşüktür.</p> <p><b><u>Olumsuz Yönleri</u></b>                      ✖Bu yöntem ile düşük yakıt kalitesi elde edilmektedir.</p>
<p><b>Hidrotermal Sıvılaştırma Yöntemi</b></p>	<p><b><u>Olumlu Yönleri</u></b>                      ✓Flaş piroliz yöntemine kıyasla 300-400 °C arasında daha düşük sıcaklıkta uygulanır.                      ✓Reaksiyonda kalma süresi (0,2-1 saat) daha uzundur.                      ✓5-20 MPa arasında yüksek basınçta uygulanır.                      ✓İşlem sonrasında kurutma işlemine gerek yoktur.                      ✓Sulu ortamda karmaşık reaksiyonlarda meydana gelir.                      ✓Yüksek ısıl değer ve düşük nem içeriğine sahip biyo-yağ elde edilir.</p> <p><b><u>Olumsuz Yönleri</u></b>                      ✖%20-60 arasında düşük yağ verimi elde edilmektedir.                      ✖İşlem için yüksek basınçlı ekipmanlar gereklidir.                      ✖Kurulum maliyeti yüksektir.</p>

### 3.1.6. Biyobütanol

Biyobütanol, biyogazolin olarak da adlandırılmaktadır. Biyobütanol, biyoetanol ile aynı enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen benzindeki oktan sayısını biyoetanolden daha fazla artırır. Bu da yakıttaki yanma performansının iyileşmesini sağlar. Ayrıca biyobütanolün düşük buhar basıncından dolayı taşınması daha kolaydır. [1].

Biyobütanol içeren biyoyakıtlar, hammaddesi şeker ve tahıl olan birinci nesil biyoyakıtlar ile hammaddesi tarım ve orman atıkları gibi yenilmeyen maddeler olan lignoselülozik malzemelerden elde edilen ikinci nesil biyoyakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil nesil biyoyakıtların hammaddesi gıda ürünleri olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir. Fakat biyobütanol içeren biyoyakıt üretiminde, yenilmeyen atıklardan elde edilen ikincil nesil biyoyakıt malzemeleri son yıllarda çok fazla talep görmektedir [8].

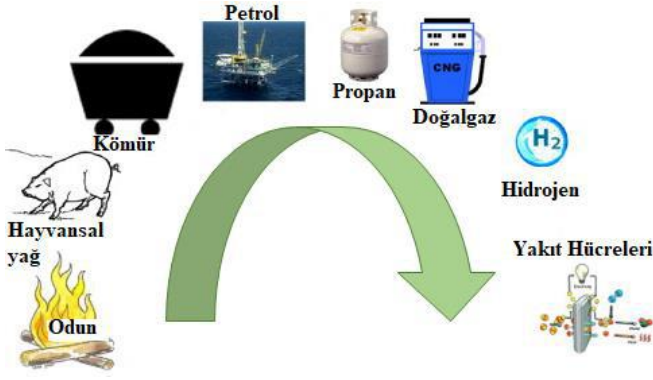
Bütanol elde etmek için genellikle okso (oxo) veya krotonaldehit (crotonaldehyde) kimyasal işlemleri uygulanır. Okso işlemi, sentez gazının (bir CO ve H<sub>2</sub> karışımı) propilen ile reaksiyona sokularak buteraldehit oluşturulması ve daha sonra bunun bütanole hidrojene edilmesi işlemidir. Krotonaldehit işleminde ise iki asetaldehit molekülü aldol yoğunlaşmasına maruz kalarak bütanol oluşturulur [37]. Bütanol yakıtı benzin ve dizel yakıtla istenilen oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Bütanolün özellikleri benzine benzediğinden, bütanol karışımli benzinle çalışan motorlarda soğuk havalarda çalışmada hiçbir sıkıntı yaşanmaz. Bütanolün taşındığı borularda korozyona neden olmaz [37]. Bütanolün kullanım alanları şu şekildedir [8, 38].

- Boyalar için çözücü olarak,
- Kauçuk üretiminde,
- Cilalarda ve temizleyicilerde katkı maddesi olarak,
- Tekstil endüstrisinde çözücü olarak,
- Benzinlere buzlanma önleyici olarak,
- Kağıt ve ince tabaka kromatografisinde,
- Selüloz nitrat için nemi giderici olarak kullanılmaktadır.

### 3.1.7. Biyohidrojen

Biyohidrojen enerjisi geleceğin enerji kaynağı olmaya aday enerji kaynaklarından biridir. Gelecekteki enerji taleplerine büyük bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Hem petrole bağımlılığı hem de hava kirliliğini azaltacaktır. Hidrojen yakıtının kullanılması sera gazları, ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınma gibi çevresel sorunların azalmasına katkıda bulunacaktır. Yanması sonucunda karbon emisyonu açığa çıkmaz, sadece su oluşur [39]. Gaz yakıtlar arasında birim ağırlık başına 143 GJ/ton ile en yüksek enerji içeriğine sahiptir [40]. Hidrojen (H<sub>2</sub>), motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojen daha çok gübre ve petrol endüstrisinde tercih edilmektedir [39]. Geçmişten günümüze insanlık tarihinde kullanılan yakıtlar Şekil 5'te verilmiştir.



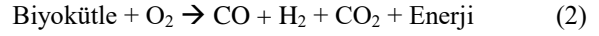


Şekil 5. Geçmişten günümüze yakıt kullanımı [39].

Hidrojen günümüzde genellikle fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Hidrojenin %40'ı doğal gazdan, %30'u ağır yağlardan, %18'i kömürden, %4'ü elektrolizden ve geri kalanı biyokütleden elde edilmektedir [41]. Hidrojen üretimi için biyolojik, termokimyasal ve elektrokimyasal yöntemler uygulanmaktadır. Biyolojik yöntem ucuz ve çevre dostu yöntem iken; termokimyasal ve elektrokimyasal yöntemler pahalı ve sürdürülebilirliği olmayan yöntemlerdir. Biyolojik yöntem ile hem atık biyokütle kaynakları kullanılmış olur hem de ucuz yöntemle enerji elde edilmiş olunur. Fakat kimyasal yöntemlerle hidrojen elde edilmesi sırasında fosil kaynaklar kullanılır [42].

Biyolojik yöntemlerle hidrojen elde etmenin birçok farklı yolu vardır. Özellikle karanlıkta (anaerobik) ve ışıkta (fotoheterotrofik) atık biyokütle kaynakları veya atıksular mikroorganizmalar tarafından fermantasyona uğrayarak biyohidrojen elde edilmektedir [42]. Anaerobik fermantasyonda mikroorganizmalar ışığa ihtiyaç duymazlar. [43]. Biyokütle kaynağı, anaerobik bakteriler yardımıyla belirli sıcaklıkta karanlık bir ortamda fermantasyona uğrattılır ve hidrojen üretilir [44]. Fotoheterotrofik fermantasyonda ise güneş ışığı kullanılarak fotosentetik bakteriler tarafından biyokütle kaynaklarından hidrojen elde edilir [42].

Biyohidrojen elde etmek için kullanılan biyokütle kaynakları şunlardır: tarımsal ürünler, odun ve odun atıkları, gıda atıkları, algler, kanalizasyon atıkları, insan ve hayvan atıkları. Biyokütlenin oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda karbonmonoksit, hidrojen, karbondioksit ve enerji açığa çıkmaktadır (Denklem 2). Çeşitli mikroorganizmalar tarafından biyokütleden hidrojen üretimi sırasında açığa çıkan ürünler Tablo 9'da verilmiştir. [39].



Tablo 9. Biyokütleden biyohidrojen üretimi [39].

<b>Heterotrofik bakteriler tarafından</b>	$\rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$
<b>Fotosentetik bakteriler tarafından</b>	$\rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$
<b>Yeşil algler tarafından</b>	$\rightarrow 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{H}_2 + 6\text{O}_2$
<b>Fototrofik bakteriler tarafından</b>	$\rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2$

### 3.1.8. Biyogaz

Biyokütle, fosil yakıtların yerini alabilecek önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [45]. Biyokütle, biyogaza dönüştürülerek güneş, su ve rüzgar gibi diğer yenilenebilir enerjilere kıyasla daha az sermaye yatırımı gerektirir [46]. Biyogaz geleceğin enerji depolanmasında önemli bir potansiyele sahiptir. Oksijensiz bir ortamda organik bir atık ayrıştırıldığında, biyogaz olarak bilinen bir gaz karışımı ( $\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}_2$ ) açığa çıkar. Biyogaz başlıca, metan (%50–75) ve karbon dioksit (%25–50), az miktarda diğer gazlar ve su buharından oluşur. Biyogaz, anaerobik çürütme işleminde mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılan karmaşık organik malzemeden üretilir. Bu işlem, enerji üretimi için insan yapımı sistemlerde (biyo reaktörlerde) yüzyıllardır kullanılmaktadır. [47-49]. Biyogaz, 5,5-7 kWh m<sup>3</sup> verim sağlayan değerli bir enerji kaynağıdır ve enerji içeriği metan içeriği ile doğrudan bağlantılıdır. Gerektiğinde yenilenebilir elektrik ve ısı kaynağı olarak kullanılabilirdiği ve depolanabileceği için gelecekteki sürdürülebilir enerji arzı senaryosundaki rolü hem farklı hem de esnek. Fosil yakıtların kullanımının azaltılmasına ve dolayısıyla  $\text{CO}_2$  emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olacaktır. Tahmini değerler, çalışmalar arasında önemli ölçüde farklılık gösterse de, atıklardan biyogaz üretme potansiyeli çok büyüktür [48, 50].

Biyogaz, biyometan konsantrasyonu %40'tan fazla olduğunda yanıcı bir karışımdır. Farklı bakteri türleri içeren bir mikrobiyal konsorsiyum kullanarak hidroliz, asetogenez ve

metanojenez olmak üzere dört aşamadan oluşan bir süreçle üretilir. Organik maddenin hidrolizi Clostridium, Cellulomonas, Bacillus, Thermomonospora, Ruminococcus, Bacteriodes, Acetovibrio ve Microbispora cinsleri dahil olmak üzere farklı bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Lactobacillus, Streptococcus, Bacillus ve Escherichia asidojenezden esas olarak sorumludur [51, 52].

Petravić-Tominac ve ark., (2020) biyogazı aşağıdaki 3 madde halinde özetlemiştir. Bunlar:

- 1) Yenilenebilir bir enerji kaynağı,
- 2) Çöplüklere veya geleneksel gübre yönetimine kıyasla havaya daha düşük metan salınımı ve
- 3) Yüksek kaliteli bir çürütücü yan ürüne sahip olmak gibi çeşitli faydaları olan sürdürülebilir bir enerji vektörüdür. Aynı zamanda gübre olarak kullanılmaktadır [53].

Kougias ve Angelidaki (2018) çalışmalarında biyogaz kullanımının avantajlarını: tarım, hayvancılık, endüstri, algler ve şehir atıklarının araştırma-geliştirme yöntemleri uygulanarak; biyogaz tesislerine, enerji üretimine, ulaşım yakıtlarına, besin dönüşümüne, katma değeri yüksek ürünlere dönüştürebilme imkanlarının sağlanacağını belirtmişlerdir [54].

#### 4. Sonuç

Biyoyakıtlar, petrol kaynaklarının tükenebilirliği ve çevre kirliliğinden dolayı alternatif bir yakıt kaynağı olmaktadır. Dünya çapında iklim değişikliğinden dolayı biyoyakıtlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Ayrıca biyoyakıtlar bir ülkenin vazgeçilmezlerinden biri olan tarım sanayisini de teşvik etmektedir.

Biyokütle kaynaklarından en verimli şekilde enerji elde edebilmek için; yenmeyen ve kullanılmayan gıda, tarım ve orman atıklarının, tarım yapılamayan düşük verimli kirlenmiş arazilerde özel olarak yetiştirilen enerji bitkilerinin, insan ve hayvan atıklarının kullanılması gerekmektedir. Biyokütle kaynağı bakımından zengin olan ülkemizde, bu kaynakların kullanılmasını yaygınlaştırmalıyız. Ülkemizdeki tarım politikalarının iyileştirilmesini sağlayarak, bioenerji kaynaklarının üretimine teşvikler verilerek gelecek yıllar için biyokütle ve biyoyakıt üretiminde süreklilik sağlayabiliriz. Ülkemizde enerji elde edilebilen tarıma verilecek destek sonucunda hem dışa bağımlılığımız oldukça azalacak hem de tarımdan geçinen çiftçilerimiz desteklenmiş olarak tarımda süreklilik sağlanacaktır.

#### Kaynakça

- [1] Stöcker, M. (2008). Biofuels and biomass-to-liquid fuels in the biorefinery: Catalytic conversion of lignocellulosic biomass using porous materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(48), 9200-9211.
- [2] Demirbas, A. (2000). Biomass resources for energy and chemical industry. *Energy Edu. Sci. Technol*, 5(1), 21-45.
- [3] Bülent İllez, Türkiye'nin enerji görünümü, biyokütle ve biyokütle enerjisi, 317-346.
- [4] Demirbas, A. 2000b. Recent advances in biomass conversion technologies. *Energy Edu.zszz Sci. Technol.*, 6: 19-40.
- [5] Jenkins, B., Baxter, L. L., Miles Jr, T. R., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology*, 54(1-3), 17-46.
- [6] Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., & Vassilev, V. S. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel*, 158, 330-350.
- [7] Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied energy*, 86, S108-S117.
- [8] Kumar, M., & Gayen, K. (2011). Developments in biobutanol production: new insights. *Applied Energy*, 88(6), 1999-2012.
- [9] Karaosmanoğlu, F. (2006). Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları. İstanbul: İTÜ Matbaası.
- [10] Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., ... & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461.
- [11] Sustainable biofuels: prospects and challenges, The Royal Society. Policy document 01/08, ISBN 978 0 85403 662 2. Reproduced with permission of the Royal Society.
- [12] Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2013). An overview of the composition and application of biomass ash.: Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges. *Fuel*, 105, 19-39.
- [13] Nigam, P. S., & Singh, A. (2011). Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in energy and combustion science*, 37(1), 52-68.
- [14] Agriculture Organization. (2008). The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels: prospects, risks and opportunities, Food & Agriculture Org., Vol. 38.
- [15] Sims, R. E., Mabee, W., Saddler, J. N., & Taylor, M. (2010). An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource technology*, 101(6), 1570-1580.
- [16] Bacovsky, D., Dallos, M., Wörgetter, M., & Task, I. B. (2010). Status of 2nd generation biofuels demonstration facilities in June 2010. IEA Bioenergy Task 39: Commercializing 1st and 2nd generation liquid biofuels from biomass, 39, 1-126.
- [17] Zabanitout, A., Ioannidou, O., & Skoulou, V. (2008). Rapeseed residues utilization for energy and 2nd generation biofuels. *Fuel*, 87(8-9), 1492-1502.
- [18] EİE. (2021). Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Retrieved November 23, 2021, from <https://bepa.enerji.gov.tr/>
- [19] İEA. (2021). Biyoyakıt ve biyokütle kaynaklarından elektrik üretimi, Türkiye 2010-2020, Uluslararası Enerji Ajansı. Retrieved November 23, 2021, from <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>
- [20] Bengisu, G. (2014). Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 27(2), 43-52.
- [21] Demirbaş, A. (2005). Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass. *Energy sources*, 27(4), 327-337.
- [22] Mussatto, S. I., Dragone, G., Guimarães, P. M., Silva, J. P. A., Carneiro, L. M., Roberto, I. C., ... & Teixeira, J. A. (2010). Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology advances*, 28(6), 817-830.
- [23] Methanol. (2021). Retrieved November 24, 2021, from <https://www.methanol.org/about-methanol/>
- [24] Ng, K. S., & Sadhukhan, J. (2011). Process integration and economic analysis of bio-oil platform for the production of methanol and combined heat and power. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1153-1169.
- [25] Pérez-Fortes, M., Schöneberger, J. C., Boulamanti, A., & Tzimas, E. (2016). Methanol synthesis using captured CO2 as raw material: Techno-economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 161, 718-732.
- [26] Archive. (2021). Retrieved November 24, 2021, from <https://web.archive.org/web/20171017004604/https://www.socalgas.com/smart-energy/benefits-of-natural-gas/renewable>
- [27] Shamsul, N. S., Kamarudin, S. K., Rahman, N. A., & Kofli, N. T. (2014). An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 578-588.
- [28] Demirbas, A. (2008). Biodiesel. Springer London, 111-119.
- [29] Dağdelen, 2015. Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi, AB Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [30] AFDC Energy Retrieved. (2022). February 17, 2022, from Energy Efficiency and Renewable Energy, Biodiesel Fuel Basics. [https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel\\_basics.html](https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_basics.html)
- [31] Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S., & Kalligeros, S. (2009). Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters. *Energies*, 2(2), 362-376.

- [32] Panigrahy, S., & Mishra, S. C. (2018). The combustion characteristics and performance evaluation of DME (dimethyl ether) as an alternative fuel in a two-section porous burner for domestic cooking application. *Energy*, 150, 176-189.
- [33] Öhrman, O. G., & Pettersson, E. (2013). Dewatering of biomass using liquid bio dimethyl ether. *Drying Technology*, 31(11), 1267-1273.
- [34] Ying, W., Longbao, Z., & Wei, L. (2010). Effects of DME pilot quantity on the performance of a DME PCCI-DI engine. *Energy conversion and management*, 51(4), 648-654.
- [35] Xiu, S., & Shahbazi, A. (2012). Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4406-4414.
- [36] Jacobson, K., Maheria, K. C., & Dalai, A. K. (2013). Bio-oil valorization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 91-106.
- [37] Ranjan, A., & Moholkar, V. S. (2012). Biobutanol: science, engineering, and economics. *International Journal of Energy Research*, 36(3), 277-323.
- [38] Durre, P. (2007). Biobutanol: an attractive biofuel. *Biotechnol. J.*, 2, 1525-1534.:
- [39] Kotay, S. M., & Das, D. (2008). Biohydrogen as a renewable energy resource—prospects and potentials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(1), 258-263.
- [40] Boyles, D. T. (1984). *Bio-energy: Technology, Thermodynamics, and Costs* (Vol. 1, No. 624). Ellis Horwood.
- [41] Genç, N. (2009). Biyolojik hidrojen üretim prosesleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 17-36.
- [42] Dursun, N., & Gülşen, H. (2019). Biyohidrojen Üretim Yöntemleri ve Biyohidrojen Üretiminde Biyoreaktörlerin Kullanımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(1), 66-75.
- [43] Şentürk, İ., & Büyükgüngör, H. (2015). Anaerobik fermentasyonla biyohidrojen üretim verimine etki eden faktörler. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 171-186.
- [44] Hosseini SE, Wahid MA, 2016. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 850-866.
- [45] De Souza, S. N., Santos, R.F., & Fracaro, G.P. (2011). Potential for the production of biogas in alcohol and sugar cane plants for use in urban buses in the Brazil. *World Renewable Energy Congress-Sweden; Linköping University Electronic Press, Linköping; Sweden*, 418.
- [46] Rao, P. V., Baral, S. S., Dey, R. and Mutnuri, S. (2010). Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(7), 2086-2094.
- [47] Villadsen, S. N., Fosbøl, P. L., Angelidaki, I., Woodley, J. M., Nielsen, L. P., & Møller, P. (2019). The potential of biogas; the solution to energy storage. *ChemSusChem*, 12(10), 2147-2153.
- [48] Plugge, C. M. (2017). Biogas. *Microbial biotechnology*, 10(5), 1128-1130.
- [49] Biogas Renewable Energy. (2022). Retrieved February 17, 2021, from <https://www.biogas-renewable-energy.info/>
- [50] Biogas. (2022). Retrieved February 17, 2022, from <https://www.europeanbiogas.eu/biogas-a-necessary-solution-to-foster-eus-energy-transition/>
- [51] Parsaee, M., Kiani, M. K. D., & Karimi, K. (2019). A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and bioenergy*, 122, 117-125.
- [52] Christy, P. M., Gopinath, L. R., & Divya, D. (2014). review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 167-173.
- [53] Petračić-Tominac, V., Nastav, N., Buljubašić, M. & Šantek, B. (2020). Current state of biogas production in Croatia. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1-10.
- [54] Kougiyas, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities-A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(3), 1-12.



# Betonarme Kolon Eğrilik Sünekliliğinin 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre İncelenmesi

Abdullah Gündoğay<sup>1\*</sup>, Ahmet Kubilay Aksakal<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5355-9014), [abdullahgundogay@sdu.edu.tr](mailto:abdullahgundogay@sdu.edu.tr)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0866-9310), [ahmetaksakal@sdu.edu.tr](mailto:ahmetaksakal@sdu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079707)

**ATIF/REFERENCE:** Gündoğay, A. & Aksakal, A. K. (2022). Betonarme Kolon Eğrilik Sünekliliğinin 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 202-210.

## Öz

Deprem etkisi altında betonarme binaların şekildeğiştirmeye göre değerlendirilmesi ve tasarımında, taşıyıcı sistem elemanlarının kesit davranışının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bir kesitin davranışını ise gerçeğe en yakın moment-eğrilik ilişkisinden elde edilebilmektedir. Betonarme bir kesitin moment-eğrilik ilişkisini elde etmenin en uygun yolu deney yapmaktır. Ancak bu durum pratik ve ekonomik olmadığından dolayı literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilmiş olan beton ve donatı çeliğinin davranışına ait modellerden yararlanılarak moment-eğrilik ilişkisi analitik olarak elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY, 2018) göre betonarme kare kolonun moment-eğrilik ilişkisi elde edilerek beton basınç dayanımının, eksenel yük, boyuna donatı çapının, enine donatı aralığının ve kol sayısının kolon eğrilik sünekliliğine etkisi karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Bu amaçla kare kolonun özellikleri ve değişken parametreleri her iki deprem yönetmeliği sınır şartlarına uygun olarak seçilmiştir. Her iki deprem yönetmeliğine göre gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramları elde edilerek SAP2000 programına aktarılmış ve 384 adet moment-eğrilik analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda TBDY (2018)'e göre hesaplanan eğrilik sünekliliği değerleri, DBYBHY (2007)'ye göre ortalama %15 daha az elde edilmiştir. TBDY (2018)'e göre eğrilik sünekliliği değerleri, kesitin güç tükenmesine donatının kapasitesine erişmesiyle ulaşıldığında DBYBHY (2007)'ye kıyasla %20-21, betonun kapasitesine erişmesiyle ulaşıldığında ise %9-19 arasında daha az olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme, Kolon, Sargılı Beton Modeli, Moment-Eğrilik, Eğrilik Sünekliliği.

## Investigation of Curvature Ductility on Reinforced Concrete Column According to 2007 and 2018 Earthquake Codes

### Abstract

It is of great importance to determine the cross-sectional behavior of structural system elements in the evaluation and design of reinforced concrete buildings in terms of deformation under the influence of earthquakes. The behavior of a cross-section can be obtained from the moment-curvature relationship that is the closest to reality. The most convenient way to obtain the moment-curvature relationship of a reinforced concrete section is to perform experiment. However, since this method is not practical and economical, the moment-curvature relationship can be obtained analytically by using the models that belong to the behavior of concrete and steel obtained by various researchers in the literature. Within the scope of this study, the effect of concrete compressive strength, axial load, longitudinal reinforcement diameter, transverse reinforcement spacing and the number of ties on column curvature ductility was investigated comparatively by obtaining the moment-curvature relationship of the reinforced concrete square column according to the Turkish Earthquake Code (TEC, 2007) and the Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2018). For this purpose, the properties and

\* Sorumlu Yazar: [abdullahgundogay@sdu.edu.tr](mailto:abdullahgundogay@sdu.edu.tr)

variable parameters of the square column were selected in accordance with the boundary conditions of both earthquake codes. According to both earthquake codes, stress-strain diagrams were obtained and transferred to the SAP2000 program and 384 moment-curvature analysis were performed. As a result of the analysis performed, the curvature ductility values calculated according to the TBEC (2018) were obtained on average 15% less than the values calculated according to the TEC (2007). According to the TBEC (2018), compared to the TEC (2007), it has been seen that the curvature ductility values are 20-21% lower when failure of the cross-section is reached by the reinforcement reaching its capacity, and are 9-19% less when the concrete reaches its capacity.

**Keywords:** Reinforced Concrete, Column, Confined Concrete Model, Moment-Curvature, Curvature Ductility.

## 1. Giriş

Betonarme binaların deprem etkisi altındaki doğrusal elastik olmayan davranışının gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yöntemlerinin tercih edildiği çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (İnel ve ark., 2006; İnel ve ark. 2007; Gündoğay ve Tekeli, 2018; Gündoğay ve ark., 2019; Dilmaç, 2021; İbiş ve Ulutaş, 2021).

Ülkemizde şekil değiştirmeye göre değerlendirme yönteminden ilk olarak 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'te bilgi verilmiştir. 2019 yılında ise revize edilerek Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) olarak yürürlüğe girmiş ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yönteminin detayları verilmiştir. Yeni deprem yönetmeliğiyle birlikte yapılan değişikliklerin etkisi literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Keskin ve Bozdoğan, 2018; Dalyan ve Şahin, 2019; Kadaş ve ark., 2019; Ulutaş, 2019; Karaca ve ark., 2020; Sarı ve Ulutaş, 2021; Özşahin, 2021; Aksoyulu ve Arslan, 2021).

Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımın yapılabilmesi için en önemli hususlardan biri taşıyıcı sistem elemanlarının kesit davranışının belirlenmesidir. Bir kesitin gerçeğe en yakın davranışını moment-eğrilik ilişkisi ile elde edilebilmektedir.

Literatürde, taşıyıcı sistem elemanlarının moment-eğrilik ilişkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Örneğin; Kaltakçı ve ark. (2001), betonarme kiriş elemanların moment-eğrilik ilişkisi için kabuk betonunun ezilmesini, donatıdaki pekleşmeyi, göbek betonu için sargılama etkisini ve gerçekçi malzeme modellerini dikkate alan Fortran dilinde program hazırlamışlardır.

Bedirhanoglu ve İlki (2004) yaptıkları çalışmada, 3 farklı beton modelini kullanarak betonarme kesitler için analitik moment-eğrilik ilişkilerini elde etmişler ve literatürdeki deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır. Beton basınç dayanımı, eksenel yük, enine donatı miktarı ve düzeni için parametrik çalışma da yapmışlardır. Analitik ve deneysel moment-eğrilik ilişkilerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Çağlar ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada eşit enkesit alanına sahip kare, dikdörtgen ve dairesel betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkisi XTRACT programı kullanılarak eksenel yük, beton basınç dayanımı, enine ve boyuna donatı oranları için incelenmiştir.

Meral (2018) yaptığı çalışmada, 4 adet dikdörtgen kolon kesiti için değişken parametreler dikkate alarak kolonların uzun doğrultuları için moment-eğrilik analizlerini yapmış ve eğrilik sünekliğini araştırmıştır. Çoklu regresyon analizi ile süneklik denklemi elde etmiş ve bu denklemi kullanarak eğrilik sünekliğini yaklaşık %15 farkla hesaplamıştır.

Demir ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, dairesel ve dikdörtgen betonarme kolonlar için farklı beton basınç dayanımı, eksenel yük seviyesi, enine ve boyuna donatı oranlarının akma eğriliğine olan etkileri XTRACT programı kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçları TBDY (2018)'de verilen ampirik formüllerle hesaplanan akma eğrilik değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu formüllerin kolon kesit yüksekliğine/çapına bağlı olarak akma eğriliğini hesapladığı ve değişken parametrelerin etkisini dikkate almadığı görülmüştür.

Dok ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, DBYBHY (2007)'ye göre tasarlanan perde duvarların moment-eğrilik ilişkisini XTRACT programı kullanılarak incelenmiştir.

Kiracı ve ark. (2010), betonarme kiriş elemanların eğrilik sünekliğini ve sünekliği etkileyen parametreleri araştırmıştır. Kirişlerin moment-eğrilik analizleri için SEMAp programını kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara dayanarak betonarme kiriş elemanlar için süneklik denklemi önermişlerdir.

Foroughi ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, enine donatı ve eksenel yük oranlarının kolon eğrilik sünekliğine ve etkin kesit rijitliğine etkisi araştırılmıştır. Her iki parametrenin de kolonların moment-eğrilik ilişkisinde etkili olduğu görülmüştür.

Yüksel ve Foroughi (2020), betonarme dairesel kolon için SAP2000 programından elde ettikleri moment-eğrilik ilişkileri üzerinden kesitin çekirdek ile kabuk betonundaki çatlama ve kırılmayı, donatıda ise akma ve pekleşmeyi değişken parametreler için hesaplamışlardır.

Foroughi ve Yüksel (2020), SAP2000 programında analizlerini yaptıkları kare, dairesel ve dikdörtgen betonarme kolon kesitlerinin eğrilik sünekliğini ve moment kapasitelerini eksenel yük, boyuna donatı çapı, enine donatı çapı ve aralığı için incelemiştir.

Literatürde genel olarak taşıyıcı sistem elemanlarının moment-eğrilik ilişkisi farklı programlar kullanılarak elde edildiği ve değişken parametrelerin etkisinin incelendiği çalışmalara rastlanmaktadır. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'in kıyaslandığı çalışmalarda ise eğrilik sünekliğinin kıyaslamalı olarak incelenmediği görülmektedir. Bu çalışmada DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) kolon eğrilik sünekliği açısından kıyaslanmıştır. Bu kapsamda kesit özellikleri her iki deprem yönetmeliği şartlarına uygun betonarme kare kolonun eksenel yük, beton basınç dayanımı, boyuna donatı çapı, enine donatı aralığı ve kol sayısının parametrelerine bağlı olarak gerilme-birim şekil değiştirmeye diyagramları elde edilmiştir. Elde edilen gerilme-birim şekil değiştirmeye diyagramları SAP2000 programına aktarılarak moment-eğrilik analizleri yapılmıştır. İncelenen parametrelerin kolon eğrilik sünekliğine etkisi değerlendirilmiş ve her iki deprem yönetmeliğine göre elde edilen sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının eğilme etkisindeki kesit davranışının gerçeğe yakın olarak elde edilebilmesi için beton ve donatı çeliğinin doğrusal elastik olmayan davranışının moment-eğrilik analizlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Bunun için literatürde geliştirilmiş birçok malzeme modeli bulunmaktadır. Çalışmada yapılan moment-eğrilik analizlerinde DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de verilen malzeme modelleri dikkate alınmıştır. Betonarme kare kolonun kesit özellikleri TS 500 (2000), DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de verilen sınır koşulları sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

### 2.1. Malzeme Modelleri

#### 2.1.1. Beton Modeli

DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de sargılı ve sargısız betonun doğrusal elastik olmayan davranışı için verilen gerilme-birim şekil değiştirme bağıntıları aşağıda verildiği şekliyle tanımlanmaktadır. Sargılı betonda beton basınç gerilmesi ( $f_c$ ), beton basınç birim şekil değiştirilmesi ( $\epsilon_c$ )'nin fonksiyonu olarak Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (1)$$

Denklem 1'de verilen  $f_{cc}$ , sargılı beton dayanımını;  $x$ , şekil değiştirmeye bağlı değişkeni;  $r$  ise elastisite modülüne bağlı değişkeni temsil etmektedir. Sargılı beton dayanımı ( $f_{cc}$ ) ile sargısız beton) dayanımı ( $f_{co}$ ) arasındaki ilişki aşağıda verilmektedir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (2)$$

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_c}{f_{co}}} - 2 \frac{f_c}{f_{co}} - 1.254 \quad (3)$$

Denklem 3'te verilen  $f_c$ , etkili sargılama basıncını temsil etmektedir. Etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Denklem 4 ile verilen değerlerin ortalaması olarak alınmaktadır.

$$f_{cx} = k_c \rho_x f_{yw} \quad , \quad f_{cy} = k_c \rho_y f_{yw} \quad (4)$$

Denklem 4'te verilen  $k_c$ , sargılama etkinlik katsayısını;  $\rho_x$  ve  $\rho_y$ , ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranını;  $f_{yw}$ , ise enine donatının akma dayanımını temsil etmektedir. Sargılama etkinlik katsayısı Denklem 5 ile elde edilmektedir.

$$k_c = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (5)$$

Denklem 5'te verilen  $a_i$ , kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığını;  $b_o$  ve  $h_o$ , göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını;  $s$ , etriye aralığını;  $A_s$  ise boyuna donatı alanını temsil etmektedir.

Denklem 1'de verilen normalize edilmiş beton birim şekil değiştirilmesi  $x$  ve  $r$  değişkenlerine ilişkin bağıntılar sırasıyla Denklem 6 ve Denklem 7'de verilmektedir.

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad , \quad \epsilon_{cc} = \epsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad , \quad \epsilon_{co} \cong 0.002 \quad (6)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad , \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \quad , \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (7)$$

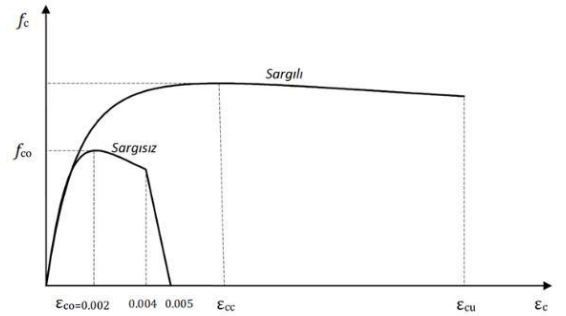
Denklem 7'de verilen  $E_c$ , betonun elastisite modülünü temsil etmektedir. Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirilmesi ( $\epsilon_{cu}$ ) DBYBHY (2007) için Denklem 8, TBDY (2018) için ise Denklem 9 kullanılarak elde edilmektedir.

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (8)$$

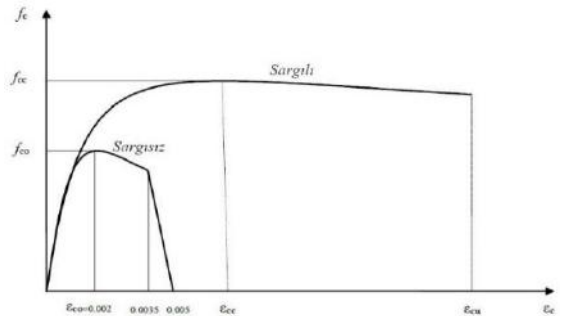
$$\epsilon_{cu} = 0.035 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (9)$$

Denklem 8-9'da verilen  $\rho_s$ , toplam enine donatının hacimsel oranını (dikdörtgen kesitler için  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$ );  $\epsilon_{su}$  ise donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirilmesini temsil etmektedir.

Sargılı beton dayanımı için verilen Denklem 1, DBYBHY (2007)'de  $\epsilon_c = 0.004$ 'e kadar, TBDY (2018)'de ise  $\epsilon_c = 0.0035$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı  $f_c = 0$  ve buna bağlı olarak Denklem 3'ten hesaplanan  $\lambda_c = 1$  olacağından dolayı Denklem 6-7'de  $f_{cc} = f_{co}$  ve  $\epsilon_{cc} = \epsilon_{co}$  alınır. DBYBHY (2007) için  $0.004 < \epsilon_c \leq 0.005$  aralığında, TBDY (2018) için ise  $0.0035 < \epsilon_c \leq 0.005$  aralığında gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi doğrusal olur ve  $\epsilon_c = 0.005$ 'de  $f_c = 0$  tanımlanır (Şekil 1).



(a) DBYBHY (2007)



(b) TBDY (2018)

Şekil 1. Sargılı ve sargısız beton modelinin gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları

#### 2.1.2. Donatı Çeliği Modeli

DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de donatı çeliği için gerilme-birim şekil değiştirme bağıntıları Denklem 10-12'deki ifadelerle tanımlanmaktadır.

$$f_s = E_s \epsilon_s \quad (\epsilon_s \leq \epsilon_{sy}) \quad (10)$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\epsilon_{sy} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}) \quad (11)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2} \quad (\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}) \quad (12)$$

Denklem 10-12'de verilen  $f_s$ , donatı çeliğinin gerilmesini;  $f_{sy}$ , donatı çeliğinin akma dayanımını;  $f_{su}$ , donatı çeliğinin kopma

dayanımını;  $\epsilon_s$ , donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_{sy}$ , donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_{sh}$ , donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_{su}$ , donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesini;  $E_s$  ise donatı çeliğinin elastisite modülünü temsil etmektedir. Donatı çeliğinin elastisite modülü değeri  $E_s=2 \times 10^5$  MPa'dır.

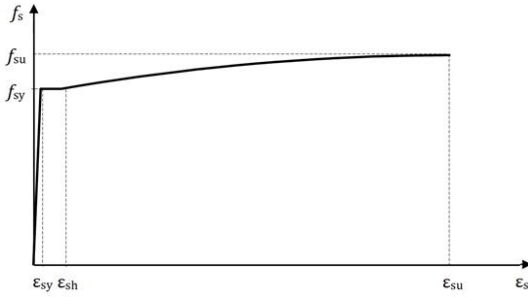
DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de donatı çeliklerine ait verilen diğer bilgiler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de, gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. DBYBHY (2007)'de donatı çeliğinin malzeme özellikleri

Kalite	$f_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}$ (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

Tablo 2. TBDY (2018)'de donatı çeliğinin malzeme özellikleri

Kalite	$f_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}$ (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	1.15-1.35
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15-1.35



Şekil 2. Donatı çeliğinin gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramı (DBYBHY, 2007; TBDY, 2018)

## 2.2. Kesit Özellikleri

Çalışma kapsamında moment-eğrilik analizleri yapılan betonarme kare kolonun kesit özellikleri TS 500 (2000), DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de verilen sınır değerler dikkate alınarak belirlenmiştir (Tablo 3).

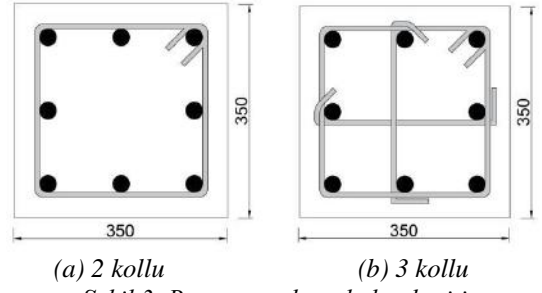
Tablo 3. TS 500 (2000), DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)

Sınır Değerler	TS 500 (2000)	DBYBHY (2007)	TBDY (2018)
$b_{min}$ (mm)	250	250	300
$c_c$ (mm)	20 - 25	-	-
$f_{ck}$ (MPa)	16 - 50	20 - 50	25 - 80
$N_d$	$\leq 0.6A_c f_{ck}$	$\leq 0.5A_c f_{ck}$	$\leq 0.4A_c f_{ck}$
$\phi_{boyuna}$ (mm)	14	14	14
$\rho_{boyuna}$ (%)	1 - 4	1 - 4	1 - 4
$\phi_{enine}$ (mm)	$\phi_{max}/3$	8	8
$s$ (mm)	$< 12\phi_{boyuna}$ $< 200$	$\leq b_{min}/3$ $50 \leq s \leq 100$	$\leq b_{min}/3$ $50 \leq s \leq 150$

Tablo 3'te verilen  $b_{min}$ , minimum kesit boyutunu;  $c_c$ , net beton örtüsünü;  $f_{ck}$ , beton basınç dayanımını;  $N_d$ , eksenel kuvvet değerini;  $\phi_{boyuna}$ , minimum boyuna donatı çapını;  $\rho_{boyuna}$ , boyuna donatı oranını;  $\phi_{enine}$ , enine donatı çapını;  $s$  ise enine donatı aralığını temsil etmektedir.

e-ISSN: 2148-2683

Kare kolon kesiti 350x350 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Kesite ait parametrelerin dağılımı Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Betonarme kare kolon kesiti

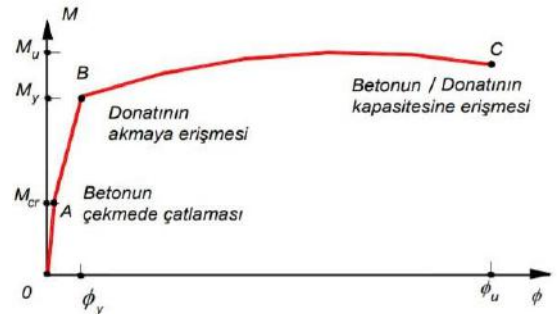
Tablo 4. Kesit özellikleri ve parametreler

Parametreler	Kesit Özellikleri
$b, h$ (mm)	350 x 350
$c_c$ (mm)	25
$f_{ck}$ (MPa)	30 - 40 - 50
Donatı Kalitesi	S420
$N_d$ (kN)	367.5 - 735 - 1102.5 - 1470
$\rho_{boyuna}$ (%)	1 - 2 - 3 - 4
Boyuna Donatı Adedi-Çapı	8 $\phi$ 14 - 8 $\phi$ 20 - 8 $\phi$ 24 - 8 $\phi$ 28
$\phi_{enine}$ (mm)	8
$s$ (mm)	50 - 150
Etriye Kol Sayısı	2 - 3

Tablo 4 incelendiğinde boyuna donatı çapları, minimum ve maksimum boyuna donatı oranlarına göre belirlenmiştir. Eksenel yük değerleri, tüm kesitlerde eksenel yük oranını aşmayacak şekilde dikkate alındığından dolayı 30 MPa beton basınç dayanımının kullanıldığı kesit için %10, %20, %30 ve %40 eksenel yük oranlarına göre belirlenmiştir.

## 2.3. Moment-Eğrilik

Betonarme bir kesitin eğilme davranışı hakkında gerçeğe en yakın moment-eğrilik ilişkisi üzerinden fikir sahibi olunarak yorumlanabilir (Şekil 4). Kesitin moment-eğrilik ilişkisi üzerinden rijitlik, dayanım, süneklik, vb. değerleri hesaplanabilir. Kesitin özelliklerine göre değişen bu değerler kesitin davranışı hakkında bilgi verir.



Şekil 4. Betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisi (Celep, 2013)

Şekil 4'te verilen  $M_{cr}$ , kesitte çatlama oluşturan eğilme momentini;  $M_y$ , kesitin akma momentini;  $M_u$ , kesitin eğilme momenti taşıma kapasitesini;  $\phi_y$ , akma eğriliğini;  $\phi_u$  ise güç tükenmesi eğriliğini temsil etmektedir. Eğrilik sünekliği, kesitin güç tükenmesi anındaki eğriliğin, çekme donatısının aktığı andaki eğriliğe oranı olarak tanımlanır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (13)$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada 350x350 mm kesit boyutlarındaki betonarme kare kolonun eğrilik sünekliği değeri aksenal yük, beton basınç dayanımı, boyuna donatı çapı, enine donatı aralığı ve kol sayısı parametreleri için DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'e göre

kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Her iki deprem yönetmeliğine göre beton ve donatı malzemelerinin gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramları hesaplanarak SAP2000 programına aktarılmış ve moment-eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen akma eğriliği, güç tükenmesi eğriliği ve eğrilik sünekliği değerleri DBYBHY (2007) için Tablo 5'te, TBDY (2018) için ise Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. DBYBHY (2007)'ye göre analiz sonuçları

Kesit Adı	N=367.5 kN			N=735.0 kN			N=1102.5 kN			N=1470.0 kN		
	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$
K30-14-50-2	0.0111	0.3973	35.79	0.0127	0.2789	21.96	0.0144	0.2042	14.18	0.0164	0.1601	9.76
K30-14-50-3	0.0111	0.3761	33.88	0.0126	0.4148	32.92	0.0142	0.3270	23.03	0.0116	0.2582	16.14
K30-14-150-2	0.0110	0.1698	15.44	0.0127	0.1052	8.28	0.0145	0.0790	5.45	0.0160	0.0662	4.14
K30-14-150-3	0.0111	0.2496	22.49	0.0127	0.1578	12.43	0.0145	0.1142	7.88	0.0162	0.0945	5.83
K30-20-50-2	0.0119	0.3328	27.97	0.0134	0.2398	17.90	0.0149	0.1868	12.54	0.0164	0.1560	9.51
K30-20-50-3	0.0119	0.4041	33.96	0.0133	0.3674	27.62	0.0147	0.2878	19.58	0.0163	0.2355	14.45
K30-20-150-2	0.0118	0.1340	11.36	0.0133	0.0914	6.87	0.0150	0.0770	5.13	0.0161	0.0678	4.21
K30-20-150-3	0.0119	0.1901	15.97	0.0134	0.1353	10.10	0.0149	0.1027	6.89	0.0163	0.0932	5.72
K30-24-50-2	0.0125	0.2834	22.67	0.0138	0.2169	15.72	0.0152	0.1732	11.39	0.0165	0.1535	9.30
K30-24-50-3	0.0124	0.4154	33.50	0.0137	0.3242	23.66	0.0150	0.2628	17.52	0.0166	0.2202	13.27
K30-24-150-2	0.0124	0.1150	9.27	0.0138	0.0833	6.04	0.0153	0.0759	4.96	0.0162	0.0687	4.24
K30-24-150-3	0.0125	0.1633	13.06	0.0138	0.1210	8.77	0.0153	0.1002	6.55	0.0163	0.0928	5.69
K30-28-50-2	0.0131	0.2442	18.64	0.0143	0.1969	13.77	0.0156	0.1600	10.26	0.0165	0.1511	9.16
K30-28-50-3	0.0130	0.3556	27.35	0.0142	0.2875	20.25	0.0154	0.2407	15.63	0.0168	0.2052	12.21
K30-28-150-2	0.0130	0.0983	7.56	0.0143	0.0810	5.66	0.0157	0.0751	4.78	0.0163	0.0692	4.25
K30-28-150-3	0.0131	0.1415	10.80	0.0143	0.1085	7.59	0.0156	0.0983	6.30	0.0164	0.0924	5.63
K40-14-50-2	0.0106	0.3844	36.26	0.0119	0.2653	22.29	0.0132	0.1946	14.74	0.0146	0.1530	10.48
K40-14-50-3	0.0107	0.3720	34.77	0.0120	0.3983	33.19	0.0132	0.3194	24.20	0.0146	0.2530	17.33
K40-14-150-2	0.0105	0.1697	16.16	0.0118	0.1062	9.00	0.0131	0.0762	5.82	0.0146	0.0631	4.32
K40-14-150-3	0.0106	0.2445	23.07	0.0119	0.1545	12.98	0.0132	0.1119	8.48	0.0146	0.0876	6.00
K40-20-50-2	0.0114	0.3127	27.43	0.0126	0.2254	17.89	0.0138	0.1764	12.78	0.0151	0.1422	9.42
K40-20-50-3	0.0114	0.3888	34.11	0.0126	0.3548	28.16	0.0137	0.2788	20.35	0.0150	0.2296	15.31
K40-20-150-2	0.0113	0.1328	11.75	0.0125	0.0913	7.30	0.0137	0.0707	5.16	0.0150	0.0627	4.18
K40-20-150-3	0.0113	0.1860	16.46	0.0125	0.1317	10.54	0.0137	0.1007	7.35	0.0151	0.0843	5.58
K40-24-50-2	0.0119	0.2652	22.29	0.0130	0.2037	15.67	0.0142	0.1639	11.54	0.0154	0.1349	8.76
K40-24-50-3	0.0119	0.3971	33.37	0.0130	0.3116	23.97	0.0141	0.2524	17.90	0.0153	0.2133	13.94
K40-24-150-2	0.0118	0.1138	9.64	0.0129	0.0826	6.40	0.0141	0.0688	4.88	0.0154	0.0624	4.05
K40-24-150-3	0.0119	0.1584	13.31	0.0130	0.1179	9.07	0.0141	0.0927	6.57	0.0154	0.0826	5.36
K40-28-50-2	0.0125	0.2269	18.15	0.0135	0.1835	13.59	0.0146	0.1505	10.31	0.0157	0.1296	8.25
K40-28-50-3	0.0125	0.3386	27.09	0.0135	0.2748	20.36	0.0145	0.2305	15.90	0.0156	0.1989	12.75
K40-28-150-2	0.0124	0.0971	7.83	0.0134	0.0744	5.55	0.0145	0.0669	4.61	0.0157	0.0616	3.92
K40-28-150-3	0.0124	0.1365	11.01	0.0135	0.1051	7.79	0.0145	0.0869	5.99	0.0157	0.0814	5.18
K50-14-50-2	0.0103	0.3780	36.70	0.0114	0.2503	21.96	0.0125	0.1841	14.73	0.0136	0.1451	10.67
K50-14-50-3	0.0104	0.3697	35.55	0.0115	0.3866	33.62	0.0126	0.3114	24.71	0.0137	0.2462	17.97
K50-14-150-2	0.0102	0.1656	16.24	0.0113	0.1043	9.23	0.0124	0.0753	6.07	0.0135	0.0603	4.47
K50-14-150-3	0.0103	0.2372	23.03	0.0114	0.1517	13.31	0.0125	0.1097	8.78	0.0136	0.0860	6.32
K50-20-50-2	0.0110	0.2958	26.89	0.0120	0.2133	17.78	0.0130	0.1669	12.84	0.0141	0.1354	9.60
K50-20-50-3	0.0110	0.3846	34.96	0.0121	0.3427	28.32	0.0131	0.2713	20.71	0.0141	0.2229	15.81
K50-20-150-2	0.0109	0.1292	11.85	0.0119	0.0900	7.56	0.0129	0.0685	5.31	0.0140	0.0590	4.21
K50-20-150-3	0.0109	0.1808	16.59	0.0120	0.1290	10.75	0.0130	0.0985	7.58	0.0140	0.0792	5.66
K50-24-50-2	0.0115	0.2504	21.77	0.0125	0.1918	15.34	0.0134	0.1550	11.57	0.0144	0.1284	8.92
K50-24-50-3	0.0116	0.3862	33.29	0.0125	0.3004	24.03	0.0135	0.2452	18.16	0.0145	0.2069	14.27
K50-24-150-2	0.0114	0.1105	9.69	0.0124	0.0812	6.55	0.0133	0.0642	4.83	0.0143	0.0581	4.06
K50-24-150-3	0.0115	0.1535	13.35	0.0124	0.1151	9.28	0.0134	0.0905	6.75	0.0144	0.0764	5.31
K50-28-50-2	0.0121	0.2138	17.67	0.0130	0.1732	13.32	0.0139	0.1435	10.32	0.0148	0.1205	8.14
K50-28-50-3	0.0121	0.3264	26.98	0.0130	0.2650	20.38	0.0139	0.2220	15.97	0.0148	0.1916	12.95
K50-28-150-2	0.0120	0.0951	7.93	0.0129	0.0734	5.69	0.0138	0.0623	4.51	0.0147	0.0574	3.90
K50-28-150-3	0.0120	0.1319	10.99	0.0129	0.1028	7.97	0.0138	0.0834	6.04	0.0148	0.0746	5.04



Tablo 5 ve Tablo 6’da kesit adlarının tanımlanmasında K harfi “Kesit” ifadesinin kısaltmasını, K harfinden sonra gelen rakamlar sırasıyla beton dayanımını (MPa), boyuna donatı çapını (mm), enine donatı aralığını (mm) ve etriye kol sayısını göstermektedir. Tablo 5 ve Tablo 6’da eğrilik sünekliği

değerlerinde, kırmızı renk ile kesitin güç tükenmesine donatının kapasitesine erişmesiyle ulaşıldığını, siyah renk ile ise kesitin güç tükenmesine betonun kapasitesine erişmesiyle ulaşıldığını temsil etmektedir.

Tablo 6. TBDY (2018)’ye göre analiz sonuçları

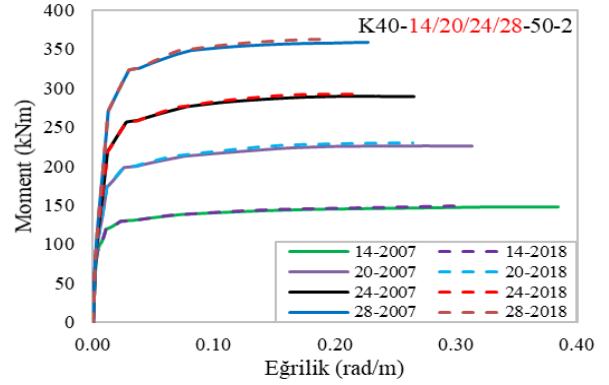
Kesit Adı	N=367.5 kN			N=735.0 kN			N=1102.5 kN			N=1470.0 kN		
	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$	$\phi_u$ (rad/m)	$\phi_y$ (rad/m)	$\mu$
K30-14-50-2	0.0111	0.3152	28.40	0.0127	0.2340	18.43	0.0144	0.1719	11.94	0.0164	0.1346	8.21
K30-14-50-3	0.0111	0.3024	27.24	0.0126	0.3310	26.27	0.0142	0.2679	18.87	0.0160	0.2116	13.23
K30-14-150-2	0.0111	0.1473	13.27	0.0127	0.0914	7.20	0.0145	0.0678	4.68	0.0160	0.0565	3.53
K30-14-150-3	0.0111	0.2122	19.12	0.0127	0.1336	10.52	0.0145	0.0969	6.68	0.0162	0.0796	4.91
K30-20-50-2	0.0119	0.2756	23.16	0.0134	0.1995	14.89	0.0149	0.1550	10.40	0.0164	0.1289	7.86
K30-20-50-3	0.0119	0.3232	27.16	0.0133	0.2990	22.48	0.0147	0.2348	15.97	0.0164	0.1932	11.78
K30-20-150-2	0.0118	0.1158	9.81	0.0133	0.0792	5.95	0.0150	0.0655	4.37	0.0161	0.0572	3.55
K30-20-150-3	0.0119	0.1607	13.50	0.0134	0.1136	8.48	0.0149	0.0865	5.81	0.0163	0.0777	4.77
K30-24-50-2	0.0125	0.2343	18.74	0.0138	0.1805	13.08	0.0152	0.1443	9.49	0.0165	0.1266	7.67
K30-24-50-3	0.0124	0.3379	27.25	0.0137	0.2643	19.29	0.0150	0.2151	14.34	0.0166	0.1811	10.91
K30-24-150-2	0.0124	0.0989	7.98	0.0138	0.0717	5.20	0.0153	0.0642	4.20	0.0162	0.0576	3.56
K30-24-150-3	0.0125	0.1376	11.01	0.0138	0.1017	7.37	0.0153	0.0839	5.48	0.0163	0.0770	4.72
K30-28-50-2	0.0131	0.2016	15.39	0.0143	0.1630	11.40	0.0156	0.1326	8.50	0.0165	0.1241	7.52
K30-28-50-3	0.0130	0.2882	22.17	0.0142	0.2336	16.45	0.0154	0.197	12.79	0.0168	0.1678	9.99
K30-28-150-2	0.0130	0.0849	6.53	0.0143	0.0689	4.82	0.0157	0.0633	4.03	0.0163	0.0578	3.55
K30-28-150-3	0.0131	0.1191	9.09	0.0143	0.0909	6.36	0.0156	0.0820	5.26	0.0164	0.0765	4.66
K40-14-50-2	0.0106	0.3040	28.68	0.0119	0.2253	18.93	0.0132	0.1657	12.55	0.0146	0.1302	8.92
K40-14-50-3	0.0107	0.2990	27.94	0.0120	0.3162	26.35	0.0137	0.2619	19.12	0.0151	0.2080	13.77
K40-14-150-2	0.0105	0.1498	14.27	0.0118	0.0942	7.98	0.0131	0.0680	5.19	0.0146	0.0552	3.78
K40-14-150-3	0.0106	0.2122	20.02	0.0119	0.1340	11.26	0.0132	0.0971	7.36	0.0146	0.0763	5.23
K40-20-50-2	0.0114	0.2646	23.21	0.0126	0.1906	15.13	0.0138	0.1497	10.85	0.0151	0.1211	8.02
K40-20-50-3	0.0114	0.3109	27.27	0.0126	0.2909	23.09	0.0137	0.2303	16.81	0.0150	0.1892	12.61
K40-20-150-2	0.0113	0.1167	10.33	0.0125	0.0807	6.46	0.0137	0.0617	4.50	0.0150	0.0542	3.61
K40-20-150-3	0.0113	0.1605	14.20	0.0125	0.1145	9.16	0.0137	0.0869	6.34	0.0151	0.0721	4.77
K40-24-50-2	0.0119	0.2233	18.76	0.0130	0.1713	13.18	0.0142	0.1386	9.76	0.0154	0.1142	7.42
K40-24-50-3	0.0119	0.3282	27.58	0.0130	0.2557	19.67	0.0141	0.2082	14.77	0.0153	0.1761	11.51
K40-24-150-2	0.0118	0.0998	8.46	0.0129	0.0728	5.64	0.0141	0.0595	4.22	0.0154	0.0535	3.47
K40-24-150-3	0.0119	0.1354	11.38	0.0130	0.1010	7.77	0.0141	0.0794	5.63	0.0154	0.0698	4.53
K40-28-50-2	0.0125	0.1897	15.18	0.0135	0.1543	11.43	0.0146	0.1270	8.70	0.0157	0.1085	6.91
K40-28-50-3	0.0125	0.2759	22.07	0.0135	0.2242	16.61	0.0145	0.1891	13.04	0.0156	0.1630	10.45
K40-28-150-2	0.0124	0.0851	6.86	0.0134	0.0656	4.90	0.0145	0.0578	3.99	0.0157	0.0529	3.37
K40-28-150-3	0.0124	0.1170	9.44	0.0135	0.0897	6.64	0.0146	0.0736	5.04	0.0157	0.0684	4.36
K50-14-50-2	0.0103	0.3008	29.20	0.0114	0.2182	19.14	0.0125	0.1606	12.85	0.0136	0.1268	9.32
K50-14-50-3	0.0104	0.2957	28.43	0.0115	0.3075	26.74	0.0126	0.2601	20.64	0.0137	0.2066	15.08
K50-14-150-2	0.0102	0.1458	14.29	0.0113	0.0951	8.42	0.0124	0.0688	5.55	0.0135	0.0543	4.02
K50-14-150-3	0.0103	0.1980	19.22	0.0114	0.1335	11.71	0.0125	0.0971	7.77	0.0136	0.0762	5.60
K50-20-50-2	0.0110	0.2551	23.19	0.0120	0.1839	15.33	0.0130	0.1444	11.11	0.0141	0.1176	8.34
K50-20-50-3	0.0110	0.3077	27.97	0.0121	0.2863	23.66	0.0131	0.2258	17.24	0.0141	0.1850	13.12
K50-20-150-2	0.0109	0.1162	10.66	0.0119	0.0815	6.85	0.0129	0.0620	4.81	0.0140	0.0522	3.73
K50-20-150-3	0.0109	0.1581	14.50	0.0120	0.1134	9.45	0.0130	0.0867	6.67	0.0140	0.0698	4.99
K50-24-50-2	0.0115	0.2147	18.67	0.0125	0.1643	13.14	0.0134	0.1331	9.93	0.0144	0.1101	7.65
K50-24-50-3	0.0115	0.3194	27.77	0.0125	0.2495	19.96	0.0135	0.2032	15.05	0.0145	0.1720	11.86
K50-24-150-2	0.0114	0.0990	8.68	0.0124	0.0731	5.90	0.0133	0.0574	4.32	0.0143	0.0510	3.57
K50-24-150-3	0.0115	0.1340	11.65	0.0124	0.1009	8.14	0.0134	0.0793	5.92	0.0144	0.0659	4.58
K50-28-50-2	0.0121	0.1826	15.09	0.0130	0.1471	11.32	0.0139	0.1223	8.80	0.0148	0.1029	6.95
K50-28-50-3	0.0121	0.2709	22.39	0.0130	0.2181	16.78	0.0139	0.1839	13.23	0.0148	0.1591	10.75
K50-28-150-2	0.0120	0.0850	7.08	0.0129	0.0659	5.11	0.0138	0.0546	3.96	0.0147	0.0500	3.40
K50-28-150-3	0.0120	0.1149	9.58	0.0129	0.0896	6.95	0.0138	0.0728	5.28	0.0148	0.0640	4.32

Tablo 5 ve Tablo 6’da her bir kesit için farklı parametrelere göre elde edilen eğrilik sünekliği değerlerinin yorumlanabilmesi için TBDY (2018)’e göre elde edilen değerler DBYBHY (2007)’ye göre elde edilenlere oranlanmıştır. Tablo 7’nin en alt satırında tanımlanan “Ortalama” ifadesi ile her bir eksenel yük değeri için kesitlerdeki değerlerin ortalaması temsil edilmektedir.

Tablo 7. Her iki deprem yönetmeliğine ait eğrilik sünekliği değerlerinin oranları

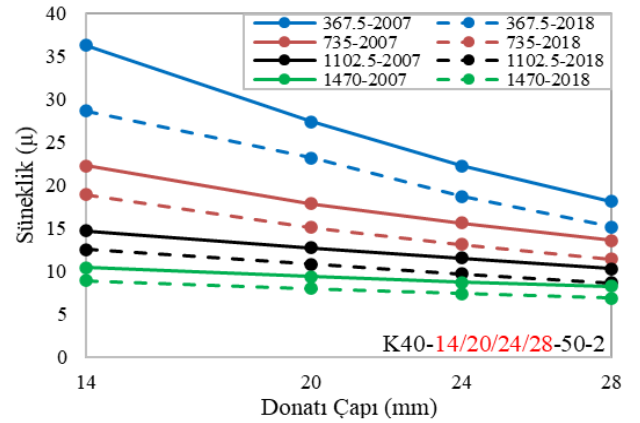
Kesit Adı	$\mu$ TBDY (2018) / $\mu$ DBYBHY (2007)			
	N=367.5 kN	N=735.0 kN	N=1102.5 kN	N=1470.0 kN
K30-14-50-2	0.79	0.84	0.84	0.84
K30-14-50-3	0.80	0.80	0.82	0.82
K30-14-150-2	0.86	0.87	0.86	0.85
K30-14-150-3	0.85	0.85	0.85	0.84
K30-20-50-2	0.83	0.83	0.83	0.83
K30-20-50-3	0.80	0.81	0.82	0.82
K30-20-150-2	0.86	0.87	0.85	0.84
K30-20-150-3	0.85	0.84	0.84	0.83
K30-24-50-2	0.83	0.83	0.83	0.82
K30-24-50-3	0.81	0.82	0.82	0.82
K30-24-150-2	0.86	0.86	0.85	0.84
K30-24-150-3	0.84	0.84	0.84	0.83
K30-28-50-2	0.83	0.83	0.83	0.82
K30-28-50-3	0.81	0.81	0.82	0.82
K30-28-150-2	0.86	0.85	0.84	0.84
K30-28-150-3	0.84	0.84	0.83	0.83
K40-14-50-2	0.79	0.85	0.85	0.85
K40-14-50-3	0.80	0.79	0.82	0.82
K40-14-150-2	0.88	0.89	0.89	0.87
K40-14-150-3	0.87	0.87	0.87	0.87
K40-20-50-2	0.85	0.85	0.85	0.85
K40-20-50-3	0.80	0.82	0.83	0.82
K40-20-150-2	0.88	0.88	0.87	0.86
K40-20-150-3	0.86	0.87	0.86	0.86
K40-24-50-2	0.84	0.84	0.85	0.85
K40-24-50-3	0.83	0.82	0.82	0.83
K40-24-150-2	0.88	0.88	0.86	0.86
K40-24-150-3	0.85	0.86	0.86	0.85
K40-28-50-2	0.84	0.84	0.84	0.84
K40-28-50-3	0.81	0.82	0.82	0.82
K40-28-150-2	0.88	0.88	0.86	0.86
K40-28-150-3	0.86	0.85	0.84	0.84
K50-14-50-2	0.80	0.87	0.87	0.87
K50-14-50-3	0.80	0.80	0.84	0.84
K50-14-150-2	0.88	0.91	0.91	0.90
K50-14-150-3	0.83	0.88	0.89	0.89
K50-20-50-2	0.86	0.86	0.87	0.87
K50-20-50-3	0.80	0.84	0.83	0.83
K50-20-150-2	0.90	0.91	0.91	0.88
K50-20-150-3	0.87	0.88	0.88	0.88
K50-24-50-2	0.86	0.86	0.86	0.86
K50-24-50-3	0.83	0.83	0.83	0.83
K50-24-150-2	0.90	0.90	0.89	0.88
K50-24-150-3	0.87	0.88	0.88	0.86
K50-28-50-2	0.85	0.85	0.85	0.85
K50-28-50-3	0.83	0.82	0.83	0.83
K50-28-150-2	0.89	0.90	0.88	0.87
K50-28-150-3	0.87	0.87	0.87	0.86
Ortalama	0.84	0.85	0.85	0.85

Tablo 7 incelendiğinde eğrilik sünekliği oranlarının yaklaşık olarak 0.79-0.91 arasında değiştiği ve ortalama değerinin 0.85 olduğu görülmektedir. Her iki deprem yönetmeliğine göre kesitin güç tükenmesine donatının kapasitesine erişmesiyle ulaşıldığında eğrilik sünekliği oranlarının yaklaşık olarak 0.79-0.80, kesitin güç tükenmesine betonun kapasitesine erişmesiyle ulaşıldığında eğrilik sünekliği oranlarının yaklaşık olarak 0.81-0.91 arasındadır. SAP 2000 programında moment-eğrilik analizlerinden elde edilen grafikler sadece boyuna donatının değişimini incelemek amacıyla K40-14/20/24/28-50-2 kesitleri 367.5 kN eksenel yük değeri için DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)’e göre kıyaslamalı olarak Şekil 5’te sunulmuştur.

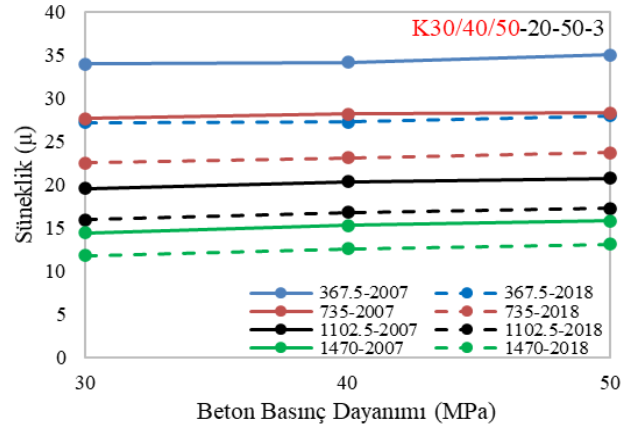


Şekil 5. Moment-eğrilik grafikleri

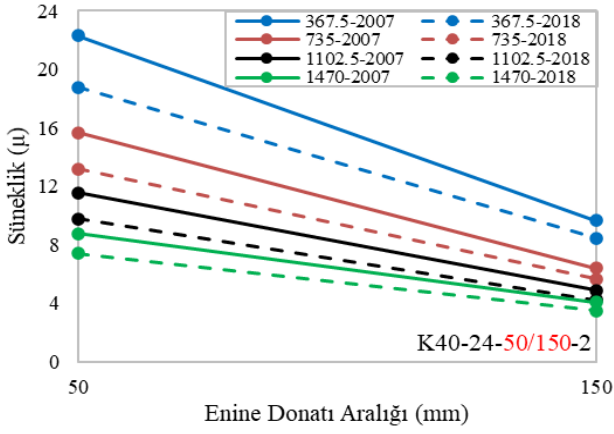
Eksenel yükün, boyuna donatı çapının, beton basınç dayanımının, enine donatı aralığının ve kol sayısının eğrilik sünekliği üzerindeki etkisi belirli kesitler için DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)’e göre kıyaslamalı olarak Şekil 6’da sunulmuştur.



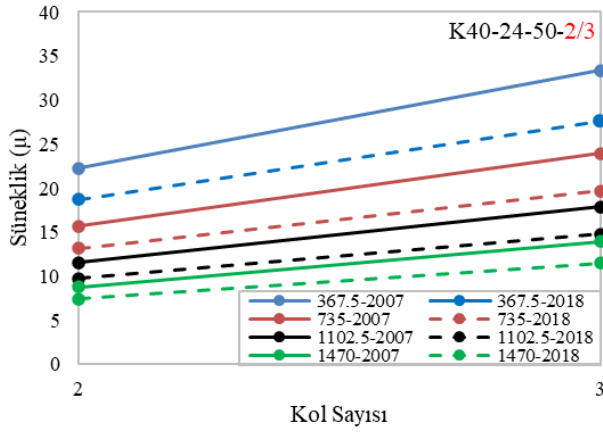
(a) Boyuna donatı çapının etkisi



(b) Beton basınç dayanımının etkisi



c) Enine donatı aralığının etkisi



d) Enine donatı kol sayısının etkisi

Şekil 6. Parametrelerin eğrilik sünekliği üzerindeki etkisi

## 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de verilen beton ve donatı malzeme modellerine göre betonarme kare kolonun eğrilik sünekliği değeri aksel yük, beton basınç dayanımı, boyuna donatı çapı, enine donatı aralığı ve kol sayısı parametrelerine göre kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla 384 adet moment-eğrilik analizi SAP2000 programında yapılmış ve eğrilik sünekliği değerleri hesaplanmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

TBDY (2018)'e göre hesaplanan eğrilik sünekliği değerleri, DBYBHY (2007)'ye göre hesaplanan değerlerden daha küçük elde edilmiştir. Dolayısıyla TBDY (2018)'e göre elde edilen eğrilik sünekliği değerleri daha güvenli tarafta kalmaktadır.

TBDY (2018)'e göre hesaplanan eğrilik sünekliği değerleri, kesitin güç tükenmesine donatının kapasitesi ile ulaşıldığında DBYBHY (2007)'ye kıyasla yaklaşık olarak %20-21, kesitin güç tükenmesine betonun kapasitesi ile ulaşıldığında ise %9-19 arasında daha küçük olduğu görülmüştür.

TBDY (2018)'e göre hesaplanan eğrilik sünekliği değerleri, DBYBHY (2007)'ye hesaplanan değerlere göre ortalama %15 daha küçük elde edilmiştir.

Kesitteki enine donatı aralığının artması halinde TBDY (2018)'e göre elde edilen eğrilik sünekliği değerleri DBYBHY (2007) değerlerine yaklaşmıştır.

Kesitteki enine donatı kol sayısının artması halinde TBDY (2018)'e göre elde edilen eğrilik sünekliği değerleri eğer

kıyaslanan iki kesitinde güç tükenmesine donatının kapasitesi ile ulaşıyorsa DBYBHY (2007) değerlerine yaklaşmaktadır. Aksi takdirde TBDY (2018)'e göre elde edilen eğrilik sünekliği değerleri DBYBHY (2007) değerlerinden uzaklaşmaktadır.

Beton basınç dayanımının artması halinde TBDY (2018)'e göre elde edilen eğrilik sünekliği değerleri eğer kesit güç tükenmesine betonun kapasitesi ile ulaşıyorsa DBYBHY (2007) değerlerine yaklaşmaktadır. Eğer kesit güç tükenmesine donatının kapasitesi ile ulaşıyorsa TBDY (2018)'e göre elde edilen eğrilik sünekliği değerlerinin DBYBHY (2007) değerlerinden uzaklaştığı veya aynı kaldığı söylenebilir.

Her iki deprem yönetmeliğinde aksel yükün, boyuna donatı çapının ve enine donatı aralığının artması eğrilik sünekliğinde azalma meydana getirmiştir. Enine donatı kol sayısının artması ise eğrilik sünekliğini arttırmıştır. Beton basınç dayanımındaki artışın eğrilik sünekliğine katkısı diğer parametrelere göre sınırlı seviyede kalmıştır.

## Kaynakça

- 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. DOI: 10.29137/umagd.844186
- Bedirhanoglu, I., & Ilki, A. (2004). Theoretical moment-curvature relationships for reinforced concrete members and comparison with experimental data. In *Sixth International Congress on Advances in Civil Engineering*, 231-240, İstanbul.
- Celep, Z. (2013). Deprem Yönetmeliği'nde Plastisite Teorisinin Uygulamaları. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi, 23-39, Manisa.
- Çağlar, N., Akkaya, A., Demir, A., & Öztürk, H. (2004). Farklı kesit geometrilerine sahip betonarme kolonların davranışının incelenmesi. *ISITES2014*, 2095-2105, Karabük.
- Dalyan, İ. & Şahin, B. (2019). Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 134-147. DOI: 10.46464/tad.631998
- DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Demir, A., Dok, G. & Öztürk, H. (2017). Betonarme Kolonların Akma Eğriliklerinin Tespiti için Tbdy-2016'da Verilen Ampirik Bağlılıkların İncelenmesi. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Sempozyumu, Eskişehir.
- Dilmaç, H. (2021). A Study on Structural Behaviour of RC Buildings Pre-Designed According to TBSC Design Principles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2021 (ICAENS), 91-96. DOI: 10.31590/ejosat.988526
- Dok, G., Ozturk, H. & Demir, A. (2017). Determining Moment-Curvature Relationship Of Reinforced Concrete Columns. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, (1), 52-58.
- Foroughi, S., Jamal, R. & Yüksel, B. (2020). Sargı Donatısı ve Aksel Yük Seviyesinin Betonarme Kolonların Eğrilik Süneklik ile Etkin Kesit Rijitliğine Etkisi. *El-Cezeri*, 7(3), 1309-1319. DOI: 10.31202/ecjse.750775

- Foroughi, S. & Yüksel, S. B. (2020). Analytical Investigation of Curvature Ductility of Reinforced Concrete Columns. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 27-38. DOI: 10.17482/uumfd.510862
- Gündoğay, A. & Tekeli, H., (2018). Atölye binalarının deprem performansını etkileyen bazı parametrelerin incelenmesi. 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 929-938, Antalya.
- Gündoğay, A., Ulutaş, H., & Tekeli, H. (2019). Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 755-768.
- İbiş, T., & Ulutaş, H. (2021). Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın TBDY 2018'e göre Deprem Performansının Belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1104-1124. DOI: 10.17798/bitlisfen.914069
- İnel, M., Bilgin, H. & Özmen, H., (2006). Mevcut Kamu Yapılarının Performans Değerlendirmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444-445, 64-71.
- İnel, M., Bilgin, H. & Özmen, H., (2007). Okul Binalarının Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Değerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 257-267, İstanbul.
- Kadaş, K., Soysal, B. F., Akansel, V. H., Mazılıgüney, L. & Yakut, A. (2019). Comparison of 2007 and 2019 seismic hazard maps based on spectrum intensities and corresponding engineering demands – a case study with RC school buildings in Istanbul. 5th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Ankara.
- Kaltakçı, M. Y., Korkmaz, H. H. & Korkmaz, S. Z. (2001). Basit Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Moment-Eğrilik ve Tasarım Değişkenleri Üzerine Analitik Bir İnceleme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 71-80.
- Karaca, H., Oral, M. & Erbil, M. (2020). Yapısal Tasarım Bağlamında 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması, Niğde Örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 898-903. DOI: 10.28948/ngumuh.667365
- 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.
- Kiracı, S., Erdem, R. T. & Bağcı, M. (2010). Betonarme Bir Eleanda Eğrilik Sünekliğinin İncelenmesi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 6(2), 141-154.
- Meral, E. (2018). Yapısal Parametrelerin Betonarme Kolonların Eğrilik Sünekliğine Etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 28-43.
- Özşahin, B. (2021). Edirne İli Özelinde 2019 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Yatay Tasarım İvme Spektrumlarının Değişiminin İncelenmesi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(4), 590-608. DOI: 10.28979/jarnas.927688
- SAP 2000. (2011). *Structural Analysis and Design Program. Computers and Structures, Inc., v.20.0.0., Berkeley, California, USA.*
- Sarı, O. & Ulutaş, H. (2021). Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1129-1144. DOI: 10.17714/gumusfenbil.906844
- TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.*
- TS500. (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- Ulutaş, H. (2019). DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 351-359. DOI: 10.31590/ejosat.620827
- Yüksel, B. & Foroughi, S. (2020). Analysis of Bending Moment-Curvature and the Damage Limits of Reinforced Concrete Circular Columns. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 891-903. DOI: 10.31590/ejosat.696116



# Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Yeteneklerine Sahip Akıllı Robot Sisteminin Geliştirilmesi

Cengiz Sertkaya<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ostim Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2802-8297),  
[cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr](mailto:cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080183)

**ATIF/REFERENCE:** Sertkaya, C. (2022). Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Yeteneklerine Sahip Akıllı Robot Sisteminin Geliştirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 211-216.

## Özet

Günlük yaşamda insanlar için birçok yardımcı işlevi robotlar tarafından gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Özellikle endüstride kullanılan robot kollar, çalışma alanına gelen nesnelere tanımlayarak, ilgili nesnenin özelliklerini belirlemede, buna göre uygulanması gereken tutma gücünü ve pozisyonunu ayarlayarak üretimde insan zekasına yakın kararlar verebilmektedir. Bu işlemlerden tanıma, konumlandırma ve tutma insanların düşünme ve çözüm üretme sistemleri baz alınarak oluşturulan yapay zeka algoritmaları ile gerçekleştirilmektedir. Yapay zeka yaklaşımlarından olan derin öğrenme son zamanlarda birçok farklı problem için kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, klasik bir robot kol için nesnenin tutma pozisyonuna ulaşmak amacıyla konumlandırılması ve nesnenin tutup kaldırılabilmesi için uygun kavrama parametrelerini otomatik olarak belirleyebilen bir sistemin oluşturulmasının sağlanmasıdır. Robot kolun mekanik sisteminin oluşturulmasında 3 boyutlu çizim programlarından üretilen modeller 3 boyutlu yazıcı kullanılarak basılmıştır. Bu sayede 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin bu tür bir sistemde nasıl kullanılacağı bilgisi paylaşılmıştır. Ayrıca bu teknoloji sayesinde düşük maliyetli ve rahatlıkla konfigüre edilebilen modeller oluşturulması sağlanmıştır. Gerçek zamanlı nesne tanıma işlevini gerçekleştirebilmek, sistemi zeki ve öğrenilebilir hale getirmek amacıyla, yapay zeka metodlarından, Evrişimli Sinir Ağları(CNN) temelli derin öğrenme algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın verimli çalışabilmesi için yapılması gereken ön hazırlık süreçleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.Yapılan simülasyon testleri ile elde edilen sonuçlardan, önerilen sistemin bu işlevleri başarıyla gerçekleştirdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Robot Kol, Derin Öğrenme, Evrişimli Sinir Ağları, Nesne Tanıma, Faster R-CNN.

## Development of an Intelligent Robot System with Capabilities of Deep Learning Based Object Recognition

### Abstract

In daily life, many auxiliary functions for humans have begun to be performed by robots. Robot arms, especially used in industry, identify the objects coming into the work area, determine the properties of the relevant object, and can make decisions close to human intelligence in production by adjusting the holding power and position that should be applied accordingly. Among these functions, recognition, positioning, and retention are performed by artificial intelligence algorithms based on people's thinking and solution generation systems. Deep learning, which is one of the artificial intelligence approaches, has been used for many different problems recently and it has been seen that successful results have been obtained.

The aim of this study is to position the object in order to reach the holding position for a classical robot arm and to provide a system that can automatically determine the appropriate grip parameters for the object to be held and lifted. In the creation of the mechanical system of the robot arm, the models produced from 3D drawing programs were printed using a 3D printer. In this way, information on how to use 3D printer technology in such a system was shared. In addition, thanks to this technology, low cost, and easily configurable models have been created. A deep learning algorithm based on Convolutional Neural Networks (CNN), one of the artificial intelligence methods, has been used in order to realize the real-time object recognition function and to make the system intelligent and learnable. Detailed information is given about the preliminary preparation processes that must be done in order for the algorithm to work efficiently. From the results obtained with the simulation tests, it has been seen that the proposed system successfully performs these functions.

**Keywords:** Robot Arm, Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Object Detection, Faster R-CNN

\* Corresponding Author: [cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr](mailto:cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr)

## 1. Giriş

Günlük yaşamda insanlar için birçok yardımcı işlev robotlar tarafından gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Maruyama ve Yamazaki 2001) (Sloane ve Silva 2019). Özellikle endüstride robot kollar çeşitli sektörlerin otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (González-Galván ve diğ. 2001; Willer 1984). Robotlar, sürekli çalışabilme ve hata oranını en aza indiren zeki çalışma prensipleri nedeniyle otomasyonların en çok kullanıldığı fabrikalarda her geçen gün daha çok artan bir kullanım alanına sahiptirler (WEIR 2002).

Robot kavramı ilk ortaya çıktığında insanların günlük rutin faaliyetlerini yerine getirebilmeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle benzer bir işlevi, sürekli tekrar eden bu yapıların, temelinde mekanik, elektronik ve yazılım alanlarından teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Farklı disiplinlerdeki bilginin biraraya gelmesi robotları ilk aşamada yüksek maliyetli yapsa da ilerleyen zamanlarda özellikle 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile arduino, rasperry gibi içerisinde işlem yapabilme kabiliyetine sahip mini bilgisayar sistemlerinin ortaya çıkmasıyla düşük maliyetli şekilde üretilebilir hale getirmiştir (ÇELEBİ ve diğ. 2019).

Literatürde robot kol üretiminde bu teknolojilerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Çelebi ve diğerlerinin çalışmasında 6 eksenli bir robot kol prototip tasarımı 3 boyutlu yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin yönetiminden sorumlu mikrodenetleyicisi olarak arduino kullanılmıştır (ÇELEBİ ve diğ. 2019). Papapaschos ve diğerlerinin çalışmasında hydrax ismini verdikleri robot kolun üretiminin gerçekleşmesi için 3 boyutlu yazıcıların kontrolünü gerçekleştiren bir sistem önerisinde bulunmuşlardır (Papapaschos, Bontarenko, ve Krimpenis 2020). Yusoff ve diğerlerinin çalışmasında robot kolun kablosuz şekilde yönetilebilmesi amacıyla arduino üzerine kurulan bir sistem geliştirilmiştir (Yusoff, Samin, ve Ibrahim 2012). Khosravi ve diğerlerinin çalışmasında kaynak yapma işlevini yerine getirecek bir robot kolun, maliyetini en aza indirebilmek amacıyla model önerisinde bulunmuştur. Modelin kontrol edilmesinde arduino kullanılmıştır (Khosravi Maleki ve diğ. 2021).

Robot kolun üretiminde maliyetin azalması ile yapılan çalışmaların artması, beraberinde araştırmacıların üretilen bu ürünler üzerinde daha rahat çalışma imkanı sağlamışlardır. Robot kollar, özellikle insan davranışlarını taklit edebilecek şekilde özellik ve yeteneklerin eklenmesi ile daha gelişmiş makineler haline gelmelerine olanak tanımıştır. Robot kollar üzerine yerleştirilen kamera, hareket, basınç, mesafe gibi sensörler yardımıyla dış dünya ile etkileşimli hale gelmişlerdir. Bu etkileşiminden elde edilen verilerin yorumlanmasıyla kendi kendine karar verebilen yapay zeka modellerinin entegre edildiği, zeki makineler haline gelmeleri sağlanmıştır (Ali ve diğ. 2018).

Özkaya 2021 çalışmasında esnek bir robot kolun hareket kontrolüne yönelik kararın metasezgisel algoritmalar kullanılarak verilmesi üzerine Genetik Algoritma, Arı Kolonisi ve Titreşimli Parçacıklar Sistemi (TPS) tabanlı zeki model önerileri yapılmıştır. TPS modeli en yüksek başarıyı elde etmiştir (Özkaya ve diğ. 2021).

Bu çalışmada tasarımı yapılmış 5 eksenli bir robot kolun 3 boyutlu yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Robot kolun fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için arduino temelli mikroişlemci yapısı kullanılarak elektronik sistem tasarlanmış ve programlanmıştır. Ayrıca sistemin, uygun kavrama konumunu

alması ve uygulaması gereken basınç oranını ayarlayabilmesi için nesnelere tanıma sürecinde yapay zeka yöntemlerinden derin öğrenme algoritması kullanılmıştır.

## 2. Materyal and Metot

Robot kol sisteminin geliştirilmesinden uygulanan adımlar Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Sistemin geliştirilmesinde uygulanan adımlar

### 2.1. Tasarım ve Düzenlemelerin Yapılması

Bu çalışmada kullanılan robot kol tasarımı (TG 2022) çalışmasındaki tasarım baz alınarak oluşturulmuştur (TG 2022). Tasarımda bilgisayar destekli çizim programlarından Catia yazılımının P3V5-6R2018 versiyonu kullanılmıştır. Çizim programı ile robot kola ait parçalar amaçlanan işlevleri yerine getirebilmesi için düzenlenerek son hallerine getirilmiştir. Robot kola ait parçaların bir bölümü Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Robot kol parçalarının 3 boyutlu görünümü (TG 2022).

Üretilen tasarım parçalarının son halleri stl uzantılı dosyalar halinde kaydedilerek 3 boyutlu baskı için hazırlanmıştır.

### 2.2. 3 Boyutlu Yazıcıdan Baskı Alınması

Robot kola ait parçaların stl uzantılı dosyaları 3 boyutlu yazıcının baskı yapabilmesi için gcode adı verilen baskı süreçlerini belirten dosyalara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla stl dosyalarını baskıya hazır hale getirebilmek için dönüştürü programlardan Ultimaker Cura 4.11.0 versiyonu kullanılmıştır. Bu uygulama üzerinde seçilen yazıcı ve baskı malzemesine göre yazdırma işlemi kullanılacak parametreler belirlenmektedir. Bu çalışmada 3 boyutlu baskı yazıcısı olarak Ender 3 v2 modeli tercih edilmiştir. 3 boyutlu yazıcıda kullanılmak üzere baskı malzemesi olan filamentin seçimi oldukça önemlidir. Bu çalışmada seçilen filament olarak yaygın şekilde kullanılan polilaktik asit’in (PLA) kullanılmasına karar verilmiştir. PLA’nın seçilmesinin nedenleri; organik olması, doğada hızlı şekilde çözünmesi, baskı sırasında daha az atık oluşturması, baskıda yaşanan sorunların diğer filament türlerine göre daha az oluşu, bu filament türünü seçilen yazıcının başarılı bir şekilde kullanabilmesi ve düşük maliyetli olmasıdır (Sin ve diğ. 2013). Yazıcı ve filament türünün belirlenmesinin ardından

baskı işlemine uygun baskı parametreleri seçimi gerçekleştirilmiştir. Standart parametreler dışında bu çalışma için özel olarak belirlenmiş parametreler ve seçilen değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Baskı işlemi için seçilen parametreler ve değerleri

Grup	Özellik	Değer
Yazıcı	Filament Çapı	1.75 mm
	Nozzle Çapı	0.4 mm
Kalite	İlk Katman Yüksekliği	0.4 mm
Malzeme	Yazdırma Sıcaklığı	210 °C
	Yapı Levhası Sıcaklığı	70 °C
Hız	İlk Katman Yazdırma Hızı	%50
	Yazdırma Hızı	%100
Destek	Oluşturma Desteği	Var
	Destek Yapısı	Ağaç
	Destek Dal Açısı	40°
	Destek Hattı Mesafesi	0.0 mm
Yapı Levhası Yapıştırması	Yapı Levhası Türü	Kenar
	Kenar Genişliği	8.0 mm
	Kenar Hattı Sayısı	14

Baskı için hazırlanan tasarımların g-kodu dosyaları yazıcıya gönderilerek yazdırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

### 2.3. Mekanik ve Elektronik Sistemin Oluşturulması

Sistemin hareketini sağlayacak olan mekanik bölüme ait motorlar için, robotik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan, düşük maliyetli, kontrolünün kolay olması ve yüksek tork değerlerine sahip olduğundan dolayı servo tipi motorlar tercih edilmiştir (Fatih 2016). Robot kol tasarımında istenen işlevleri yerine getirebilmesi amacıyla her bir eklem bölümü için kullanılan servo motorlar Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Servo Motor Özellikleri ve Bağlantı Noktaları

Servo Modeli	Tork Değeri	Bağlantı Noktası
TD-8160MG	60 kg	Alt Kol - Zemin Bağlantısı
TD-8135MG	35 kg	Orta Kol – Alt Kol Bağlantısı
MG995R	13 kg	Üst Kol – Orta Kol Bağlantısı Tutucu Bağlantısı Tutucu Hareketi

Servo motorların monte işleminin ardından motorların kontrolünü sağlaması amacıyla elektronik sistemin tasarımına başlanmıştır. Bu aşamada robotik uygulamalarda yaygın kullanımı, maliyetinin uygun olması ve programlanabilmesi gibi imkanlarından dolayı Arduino mikroişlemci yapısı seçilmiştir. Elektronik sistemin kablosuz haberleşebilmesi için HC-05 bluetooth modülü kullanılmıştır. Sistemin süreçlerini görebilmek amacıyla 6 adet led ile motorların hareketlerinin gözlemlenmesi sağlanmıştır. Arduinonun model seçiminde ihtiyaç duyulan girdi ve çıktı sayıları baz alınarak yeterli port sayısına sahip olduğu için Arduino Mega 2560 modeli seçilmiştir.

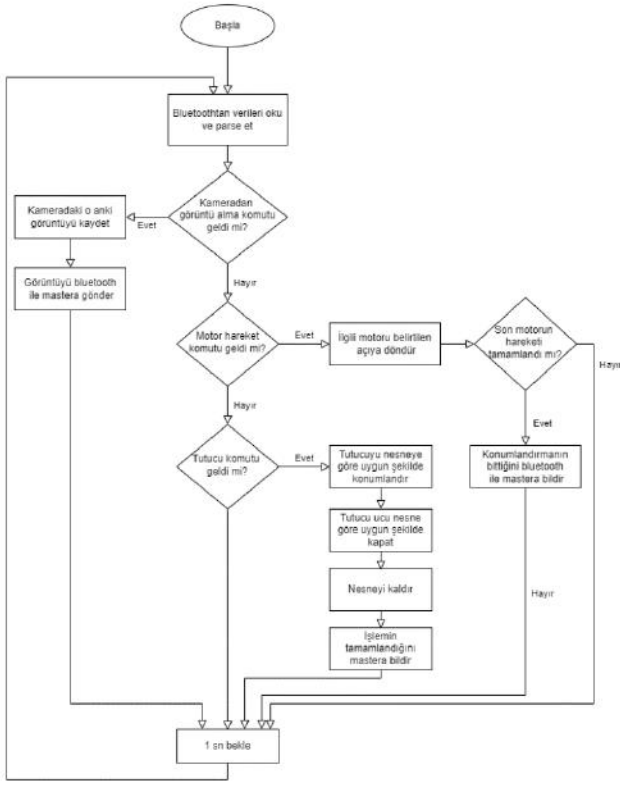
Mekanik sistemin monte edilmesi ve elektronik sistemin tamamlanması ile robot kolun son hali Şekil 3’teki görünümde oluşmuştur.



Şekil 3. Robot kolun mekanik ve elektronik sisteminin monte edilmiş hali

### 2.4. Yazılım Sistemin Oluşturulması

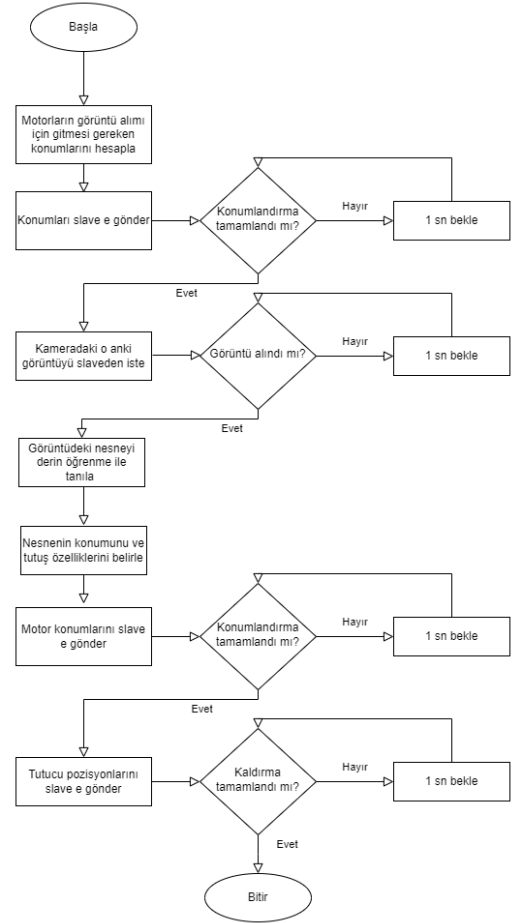
Sistemde geliştirilen yazılım yapısı 2 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Arduino mikroişlemcisi içerisinde yer alan motorların kontrol edildiği ve kamera görüntülerini almakta kullanılan slave bölümü bulunmaktadır. Bu bölümdeki yazılımın algoritması Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Slave yazılım bölümünün algoritması

Slave bölümün yazılımında geliştirme ortamı olarak Arduino IDE 1.8.12 versionu kullanılmıştır.

İkinci yazılım bölümü windows ortamında bilgisayar üzerinde çalışan ve C# diliyle kodlanmış, sistemin genel yönetiminden sorumlu olan bölümdür. Bu bölümün görevleri; alınan görüntüyü işleyerek derin öğrenme algoritması üzerinden nesne tanıma fonksiyonlarını gerçekleştirmek ve slave bölümün yapması gereken işlemler için komutları hazırlamaktır. Yönetim yazılım bölümünün algoritması Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Yönetim yazılım bölümünün algoritması

Yönetim bölümünün yazılımında geliştirme ortamı olarak Visual Studio 2017 versionu kullanılmıştır.

## 2.5. Derin Öğrenme Algoritması ile Nesne Tanıma

Nesne tanıma görevleri yerine getirilirken izlenmesi gereken bir dizi işlem bulunmaktadır. Bu işlem adımları Şekil 6'da gösterilmektedir.



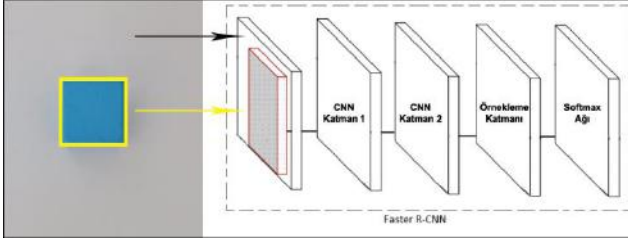
Şekil 6. Nesne Tanıma İşlem Süreçleri

Nesne tanımda verisetinin hazırlanması gerçekleştirilen ilk aşamadır. Bu aşamada ilk olarak nesne görüntülerinin yer aldığı resim dosyaları oluşturulmalıdır. Sonrasında resim dosyalarındaki nesnelere etiketleme yöntemi ile belirlenir. Etiketleme işleminde nesnenin resimde bulunduğu konum çerçeve içerisine alınır ve nesnenin sınıfı(grubu) belirtilir. Bu şekilde tüm resimlerin etiketlenmesinin ardından ikinci bir dosyada bu bilgiler saklanır. Bu sayede resim ve etiketleme bilgilerinin yer aldığı dosya ile veriseti hazırlanmış olmaktadır(Pathak ve diğ. 2018).

Nesne tanıma algoritması seçiminde literatürde derin öğrenme yöntemlerinden Evrişimli Sinir Ağları'nın (CNN) başarılı olduğu yapılan birçok uygulama ile ispatlanmıştır(Özkaya ve diğ. 2021). CNN algoritması aynı zamanda düşük hafıza ve işlemci kullanımıyla da diğer yöntemlere göre ön plana çıkmaktadır. Bu



çalışmada bu nedenlerle CNN algoritması üzerinde yoğunlaşmıştır. CNN algoritmasının kendi içerisinde R-CNN, Fast R-CNN ve Faster R-CNN gibi alt modelleri bulunmaktadır(TDS 2022). Bizim amacımız canlı görüntü üzerinde hızlı tespit yapmak olduğundan bu alt modellerden en hızlı tanılama yapabilen Faster R-CNN modeli seçilmiştir(Li ve diğ. 2021). Çalışmada kullanılan Faster R-CNN mimarisi Şekil 7’de gösterilmektedir.



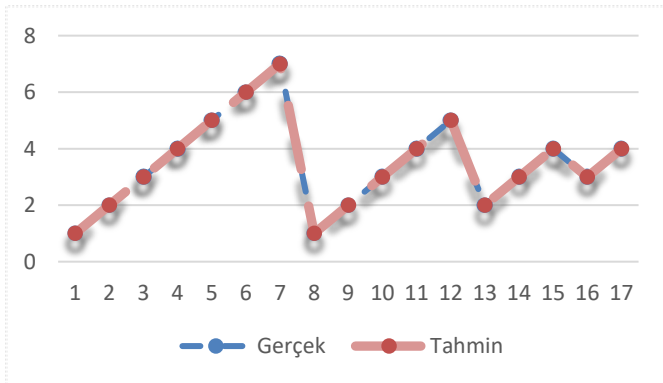
Şekil 7. Çalışmada kullanılan Faster R-CNN mimarisi(Yang ve diğ. 2017)(Cömert ve diğ. 2019)

Önerilen modelde en iyi başarıyı elde ettiği için 2 adet ara CNN katmanı, 1 örnekleme katmanı ve sınıflayıcı katmanında softmax yer almaktadır. Filtre yapısı 3x3 boyutunda ve adım sayısı 1 olarak tercih edilmiştir.

Verisetinde 7 farklı nesnenin tanımlanmasının yapılması hedeflenmiş ve her bir nesnenin en az 7 farklı görüntüsünün yer aldığı toplamda 57 adet veri oluşturulmuştur. Verisetindeki veriler, %70’i eğitim ve %30’i test olmak üzere ayrılmıştır. Buna göre 40 adet veri eğitim, 17 adet veri test verisi olarak belirlenmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Test simülasyonu sırasında nesne tanımda gerçek nesnenin kodu ve sistemin verdiği kararı ifade eden tahmin edilen nesne kodu değerlerini gösteren grafik Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8. Gerçek değer ve modelin elde ettiği tahmin sonuçları

Tahmin sonuçları grafik üzerinde değerlendirildiğinde gerçek ve tahmin edilen nesnelerin birbiriyle yüksek uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Derin öğrenme modelinin simülasyon sonucunda başarısının sayısal olarak değerlendirilmesi önemlidir. Bu amaçla başarının sayısal değerlendirilmesinde doğruluk (accuracy) yöntemi kullanılmıştır. Doğruluk değerinin bulunması için karmaşıklık matrisinin(confusion matrix) oluşturulması gerekmektedir(Kulkarni ve diğ. 2020). Karmaşıklık matrisinin yapısı Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Karmaşıklık matrisi yapısı(Kulkarni ve diğ. 2020)

		Tahmin	
		Negatif	Pozitif
Gerçek	Negatif	TN	FP
	Pozitif	FN	TP

Bu matristen yararlanarak doğruluk formülü Denklem 1’deki şekilde oluşturulmaktadır(Kulkarni ve diğ. 2020).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TN+TP}{TN+FP+FN+TP} \quad (1)$$

Simülasyon sonuçlarına göre hesaplama yapıldığında, doğruluk değeri %100 olarak bulunmuştur. Bu değer sistemin tüm nesnelere doğru tahmin ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmada bir robot kolun 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak üretilmesi konusunda detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca robot kolun yönetilmesi için gerekli elektronik ve yazılım sistemleri hakkında süreçler paylaşılmıştır. Derin öğrenme ile nesne tanıma özelliklerinin de eklenmesiyle geliştirilen robot kolun standart özelliklerin yanı sıra zeki, kendi kendine karar verebilen bir mimaride olması sağlanmıştır.

Geliştirilen sistemin endüstride özellikle üretim süreçlerinde birçok amaç için kullanılması mümkündür. İnsansı karar verebilme yapısı sayesinde bu süreçlerin bazılarında geliştirilen sistemin kullanımı ile daha az personelin görevlendirilmesi sağlanabilir ve üretim maliyeti azaltılabilir.

İlerleyen çalışmalarda daha fazla nesne çeşitinin yer aldığı ve veri sayısının artırıldığı sistemler üzerinde geliştirilen model uygulanabilir. Ayrıca bu veriler üzerinde farklı yapay zeka modelleri oluşturulabilir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

### 4. Teşekkür

Bu çalışma Ostim Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından HIZDEP proje türü ve BAP0018 proje numarasıyla desteklenmiştir.

### References

- Ali, Md Hazrat et al. 2018. “Vision-Based Robot Manipulator for Industrial Applications.” *Procedia Computer Science* 133: 205–12.
- ÇELEBİ, Ahu, Adem KORKMAZ, Tuğcan YILMAZ, and Halil TOSUN. 2019. “3 Boyutlu Yazıcı İle 6 Eksenli Robot Kol Tasarım Ve İmalatı.” *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry* 3(3): 269–78.
- Cömert, Onur, Mahmut Hekim, and Kemal ADEM. 2019. “Faster R-CNN Kullanarak Elmalarda Çürük Tespiti.” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* 11(1):335–41.
- Fatih IŞIK, Mehmet. 2016. “Doğru Akım Servo Motorun Device-Net Ağı Üzerinden Uzaktan Kontrolü.” *BEU Journal of Science* 5(2): 203–9.

- González-Galván, Emilio J. et al. 2001. "A Graphical User Interface for Industrial Robot Programming in Non-Repetitive Tasks." *Human Friendly Mechatronics*: 67–71.
- Khosravi Maleki, Farshid, Ebucihat Aktaş, Evren Cantürk, and Mehmet Akyemiş. 2021. "Kaynak Yapımında Kullanılan Robotik Kolun Maliyetinin Azaltılması İçin Bir Öneri." *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 7(1): 67–80.
- Kulkarni, Ajay, Deri Chong, and Feras A. Batarseh. 2020. "Foundations of Data Imbalance and Solutions for a Data Democracy." *Data Democracy: At the Nexus of Artificial Intelligence, Software Development, and Knowledge Engineering*: 83–106.
- Li, Cui jin, Zhong Qu, Sheng ye Wang, and Ling Liu. 2021. "A Method of Cross-Layer Fusion Multi-Object Detection and Recognition Based on Improved Faster R-CNN Model in Complex Traffic Environment." *Pattern Recognition Letters* 145: 127–34.
- Maruyama, Tsugito, and Muneshige Yamazaki. 2001. "Autonomous Mobile Robot for Carrying Food Trays to the Aged and Disabled." *Human Friendly Mechatronics*: 93–98.
- Özkaya, Semih, Çağlar Conker, and Hasan Hüseyin Bilgiç. 2021. "Esnek Robot Kol Sistemi İçin Lqr Denetleyici Parametrelerinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak Belirlenmesi." *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi* 9(3): 735–52.
- Özkaya, Umut, Öztürk, Şaban, Melgani, Farid, and Seyfi, Levent 2021. "Residual CNN+ Bi-LSTM model to analyze GPR B scan images." *Automation in Construction*, 123, 103525.
- Papapaschos, Vasileios, Evgenios Bontarenko, and Agathoklis A. Krimpenis. 2020. "HydraX, a 3D Printed Robotic Arm for Hybrid Manufacturing. Part II: Control, Calibration & Programming." *Procedia Manufacturing* 51: 109–15.
- Pathak, Ajeet Ram, Manjusha Pandey, and Siddharth Rautaray. 2018. "Application of Deep Learning for Object Detection." *Procedia Computer Science* 132: 1706–17.
- Sin, Lee Tin, Abdul R. Rahmat, and Wan A.W.A. Rahman. 2013. "Overview of Poly(Lactic Acid)." *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, Processing and Applications*: 11–54.
- Sloane, Elliot B., and Ricardo J. Silva. 2019. "Artificial Intelligence in Medical Devices and Clinical Decision Support Systems." *Clinical Engineering Handbook, Second Edition*: 556–68.
- TDS. "R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, YOLO — Object Detection Algorithms | by Rohith Gandhi | Towards Data Science." <https://towardsdatascience.com/r-cnn-fast-r-cnn-faster-r-cnn-yolo-object-detection-algorithms-36d53571365e> (February 24, 2022).
- TG." <https://www.thingiverse.com/thing:1838120> (February 22, 2022).
- WEIR, R. 2002. "Robotics and Manipulators." *Clinician's Guide to Assistive Technology*: 281–93.
- Willer, Derrick. 1984. "Computer Aided Manufacturing." *CME. Chartered mechanical engineer* 31(7–8): 22–24.
- Yang, Su et al. 2018. "Faster R-CNN Based Microscopic Cell Detection." 2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics, SPAC 2017 2018-January: 345–50.
- Yusoff, Mohd Ashiq Kamaril, Reza Ezuan Samin, and Babul Salam Kader Ibrahim. 2012. "Wireless Mobile Robotic Arm." *Procedia Engineering* 41: 1072–78.



# The Impacts of the Applications of Artificial Intelligence in Maritime Logistics

Batin Latif Aylak

Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0067-1835), batin.latif@tau.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079206)

**ATIF/REFERENCE:** Aylak, B. L. (2022). The Impacts of the Applications of Artificial Intelligence in Maritime Logistics. *European Journal of Science and Technology*, (34), 217-225.

## Abstract

This study aims to identify current approaches in the usage of Artificial Intelligence (AI) methods for solving shipping problems. Recent advances in AI are being examined, and the way it is adapted to maritime logistics is reviewed. In this study, 66 papers dealing with AI in the maritime industry are reviewed bibliometrically. Research data were primarily sourced from databases of IEEE Xplore, Web of Science, ScienceDirect (Elsevier), Sciences Citation Index, Google Scholar, Springer, and journals. Selected papers are categorized and classified, and the outcomes of some noteworthy publications are discussed in detail. A comprehensive assessment is also presented, which highlights research gaps and forecasts future research orientations. Two possible areas in the maritime industry are proposed for further research using AI capabilities. Predictive analysis is the first domain, followed by energy efficiency optimization. In addition, Machine Learning (ML) and Operations Research (OR) have fostered a growing interest in automating the learning of heuristics to solve optimization problems to avoid the need for expensive and inefficient human labour to create highly specialized heuristics. Future research can take advantage of these new ML approaches to address Maritime Logistics problems utilizing the ever-increasing amount of data available. Future research on maritime logistics can also develop learning models based on the identified gaps.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Automated Information System, Literature Review, Machine Learning, Maritime Logistics

## Deniz Lojistiğinde Yapay Zeka Uygulamalarının Etkileri

### Öz

Bu çalışma, deniz taşımacılığı problemlerini çözmek için Yapay Zeka yöntemlerinin kullanımındaki güncel yaklaşımları belirlemeyi amaçlamaktadır. Yapay zekadaki son gelişmeler incelenerek deniz lojistiğine uyarlanma şekli gözden geçirilmektedir. Bu çalışmada denizcilik endüstrisinde yapay zeka ile ilgili 66 makale bibliyometrik olarak incelenmiştir. Araştırma verileri öncelikle IEEE Xplore, Web of Science, ScienceDirect (Elsevier), Sciences Citation Index, Google Scholar, Springer ve ilgili dergilerin veritabanlarından elde edilmiştir. Seçilen makaleler kategorize edilerek tasnif edilmiş ve bazı önemli yayınların sonuçları ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Araştırma boşluklarını vurgulayan ve gelecekteki araştırma yönelimlerini tahmin eden kapsamlı bir değerlendirme de sunulmaktadır. Yapay zeka kullanan daha fazla araştırma için denizcilik endüstrisinde iki olası alan önerilmiştir. Tahmine dayalı analiz ilk alandır ve bunu enerji verimliliği optimizasyonu takip etmektedir. Buna ek olarak, Makine Öğrenmesi ve Yöneylem Araştırması yüksek düzeyde uzmanlaşmış buluşsal yöntemler oluşturmak için pahalı ve verimsiz insan emeğine duyulan ihtiyacı önlemek için optimizasyon sorunlarını çözmek için buluşsal yöntemlerin öğrenilmesini otomatikleştirmeye yönelik artan bir ilgiyi teşvik etmiştir. Gelecekteki araştırmalar, sürekli artan miktarda mevcut veriyi kullanarak Denizcilik Lojistiği sorunlarını ele almak için bu yeni makine öğrenmesi yaklaşımlarından yararlanabilir. Deniz lojistiği ile ilgili gelecekteki araştırmalar, belirlenen boşluklara dayalı öğrenme modelleri de geliştirebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, Otomatik Bilgi Sistemi, Literatür Araştırması, Makine Öğrenmesi, Deniz Lojistiği

## 1. Introduction

Artificial intelligence (AI) currently occupies a prominent position in both research and practice. AI is a technology that allows computers to mimic human thinking abilities. Computers can be programmed to have fantastic searching, sorting, and arithmetic skills. But there are many things that computers are not capable of, such as thinking creatively, deciding what to do next, and speaking our own language. AI stands out in these areas; it tries to identify the necessary algorithms to meet these specifications (Millington & Funge, 2009). Today, AI has gradually established its ecological pattern. The field of AI has evolved to make it possible to be used as a popular means of solving business and societal problems. It is relatively straightforward that AI marks the next step in the evolution of things, just as companies today have adopted information technology to manage their processes more efficiently, which is a natural progression.

AI has become essential for data-driven decision-making across various industries (Liang & Liu, 2018). This technique can extract information from large datasets, including anomaly detection or photo recognition. Many traditional industries, such as the maritime industry, rely more on intuition than data because of the immense scale of network and planning problems (Brouer, Karsten, & Pisinger, 2017). Maritime Logistics plays a significant role in the logistics sector. According to United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), over 11 million tons of containerized bulk and dry bulk were globally transported by ship in 2018, which explains why maritime transport is considered "the backbone of global trade" (Sirimanne et al., 2019). Thus, it is necessary to have fast, efficient, and reliable transportation. In the meantime, the growing amount of data and advancing digitalization are creating new prospects in the sector. Intelligent approaches to extract information can make data collected on ships usable.

In the beginning, research in AI tended to replicate human decision-making by utilizing large amounts of data. In the modern era, AI can accomplish things that were previously unthinkable. For instance, sophisticated AI systems can now design autonomous ships, which can operate without human interaction, and they have the lowest error rate compared to human-operated ships. With the use of AI, the traditional operational process of the maritime industry has been gradually transformed. Accordingly, a lot of research has been done on applying big data and AI in the maritime industry since 2012 (Liang & Liu, 2018). This trend inspires the development of new, data-centric innovative technologies and business models (Munim, 2019) that are reshaping the maritime industry and creating new opportunities for productivity, efficiency, and sustainability (Heilig, Lalla-Ruiz, & Voß, 2017).

This study is more extensive than previous studies in terms of the quality and diversity of the studies that used AI in the maritime context. Unlike previous reviews, the present study's literature search provided robust, transparent, and reproducible results. In this review, the author analyzes published studies that address AI applications in maritime contexts to identify future

research directions. Considering this, the authors devised three research objectives. The initial aim is to identify the key journals in the field of interest. The second goal is to identify and investigate potential research clusters, and the end goal is to identify and present future research opportunities.

## 2. Literature Review Method and Structure

To provide a comprehensive overview of how AI technology has been applied to solve a wide range of maritime industry-related problems and to stimulate new thoughts about its application across the maritime industry, a systematic review of the use of AI technology as a solution technology is conducted in this paper. An in-depth literature search is performed during the review process by identifying relevant topics, methodologies, and trends, analyzing and synthesizing them to provide a holistic view of AI data studies.

Research data were primarily sourced from databases of IEEE Xplore, Web of Science, ScienceDirect (Elsevier), Sciences Citation Index, Google Scholar, Springer, and journals, such as Applied Sciences, Sensors, International Journal of Embedded Systems, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Business and Information Systems Engineering, Journal of Advanced Transportation, Journal of Marine Science and Engineering, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. The keywords included maritime, ship, digitalization, ship automation, artificial intelligence, and artificial neural networks. The sources for the literature were selected according to three factors: the innovation involved in the scientific work carried out by the authors, scientific methods followed, and the relevance of the research.

## 3. Results of Literature Review

The methodology described in Section 2 yielded 357 publications related to the study area. The publication titles were then reviewed as a starting point for classification, and those that had no relevance to the application of AI in the maritime industries were eliminated. Furthermore, only papers published in the previous three years were considered, yielding 66 papers that were then thoroughly reviewed. Each source was read and evaluated against the quality criteria outlined in the methodology section as part of this thorough review.

Thus, the study included 66 articles, including 59 journal papers, 6 conference papers, and 1 technical report, all published within the previous three years. According to the database search results, the top 5 journals that have published at least two articles on AI applications in the maritime industry are presented in Table 1. Among the journals published during the initial periods (before 2019), papers mainly were published in those specializing in navigation safety, ship behaviour analysis, and the marine environment. During the last three years, the distribution of journals has been the most diverse, suggesting a broadening of research interests.

AI has applications in every aspect of maritime logistics. One such application field is ship route planning. For example, many publications use automated identification systems (AIS) data to

Table 1. Top journals on AI applications in the maritime industry

Journal	2021	2020	2019	Total
Applied Sciences (Switzerland)	1	6		7
Sensors (Switzerland)		3	2	5
Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review		1	1	2
Journal of Marine Science and Engineering		1	1	2
IEEE Access		2		2

predict ship trajectories to avoid collisions or weather maps to avoid heavy storms (e.g. Liu and Shi (2020), Ozturk, Birbil, and Cicek (2019), T. Yang, Han, Qin, and Huang (2020)). In addition, some papers investigate the problem of Berth Allocation (H. Kim, Kim, Park, & Lee, 2020; Qiang & Bi-Guang, 2020).

There are numerous AI methods and algorithms that can solve problems in the maritime industry. Still, Decision Trees, Random Forest, and genetic algorithms constitute the majority. Four publications make use of Deep Learning (DL). Some papers employ Machine Learning (ML) approaches such as k-nearest-neighbour (KNN) and support vector machines (SVMs) (Ozturk et al., 2019; Peng, Liu, Li, Huang, & Wang, 2020; Juan J. Ruiz-Aguilar, Moscoso-López, Urda, González-Enrique, & Turias, 2020). Several methods are combined or compared in other articles (Du, Wang, Yang, & Niu, 2019; Peng et al., 2020; C.-H. Yang & Chang, 2020). To summarise, intelligent heuristics have dominated AI's application, which is why most publications use unsupervised algorithms. Table 2 provides a general overview of the papers examined, the AI methods employed, and their specific applications to the maritime industry.

#### 4. In-Depth Analysis of Selected Papers

AIS data is used in the majority of studies reviewed to reveal important information about the maritime industry. This survey includes twelve literature review studies, and the work involved in these papers is summarised below.

A comprehensive literature review conducted by Anwar, Henesey, and Casalicchio (2019) investigated the application of digital technologies to the management of logistics operations at container terminals. According to the researchers, over 94% of relevant studies addressed AI, 29% discussed IoT and cloud computing and very little focused on Blockchain at container terminals. Ceyhun (2020) studies the current state of AI in maritime companies and the latest developments related to it. According to Ceyhun, using AI will contribute to the prevention of ship-related accidents by anticipating future cases by using pinpoint calculations. As Ceyhun explained, AI will help prevent ship-related accidents by anticipating them with pinpoint calculations. After investigating the effects of Industry 4.0 technologies on the maritime industry, de la Peña Zarzuelo, Freire Soeane, and López Bermúdez (2020) concluded that each technology in Industry 4.0 has advantages and disadvantages and adoption of these technologies should be done after considering the indirect consequences. Dornemann, Rückert, Fischer, and Taraz, 2021 investigated current approaches for using AI in optimizing problems. The researchers found that there is growing interest in using ML to develop heuristics that automatically solve optimization problems.

Although they used big data in their keyword searches, Fruth and Teuteberg (2017) and Sanchez-Gonzalez, Díaz-Gutiérrez, Leo, and Núñez-Rivas (2019) explicitly addressed digitalization. While Fruth and Teuteberg paid no attention to AI applications in maritime domains, Sanchez-Gonzalez et al. conducted a literature search that is quite abstract and cannot be replicated. Both used the Systematic Literature Review (SLR) methodology in their literature review on the digitalization of maritime transport. Fruth and Teuteberg examined 124 studies on the digitalization of maritime logistics that were relevant to academia and practice. Sanchez-Gonzalez et al. take a more robust and comprehensive keyword search approach than Fruth and Teuteberg. The authors divide the emerging literature on digitalization in shipping into six broad categories (automation, big data, simulation and modelling, software, sustainable maritime transport, risks). Heilig et al. (2017) presented a summary of the current state of digitalization in seaports and its evolution. These studies show how big data and Internet of Things (IoT) are being used at ports like Hamburg's. Hu, Liu, Chen, Wang, and Wei (2020) developed a port and shipping data system based on information obtained from the Internet and commercial sources. Their investigations used web crawlers and long-term manual processing to preprocess data from maritime ports (6945 ports), terminals (more than 14322 terminals), and berths. They got the vessel profiles primarily via web crawlers; therefore, they might not be complete when compared to the real world's current ships.

Mekkaoui, Benabbou, and Berrado (2020) examined the contributions in applying ML to port operations in a SLR. They claim that ML isn't being used to solve critical port operations challenges, and only thirty papers were deemed valid. As a result, they argue that more research is needed in the seaside, yard, storage, transportation, port design, and safety and security. Munim et al., 2020 outlined how Blockchain and IoT can monitor port operations for sustainability by measuring economic and environmental factors. As detailed by Xiao, Fu, Zhang, and Goh (2020), pattern mining and traffic forecasting studies in marine traffic validate the relevance of advanced maritime traffic studies and demonstrate the significant potential in sea transport for adopting IoT, AI, knowledge engineering, and big data computing solutions. Yang et al. (2020) analyzed studies that only used AIS data. AIS data has been used widely for various research initiatives, including marine data mining, navigation safety, ship behaviour analysis, environmental assessment, trade analysis, and ship and port performance study (Štepec et al., 2020).

The extensive literature analysis of original papers is done by categorizing them into six separate groups based on the field of application of AI. These include maritime surveillance, energy efficiency optimization, ship routing and trajectory prediction, shipping demand and throughput forecasting, designing, and building ships, and other applications.

*Table 2. Papers reviewed in this survey*

<b>Author</b>	<b>Year</b>	<b>AI procedure</b>	<b>Application area</b>
Abebe, et al.	2020	Decision Tree (DTR), Gradient Boosting (GBR), Extreme Gradient Boosting (EGBR), Random Forest (RFR), and Extra Trees (ETR)	Predicting ship speed over the ground
Adi, et al.	2020	Deep Reinforcement Learning	Vessel traffic and route planning
Al Hajj Hassan, et al.	2020	Reinforcement Learning	Shipping demand forecasting
Chen, et al.	2020	Deep Separable (DS) - Visual Geometry Group (VGG) network and Adversarial Spatial Transformer Network (ASTN) - Faster Region-based Convolutional Neural Networks (R-CNN)	Shipping container recognition
Chen, et al.	2020	Convolutional Neural Network-Ship Movement Modes Classification (CNN-SMMC) algorithm	Vessel traffic and route planning
Du, Pei, et al.	2019	Novel hybrid learning method - Variational Mode Decomposition (VMD), Extreme Learning Machine (ELM), Butterfly Optimization Algorithm (BELM),	Container throughput forecasting
Fikioris, et al.	2020	Genetic Algorithm (GA)	Optimizing vessel trajectory compression
Filipiak, et al.	2020	GA with Spatial Partitioning, CUSUM (cumulative sum) algorithm	Vessel traffic and route planning
Gao, et al.	2019	Long Short-Term Memory (LSTM) Recurrent Neural Network (RNN)	Container throughput forecasting
Han and Yang	2020	Big data-driven mathematical framework	Vessel traffic and route planning
Hoque and Sharma	2020	Ensembled Deep Learning Approach	Maritime anomaly detection
Ji and Lu	2020	DDBN-OCSVM framework	Maritime anomaly detection
Jimenez, et al.	2020	Computational artificial intelligence model	Predictive maintenance
Kamal, et al.	2020	RNN	Prediction of Baltic Dry Index
Kanamoto, et al.	2020	Regression analysis	Shipping demand forecasting
Kim, Hanguen, et al.	2020	Not specified	Ship berth allocation
Kim and Lee	2019	Not specified	Maritime track monitoring services
Kontopoulos, et al.	2020	Density-Based Spatial Clustering Of Applications with Noise (DBSCAN) algorithm	Vessel traffic and route planning
Lee, et al.	2020	ETR, RFR, GBR and Bagging	Ship berth allocation
Lee, et al.	2021	DBSCAN	Ship Trajectory Prediction
Li, et al.	2019	Kernel Extreme Learning Machine (KELM)	Container throughput forecasting
Liu, Dongdong, and Guoyou Shi	2020	Collision Detection Algorithm	Ship collision risk assessment
Man, et al.	2020	Not specified	Maritime energy-efficiency optimization
Murray and Perera	2020	Unsupervised Learning	Ship Trajectory Prediction
Ozturk, Ulku, et al.	2019	Semi-Supervised Support Vector Machines (S3VM)	Ship collision risk assessment
Peng, Yun, et al	2020	GBR, RFR, BP Network (BP), Linear Regression (LR) and K-Nearest Neighbor Regression (KNN)	Maritime energy-efficiency optimization
Qiang and Bi-Guang	2020	Artificial Neural Network (ANN) Algorithm	Ship berth allocation
Ruiz-Aguilar, et al.	2020	ANN	Container throughput forecasting
Ruiz-Aguilar, et al.	2020	Support Vector Regression (SVR)	Container throughput forecasting
Santipantakis, et al.	2020	Not specified	Ship Trajectory Prediction
Shankar, et al.	2019	LSTM Networks	Container throughput forecasting
Shin, et al.	2020	A* algorithm using AIS	Vessel traffic and route planning
Song, et al.	2020	Bayesian Network (BN)	Fraud detection of cargo theft
Štepec, et al.	2020	GBR	Vessel traffic and route planning
Suo, et al.	2020	DBSCAN	Ship Trajectory Prediction
Tsaganos, et al.	2020	Ensemble methods	Maritime anomaly detection

Tsou	2019	DT	Ship collision risk assessment
Varlamis, et al.	2021	DBSCAN	Ship Trajectory Prediction
Wang, et al.	2020	Not Specified	Vessel traffic and route planning
Wang, et al.	2019	Multiple Hexagon-Based CNN (MH-CNN)	Ship Trajectory Prediction
Wang, et al.	2021	BN	Port State Control (PSC) inspection
Wen, et al.	2020	DBSCAN	Vessel traffic and route planning
Xu, et al.	2020	K-means clustering	Vessel traffic and route planning
Yan, et al.	2020	DTR, RFR	Maritime energy-efficiency optimization
Yang, Cheng-Hong, and Po-Yin Chang	2020	CNN, LSTM, RNN	Container throughput forecasting
Yang, Tingting, et al.	2020	K-Means algorithm, GA	Ship collision risk assessment
Zhang, et al.	2021	CRNN	Shipping container recognition
Zhong, et al.	2019	Bi-directional LSTM-RNN (BLSTM-RNNs)	Ship trajectory restoration
Zhou, et al. .	2020	CNN, LSTM, Bidirectional LSTM Network with a CNN (BDLSTM-CNN).	Ship Trajectory Prediction

#### 4.1. Maritime Surveillance

Maritime policies such as maritime security, illicit bunkering, tracking of marine oil transit, and search and rescue all benefit from surveillance of the maritime environment. Wang et al. provided a new methodology for quantifying shipping volume along the Yangtze River under current speed regulations utilising big data from the AIS (L. Wang et al., 2020). The study emphasises the need to modify ship speed in small waterways to avoid excessive traffic congestion and reduce the risk of maritime accidents. Songs et al. employed BNs to investigate bulk cargo theft at ports, as well as feature rankings to identify key risk factors (Song et al., 2020). Kim et al. introduced an algorithm for automatically selecting maritime traffic stream data for the presentation from a vast quantity of data by utilising a ML technique to generate a decision tree. The proposed system appears to be capable of adapting information selection based on port conditions to assure safety and efficiency (Kim & Lee, 2019).

Some of the studies are concerned with anomaly detection. Hoque and Sharma employed an LSTM neural network to predict the ship paths and suppress anomalous AIS data (Hoque & Sharma, 2020). By using a hybrid single classification framework based on depth learning, Ji and Lu are able to accommodate real-time monitoring of abnormal data during ship driving (Ji & Lu, 2020). Anomaly detection was carried out using the DDBN-OCSVM framework and the single classification algorithm. As indicated in Tsaganos et al.'s work, the AdaBoost classifier was applied to improve fault detection in engines (Tsaganos et al., 2020). The authors concluded that the ensemble methods used in their study resulted in 96.5% accuracy and are an appropriate choice for engine fault detection.

Despite a well-developed literature on anomaly detection, future research should focus on real-time anomaly detection of vessels and the application of advanced ML techniques. Future research could apply available shipping route extraction methods for collision prevention and the environmental consequences of maritime oil transit.

#### 4.2. Energy-Efficiency Optimization

A variety of studies have used AI to improve energy efficiency in maritime transport. While most of these studies

focused on vessel speed optimization (Abebe et al., 2020; X. Yan, Wang, Yuan, Jiang, & Negenborn, 2018), others targeted optimizing ships' energy consumption in port (Man et al., 2020; Peng et al., 2020; R. Yan et al., 2020).

Abebe et al. used a decision tree regression model and four ensemble methods to predict ship speed. Finally, the model optimized the actual ship route (Abebe et al., 2020). Yan et al. found the optimal speed of inland ships using the distributed parallel k-means clustering algorithm. Their proposed method contributes to lowering carbon dioxide emissions from vessels and decreasing energy consumption (Yan et al., 2018).

Peng et al. suggested strategies to reduce energy consumption in China's Jingtang port and proposed models to predict future energy consumption (Peng et al., 2020). Gradient boosting regression, random forest regression, BP network, linear regression, and KNN regression were used to analyze 15 inputs that were thought to affect ships' energy consumption. The analysis concluded that the four most important factors for predicting ships' energy consumption are net tonnage, deadweight tonnage, actual weight, and facility efficiency. Optimizing energy consumption is challenging because there is no practical analytical approach for evaluating ship performance. Big data analytics are needed to get an accurate picture of actual fuel consumption. Using an ethnographic approach, Man et al. highlighted operational issues associated with fuel monitoring systems (Man et al., 2020). The model developed by Yan et al. aims to forecast fuel consumption and reduction with the help of random forest regression (R. Yan et al., 2020). The model was then applied to optimize two voyages using data from random forest regression. The model can reduce fuel consumption by 2 - 7% by choosing the best route.

According to the authors' knowledge, there are just a few studies that employ ML and DL models to estimate ship fuel use or emissions in port areas. As a result, more research in this area is necessary.

#### 4.3. Ship Routing and Trajectory Prediction

In shipping risk analysis, accurate ship trajectory prediction is critical, and AIS data mainly influences such prediction based

on modern methodologies. The following studies show ML models for ship trajectory prediction currently being developed.

Fikioris et al. exhibited a way for fine-tuning the parameter value selection for the trajectory detection module they developed. Researchers added vessel type into the configuration to improve trajectory synopses in terms of both approximation error and compression ratio. A GA was utilized in the study to develop a suitable configuration for each vessel type. Empirical results indicate that the compression efficiency may be higher than with the default parametrization (Fikioris et al., 2020). Filipiak et al. described how to derive sea routes from AIS data using a parallel genetic algorithm coupled with KD-B trees (Filipiak et al., 2020). Based on historical AIS trajectories, Han and Yang derived the main channel of a particular sea area, constructed a topological channel network by preserving the channel's geometric characteristics, and found the route of the ships through a grid-channel network (Han & Yang, 2020).

Wen et al. applied the DBSCAN algorithm to extract the turning section of a ship's trajectory, and an automatic route design algorithm was developed (Wen et al., 2020). Kontopoulos et al. used historical AIS data and polynomial interpolation to extract shipping lanes. Modifying the DBSCAN algorithm achieved more coherent clusters of trajectory points, which are then assembled to form shipping lanes. The analysis of future vessel paths shows that most (i.e., more than 90%) of them fall into the extracted shipping lanes (Kontopoulos et al., 2021). According to the authors, future studies should examine dynamic constraints in real-time (such as water velocity), rather than static constraints, and use 3D information instead of 2D to plan shipping routes.

#### **4.4. Demand and Throughput Forecasting**

The economic development of ports relies on container throughput, and accurate forecasting of container throughput can improve container operation efficiency while catering to financial trading needs. Some of the relevant studies include those summarized below.

RL framework for freight demand forecasting is proposed by Hassan et al. for supporting operational planning (Al Hajj Hassan et al., 2020). Kanamoto et al. forecasted future shipping demand based on AIS data from dry bulk vessels using a logit model and RA (Kanamoto et al., 2021). Experimental results have shown the Base Optimization Algorithm (BOA) algorithm outperforms the ant lion optimizer (ALO) for container throughput forecasting in Du et al.'s (2019) study. Gao et al. demonstrated using LSTM that LSTM is more accurate than AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA) or backpropagation neural networks at predicting daily volumes of containers entering a storage yard (Gao et al., 2019). Li et al. proposed a hybrid secondary decomposition learning strategy for monthly forecasting of container throughput. The sample entropy is a metric for determining the complexity of a data series, and different modes are forecasted using ELM and KELM. The suggested method is highly effective for predicting nonlinear and nonstationary container throughput (Li et al., 2019).

Demand forecasting plays a vital role in making informed business decisions by using historical data to predict future sales. However, little research has been conducted on demand forecasting in the maritime industry.

#### **4.5. Ship Design and Building**

Kim et al. (2012) investigated AI applications in ship design and shipbuilding using the Takagi-Sugeno fuzzy model to create a stabilization controller system for autonomous unmanned underwater vehicles (UnVs). Cheng et al. (2012) developed a GA for path planning in a UnV that, despite being first regarded as a less-than-optimal solution due to a lack of a complete grasp of the problem, delivered better solutions at a reduced cost. Zhao et al. (2014) developed an adaptive neural network control that was applied to the control problem of monitoring the desired trajectory for a fully operated marine surface vehicle while taking different output restrictions into account. This was considered the most recent application of AI in the design of autonomous UnV.

Kim and Moon (2006) estimated the ship's wake fields on the propeller plane using a neuro-fuzzy approach. This approach produces precise and safe estimates of wake distributions. As a result of this research, hull form designers may estimate ship wake distribution during the early design stage, leading to the enhancement and optimization of stern hull form. Sanders (2009) suggested a pattern recognition method for distinguishing shipbuilding parts based on ANN and Fourier descriptors. The system used shape contour data with size, translation, and rotation invariant. Fourier descriptors provided data, and neural networks generated shape assessments.

#### **4.6. Other Applications**

Ning Chen proposes a DL strategy for container target recognition and detection based on the Faster R-CNN framework. The DS-VGG network is intended to improve accuracy while decreasing network parameters for faster recognition. The adversarial spatial transformer network (ASTN) improves data variety and identification performance by allowing faster network training. Under comparison to Faster R-CNN, recognition performance improves dramatically in difficult settings like fog, rain, and darkness (N. Chen et al., 2020). Chen et al. analyzed the results of CNN for ship movement classification, comparing them with KNN, SVM, and DT. The study showed that CNN is more effective for AIS data classification than other methods (X. Chen et al., 2020). To improve the Baltic Dry Index (BDI) predictive performance, Kamal et al. constructed a deep ensemble recurrent network consisting of RNN, LSTM, and a gated rectified unit neural network (GRU). According to the findings, the ensemble strategy outperformed the solo DL approach (Kamal et al., 2020).

Kim et al. suggested a unique AI vision-based monitoring system (AVMS) for ship berthing. Because it has such a large field of view, the AVMS can measure the distance between ship and berth regardless of ship size. It also gives the pilot a real-time picture of the ship approaching the berth, allowing for safe berthing (H. Kim et al., 2020). A ML approach was used in Lee et al.'s analysis, which resulted in predictions based on berthing velocity data (Li et al., 2019). Predictive analytics in maritime research has many applications, from predicting ship propulsion failure to predicting hazardous coastal blooms. Jimenez et al. suggest that predictive algorithms are now being developed in maintenance prediction. The authors demonstrated an ML-based solution for predictive maintenance in the maritime industry using real-time monitoring data (Jimenez et al., 2020).



## 5. Conclusions

This study combines bibliometric analysis and systematized content analysis to present a comprehensive review of AI studies in the maritime domain. In the findings, the different uses of AI in Maritime Logistics are summarized, along with their various techniques and an overview of the current state of research.

Maritime Logistics employs ML primarily based on AIS data as their primary input due to their widespread availability of large datasets. Maritime Logistics applications in other aspects aside from routing vessels aren't adequately represented because of this. It would be more beneficial to apply ML at the intersection of Logistics at sea and Logistics on land (terminals and hinterland) if more data were available to create more possibilities for applications requiring large datasets.

Two potential domains have been identified that could be further investigated using AI capabilities in the maritime industry. The first domain is energy efficiency optimization, which includes optimizing marine vessel speed, fuel usage, and vessel route planning. The other is predictive analysis, which provides traffic monitoring, ship repair forecasting, collision risk assessment, and other issues. In addition, ML and Operations Research (OR) have also led to a growing interest in automating the learning of heuristics for optimization problems to avoid the need for humans to develop highly specialized heuristics that are costly and time-consuming. Future research can take advantage of these new approaches to ML to address problems in Maritime Logistics utilizing the ever-increasing amount of data available.

## References

- Abebe, M., Shin, Y., Noh, Y., Lee, S., & Lee, I. (2020). Machine Learning Approaches for Ship Speed Prediction towards Energy Efficient Shipping. *Applied Sciences*, 10(7). doi:10.3390/app10072325
- Adi, T. N., Iskandar, Y. A., & Bae, H. (2020). Interterminal Truck Routing Optimization Using Deep Reinforcement Learning. *Sensors*, 20(20). doi:10.3390/s20205794
- Al Hajj Hassan, L., Mahmassani, H. S., & Chen, Y. (2020). Reinforcement learning framework for freight demand forecasting to support operational planning decisions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 137, 101926. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101926>
- Anwar, M., Henesey, L., & Casalicchio, E. (2019). *Digitalization in Container Terminal Logistics : A Literature Review*. Paper presented at the 27th Annual Conference of International Association of Maritime Economists, Athens. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-18482>
- Brouer, B. D., Karsten, C. V., & Pisinger, D. (2017). Optimization in liner shipping. *4OR*, 15(1), 1-35. doi:10.1007/s10288-017-0342-6
- Ceyhun, G. Ç. (2020). Recent developments of artificial intelligence in business logistics: A maritime industry case. In *Digital Business Strategies in Blockchain Ecosystems* (pp. 343-353): Springer.
- Chen, N., Ding, X., & Zhang, H. (2020). Improved Faster R-CNN identification method for containers. *International Journal of Embedded Systems*, 13(3), 308-317. doi:10.1504/IJES.2020.109968
- Chen, X., Liu, Y., Achuthan, K., & Zhang, X. (2020). A ship movement classification based on Automatic Identification System (AIS) data using Convolutional Neural Network. *Ocean Engineering*, 218, 108182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108182>
- Cheng, C., Fallahi, K., Leung, H., & Tse, C. K. (2012). A Genetic Algorithm-Inspired UUV Path Planner Based on Dynamic Programming. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(6), 1128-1134. doi:10.1109/TSMCC.2011.2180526
- de la Peña Zarzuelo, I., Freire Soane, M. J., & López Bermúdez, B. (2020). Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100173>
- Dornemann, J., Rückert, N., Fischer, K., & Taraz, A. (2020). *Artificial intelligence and operations research in maritime logistics*.
- Du, P., Wang, J., Yang, W., & Niu, T. (2019). Container throughput forecasting using a novel hybrid learning method with error correction strategy. *Knowledge-Based Systems*, 182, 104853. doi:<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.07.024>
- Fikioris, G., Patroumpas, K., & Artikis, A. (2020, 30 June-3 July 2020). *Optimizing Vessel Trajectory Compression*. Paper presented at the 2020 21st IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM).
- Filipiak, D., Węcel, K., Stróżyńska, M., Michalak, M., & Abramowicz, W. (2020). Extracting Maritime Traffic Networks from AIS Data Using Evolutionary Algorithm. *Business & Information Systems Engineering*, 62(5), 435-450. doi:10.1007/s12599-020-00661-0
- Fruth, M., & Teuteberg, F. (2017). Digitization in maritime logistics—What is there and what is missing? *Cogent Business & Management*, 4(1), 1411066. doi:10.1080/23311975.2017.1411066
- Gao, Y., Chang, D., Fang, T., & Fan, Y. (2019). The Daily Container Volumes Prediction of Storage Yard in Port with Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 5764602. doi:10.1155/2019/5764602
- Han, P., & Yang, X. (2020). Big data-driven automatic generation of ship route planning in complex maritime environments. *Acta Oceanologica Sinica*, 39(8), 113-120. doi:10.1007/s13131-020-1638-5
- Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., & Voß, S. (2017). Digital transformation in maritime ports: analysis and a game theoretic framework. *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, 18(2), 227-254. doi:10.1007/s11066-017-9122-x
- Hoque, X., & Sharma, S. K. (2020). Ensembled deep learning approach for maritime anomaly detection system. In *Proceedings of ICETIT 2019* (pp. 862-869): Springer.
- Hu, Z.-H., Liu, C.-J., Chen, W., Wang, Y.-G., & Wei, C. (2020). Maritime convection and fluctuation between Vietnam and China: A data-driven study. *Research in Transportation Business & Management*, 34, 100414. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100414>
- Ji, C., & Lu, S. (2020). Exploration of marine ship anomaly real-time monitoring system based on deep learning. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38, 1235-1240. doi:10.3233/JIFS-179485
- Jimenez, V. J., Bouhmal, N., & Gausdal, A. H. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel

- machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(4), 358-386. doi:<https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
- Kamal, I. M., Bae, H., Sunghyun, S., & Yun, H. (2020). DERN: Deep Ensemble Learning Model for Short- and Long-Term Prediction of Baltic Dry Index. *Applied Sciences*, 10(4). doi:10.3390/app10041504
- Kanamoto, K., Murong, L., Nakashima, M., & Shibasaki, R. (2021). Can maritime big data be applied to shipping industry analysis? Focussing on commodities and vessel sizes of dry bulk carriers. *Maritime Economics & Logistics*, 23(2), 211-236. doi:10.1057/s41278-020-00171-6
- Kim, D. W., Lee, H. J., Kim, M. H., Lee, S.-y., & Kim, T.-y. (2012). Robust sampled-data fuzzy control of nonlinear systems with parametric uncertainties: Its application to depth control of autonomous underwater vehicles. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 10(6), 1164-1172. doi:10.1007/s12555-012-0611-2
- Kim, H., Kim, D., Park, B., & Lee, S. M. (2020). Artificial Intelligence Vision-Based Monitoring System for Ship Berthing. *IEEE Access*, 8, 227014-227023. doi:10.1109/ACCESS.2020.3045487
- Kim, K.-i., & Lee, K. M. (2019). Adaptive Information Visualization for Maritime Traffic Stream Sensor Data with Parallel Context Acquisition and Machine Learning. *Sensors*, 19(23). doi:10.3390/s19235273
- Kim, S. Y., & Moon, B. Y. (2006). Wake distribution prediction on the propeller plane in ship design using artificial intelligence. *Ships and Offshore Structures*, 1(2), 89-98. doi:10.1533/saos.2006.0113
- Kontopoulos, I., Varlamis, I., & Tserpes, K. (2021). A distributed framework for extracting maritime traffic patterns. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(4), 767-792. doi:10.1080/13658816.2020.1792914
- Lee, H.-T., Lee, J.-S., Son, W.-J., & Cho, I.-S. (2020). Development of Machine Learning Strategy for Predicting the Risk Range of Ship's Berthing Velocity. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(5). doi:10.3390/jmse8050376
- Lee, H.-T., Lee, J.-S., Yang, H., & Cho, I.-S. (2021). An AIS Data-Driven Approach to Analyze the Pattern of Ship Trajectories in Ports Using the DBSCAN Algorithm. *Applied Sciences*, 11(2). doi:10.3390/app11020799
- Li, H., Bai, J., & Li, Y. (2019). A novel secondary decomposition learning paradigm with kernel extreme learning machine for multi-step forecasting of container throughput. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 534, 122025. doi:<https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122025>
- Liang, T.-P., & Liu, Y.-H. (2018). Research Landscape of Business Intelligence and Big Data analytics: A bibliometrics study. *Expert Systems with Applications*, 111, 2-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.018>
- Liu, D., & Shi, G. (2020). Ship Collision Risk Assessment Based on Collision Detection Algorithm. *IEEE Access*, 8, 161969-161980. doi:10.1109/ACCESS.2020.3013957
- Man, Y., Sturm, T., Lundh, M., & MacKinnon, S. N. (2020). From Ethnographic Research to Big Data Analytics—A Case of Maritime Energy-Efficiency Optimization. *Applied Sciences*, 10(6). doi:10.3390/app10062134
- Mekkaoui, S. E., Benabbou, L., & Berrado, A. (2020, 28-30 Oct. 2020). *A Systematic Literature Review of Machine Learning Applications for Port's Operations*. Paper presented at the 2020 5th International Conference on Logistics Operations Management (GOL).
- Millington, I., & Funge, J. (2009). *Artificial intelligence for games*: CRC Press.
- Munim, Z. H. (2019). Autonomous ships: a review, innovative applications and future maritime business models. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 20(4), 266-279. doi:10.1080/16258312.2019.1631714
- Munim, Z. H., Dushenko, M., Jimenez, V. J., Shakil, M. H., & Imset, M. (2020). Big data and artificial intelligence in the maritime industry: a bibliometric review and future research directions. *Maritime Policy & Management*, 47(5), 577-597. doi:10.1080/03088839.2020.1788731
- Murray, B., & Perera, L. P. (2020). A dual linear autoencoder approach for vessel trajectory prediction using historical AIS data. *Ocean Engineering*, 209, 107478. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107478>
- Ozturk, U., Birbil, S. I., & Cicek, K. (2019). Evaluating navigational risk of port approach manoeuvres with expert assessments and machine learning. *Ocean Engineering*, 192, 106558. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106558>
- Peng, Y., Liu, H., Li, X., Huang, J., & Wang, W. (2020). Machine learning method for energy consumption prediction of ships in port considering green ports. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121564. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121564>
- Qiang, L., & Bi-Guang, H. (2020). Artificial Neural Network Controller for Automatic Ship Berthing Using Separate Route. *Journal of Web Engineering*, 1089-1116.
- Ruiz-Aguilar, J. J., Moscoso-López, J. A., Urda, D., González-Enrique, J., & Turias, I. (2020). A Clustering-Based Hybrid Support Vector Regression Model to Predict Container Volume at Seaport Sanitary Facilities. *Applied Sciences*, 10(23). doi:10.3390/app10238326
- Ruiz-Aguilar, J. J., Urda, D., Moscoso-López, J. A., González-Enrique, J., & Turias, I. J. (2020). A freight inspection volume forecasting approach using an aggregation/disaggregation procedure, machine learning and ensemble models. *Neurocomputing*, 391, 282-291. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.06.109>
- Sanchez-Gonzalez, P.-L., Diaz-Gutiérrez, D., Leo, T. J., & Núñez-Rivas, L. R. (2019). Toward Digitalization of Maritime Transport? *Sensors*, 19(4). doi:10.3390/s19040926
- Sanders, D. A. (2009). Recognizing shipbuilding parts using artificial neural networks and Fourier descriptors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(3), 337-342. doi:10.1243/09544054JEM1382
- Santipantakis, G. M., Glenis, A., Patroumpas, K., Vlachou, A., Doukeridis, C., Vouros, G. A., . . . Theodoridis, Y. (2020). SPARTAN: Semantic integration of big spatio-temporal data from streaming and archival sources. *Future Generation Computer Systems*, 110, 540-555. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2018.07.007>
- Shankar, S., Ilavarasan, P. V., Punia, S., & Singh, S. P. (2020). Forecasting container throughput with long short-term memory networks. *Industrial Management & Data Systems*, 120(3), 425-441. doi:10.1108/IMDS-07-2019-0370
- Shin, Y. W., Abebe, M., Noh, Y., Lee, S., Lee, I., Kim, D., . . . Kim, K. C. (2020). Near-Optimal Weather Routing by Using Improved A\* Algorithm. *Applied Sciences*, 10(17). doi:10.3390/app10176010
- Sirimanne, S. N., Hoffman, J., Juan, W., Asariotis, R., Assaf, M., Ayala, G., . . . Prenti, A. (2019). *Review of maritime transport 2019*.

- Song, R., Huang, L., Cui, W., Óskarsdóttir, M., & Vanthienen, J. (2020). Fraud Detection of Bulk Cargo Theft in Port Using Bayesian Network Models. *Applied Sciences*, 10(3). doi:10.3390/app10031056
- Štepec, D., Martinčič, T., Klein, F., Vladušič, D., & Costa, J. P. (2020, 30 June-3 July 2020). *Machine Learning based System for Vessel Turnaround Time Prediction*. Paper presented at the 2020 21st IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM).
- Suo, Y., Chen, W., Claramunt, C., & Yang, S. (2020). A Ship Trajectory Prediction Framework Based on a Recurrent Neural Network. *Sensors*, 20(18). doi:10.3390/s20185133
- Tsaganos, G., Nikitakos, N., Dalaklis, D., Ölcer, A. I., & Papachristos, D. (2020). Machine learning algorithms in shipping: improving engine fault detection and diagnosis via ensemble methods. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 19(1), 51-72. doi:10.1007/s13437-019-00192-w
- Tsou, M.-C. (2018). Big data analytics of safety assessment for a port of entry: A case study in Keelung Harbor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 233(4), 1260-1275. doi:10.1177/1475090218805245
- Varlamis, I., Kontopoulos, I., Tserpes, K., Etemad, M., Soares, A., & Matwin, S. (2021). Building navigation networks from multi-vessel trajectory data. *GeoInformatica*, 25(1), 69-97. doi:10.1007/s10707-020-00421-y
- Wang, L., Li, Y., Wan, Z., Yang, Z., Wang, T., Guan, K., & Fu, L. (2020). Use of AIS data for performance evaluation of ship traffic with speed control. *Ocean Engineering*, 204, 107259. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107259>
- Wang, X., Li, J., & Zhang, T. (2019). A Machine-Learning Model for Zonal Ship Flow Prediction Using AIS Data: A Case Study in the South Atlantic States Region. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(12). doi:10.3390/jmse7120463
- Wang, Y., Zhang, F., Yang, Z., & Yang, Z. (2021). Incorporation of deficiency data into the analysis of the dependency and interdependency among the risk factors influencing port state control inspection. *Reliability Engineering & System Safety*, 206, 107277. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107277>
- Wen, Y., Sui, Z., Zhou, C., Xiao, C., Chen, Q., Han, D., & Zhang, Y. (2020). Automatic ship route design between two ports: A data-driven method. *Applied Ocean Research*, 96, 102049. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.102049>
- Xiao, Z., Fu, X., Zhang, L., & Goh, R. S. M. (2020). Traffic Pattern Mining and Forecasting Technologies in Maritime Traffic Service Networks: A Comprehensive Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(5), 1796-1825. doi:10.1109/TITS.2019.2908191
- Xu, G., Chen, C.-H., Li, F., & Qiu, X. (2020). AIS data analytics for adaptive rotating shift in vessel traffic service. *Industrial Management & Data Systems*, 120(4), 749-767. doi:10.1108/IMDS-01-2019-0056
- Yan, R., Wang, S., & Du, Y. (2020). Development of a two-stage ship fuel consumption prediction and reduction model for a dry bulk ship. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101930. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101930>
- Yan, X., Wang, K., Yuan, Y., Jiang, X., & Negenborn, R. R. (2018). Energy-efficient shipping: An application of big data analysis for optimizing engine speed of inland ships considering multiple environmental factors. *Ocean Engineering*, 169, 457-468. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.08.050>
- Yang, C.-H., & Chang, P.-Y. (2020). Forecasting the Demand for Container Throughput Using a Mixed-Precision Neural Architecture Based on CNN-LSTM. *Mathematics*, 8(10). doi:10.3390/math8101784
- Yang, D., Wu, L., Wang, S., Jia, H., & Li, K. X. (2019). How big data enriches maritime research – a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications. *Transport Reviews*, 39(6), 755-773. doi:10.1080/01441647.2019.1649315
- Yang, T., Han, C., Qin, M., & Huang, C. (2020). Learning-Aided Intelligent Cooperative Collision Avoidance Mechanism in Dynamic Vessel Networks. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6(1), 74-82. doi:10.1109/TCCN.2019.2945790
- Zhang, R., Bahrami, Z., Wang, T., & Liu, Z. (2021). An Adaptive Deep Learning Framework for Shipping Container Code Localization and Recognition. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-13. doi:10.1109/TIM.2020.3016108
- Zhao, Z., He, W., & Ge, S. S. (2014). Adaptive Neural Network Control of a Fully Actuated Marine Surface Vessel With Multiple Output Constraints. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22(4), 1536-1543. doi:10.1109/TCST.2013.2281211
- Zhong, C., Jiang, Z., Chu, X., & Liu, L. (2019). Inland Ship Trajectory Restoration by Recurrent Neural Network. *Journal of Navigation*, 72(6), 1359-1377. doi:10.1017/S0373463319000316
- Zhou, X., Liu, Z., Wang, F., Xie, Y., & Zhang, X. (2020). Using Deep Learning to Forecast Maritime Vessel Flows. *Sensors*, 20(6). doi:10.3390/s20061761



## Akıllı Evlerde IoT Teknolojileri ve Siber Güvenlik

İsa Avcı<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7032-8018), [isaavci@karabuk.edu.tr](mailto:isaavci@karabuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080228)

**ATIF/REFERENCE:** Avcı, İ. (2022). Akıllı Evlerde IoT Teknolojileri ve Siber Güvenlik. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 226-233.

### Öz

Teknolojinin hızlı gelişmesiyle insanların kullanımına birçok akıllı cihazlar sunulmuştur. Akıllı cihazlar Nesnelerin İnterneti (IoT) birlikte akıllı evlerdeki cihazların akıllı hale gelmesi ile akıllı ev konsepti oluşmuştur. Akıllı evlerdeki cihazları kullanan kullanıcıların bu konudaki eksikliklerinden dolayı hırsızların, bilgisayar korsanlarının ya da kötü niyetli diğer kullanıcıların saldırıları giderek artmaktadır. IoT teknolojileri çevremizde bulunan fiziksel olayları kontrol etmemizi, onları takip, analiz etmemizi sağlayan cihaz, yazılım ve erişim hizmetlerini kapsayan bir iletişim ağıdır. Teknolojinin hızla geliştiği, internet kullanımının yaygınlaştığı, ayrıca yaşam şartlarının ortaya çıkardığı ihtiyaçlar dolayısıyla IoT'ye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. IoT artık hayatımızın her alanında yaygın bir şekilde kullanılan ve duyduğumuz bir kavram olmuştur. Akıllı sistemler olarak da bilinen IoT uygulamaları akıllı şebeke, akıllı şehir, akıllı ev, akıllı sağlık, akıllı çevre ve buna benzer birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, akıllı ev ve özellikleri, akıllı evlerde kullanılan IoT teknolojileri ve IoT güvenlik katmanları incelenmiştir. Akıllı evlerde kullanılan IoT cihazlarının ve uygulamalarının siber güvenlik açısından yaşanan sorunlar, siber saldırılar, güvenlik açıklıkları ve güvenlik açısından korunabilmek için alınması gereken önlemler incelenmiştir. Ayrıca yaşanan güvenlik sorunları siber güvenlik açısından değerlendirilerek çözüm yolları önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Ev, Nesnelerin İnterneti, Siber Güvenlik.

## IoT Technologies and Cyber Security in Smart Homes

### Abstract

With the rapid development of technology, many smart devices have been offered to people's use. Smart devices the concept of smart home has emerged with the Internet of Things (IoT) making smart devices in smart homes. The attacks of thieves, hackers, or other malicious users are increasing due to the shortcomings of users using devices in smart homes. IoT technologies are a communication network that includes devices, software, and access services that enable us to control, monitor, and analyze physical events in our environment. The interest in IoT is increasing day by day due to the rapid development of technology, the widespread use of the internet, and the needs of living conditions. IoT has now become a concept that is widely used and heard in every aspect of our lives. IoT applications, also known as smart systems, are used in smart grids, smart cities, smart homes, smart health, smart environment, and many similar areas. In this study, the smart home and its features, IoT technologies used in smart homes, and IoT security layers are examined. The precautions to be taken to protect the IoT devices and applications used in smart homes in terms of cyber security, cyber attacks, security vulnerabilities, and security are examined. In addition, security problems were evaluated in terms of cyber security, and solutions were suggested.

**Keywords:** Smart Home, Internet of Things, Cyber Security.

\* Sorumlu Yazar: [isaavci@karabuk.edu.tr](mailto:isaavci@karabuk.edu.tr)

## 1. Giriş

Bu ünümüzde hayatımızı daha kolay yaşanabilir hale getirebilmek için teknoloji her geçen gün gelişmektedir. Gelişen teknolojiyle beraber Nesnelerin interneti (IoT) her birey tarafından bilinen bir kavram haline gelmiş, hayatımızın bir alanında yer verilmiştir. Akıllı telefonlar, Akıllı cihazlar ve akıllı bir dünya IoT' un akıllı vizyonudur. Amaç, günlük yaşantımızın ana hususu olup, kullanıcının davranış ve istekleri doğrultusunda gelişmesidir. Nesnelerin interneti 1999 yılında IoT bir radyo frekansı ile tanımlama teknolojisinde Kevin Ashton tarafından ilk kez kullanılmıştır (Asthon, 2009). 1991 yılında ilk IoT uygulaması, Cambridge Üniversitesi'ndeki bir grup akademisyen tarafından kameralı bir sistem ile bir kahve makinasının görüntülerinin internet üzerinden paylaşılarak uzaktan izlenmesi ile kullanılmaya başlamıştır (López-de-Armentia et al., 2012). Akıllı ev kavramı ise günümüzde kullanımı artırmakta olup her geçen gün hayatımıza daha çok girmeye başlamıştır. Akıllı ev sistemleri ise insan hayatının günlük yaşantısına çeşitli hizmetler sunarak, yaşamımıza kolaylıklar sağlayan, hayat kalitemizi artıran ve uzaktan kontrol gibi konularda evlerimizde bize çeşitli faydalar sunan bir teknolojidir. Tomaş yapmış olduğu çalışmada, akıllı ev çeşitlerinden hangileri günümüzde uygulanmakta ve bunlara örnek olan birkaç ev örneği incelemesi ele alınmış, akıllı ev üreticileri, tasarımcıları, teknik yetkililer ile görüşmeler yapılmış ve bu sonuçlar doğrultusunda akıllı evlerin zayıf güçlü fırsat tehdit yönleri SWOT analizi yöntemi ile ele alınması gerektiğini belirtmiştir (Tomaş, 2019). Akıllı ev otomasyonu sisteminde kullanılan tüm cihazlar birbirleriyle kablosuz ağlar veya kablosuz sensör ağlar yardımıyla haberleşmektedir. Bu haberleşmenin gerçekleşmesi için Makine-To-Makine (M2M) uygulama tabanlı bir akıllı ev ve güvenlik sistemi kurulmaktadır (Jiang et al., 2021).

Kullanıcı uygulama ile uzaktan kablosuz bir şekilde ev sistemine giriş yapmakta, evdeki elektrik, su, sıcaklık, hareket algılama vs. gibi birçok alanda uzaktan kontrollerini sağlayıp güncellemeler yapabilmektedir (Ozkaya vd, 2018). IoT sayesinde ev ortamında kullanılan cihazların durumları bildirilmekte ve kullanılmayan cihazlar otomatik olarak kapatılabilmesi durumu kurulan sistemler sayesinde elektrik, su tasarrufunda verimliliği de artırılmaktadır (Gökrem ve Bozuklu, 2016). Ayrıca Blynk sisteminin sunduğu bulut hizmeti sistem ile ilgili verileri depolama imkânı sunar ve veriler ile cihaz ile haberleşme sağlayarak cihazın çalışması durması işlemi gerçekleşir (Taştan, 2019). Akıllı ev sistemleri; ışık kaynakları, aydınlatma kontrolü, soğutma sistemlerin, havalandırma, ısıtma, panjur, sensör ve detektörler, alarmlar, kamera, gaz kontrolü vs. gibi araçlar üzerindeki sistemler ve kullanılan teknolojileri kapsamaktadır (Şahinoğlu, 2006). Bir başka çalışmada ise akıllı mutfak çalışmaları, günümüz teknolojisini ve insan gereksinimleri doğrultusunda, mutfağın ve mutfakta bulunan materyallerin uzaktan erişilerek kontrol edilebilmesini sağlamak ve akıllı sistemlere ek çeşitli sistemler ile konforu artırmak gibi birçok amaçlarla yapılmıştır (Küçük ve Ekren, 2020). Özdemir ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada ise, akıllı ev sistemleri teknolojisinin henüz yeni bir teknoloji olduğu, kullanım oranının hızla arttığı ve yaygınlaştığı belirtilmektedir. IoT cihaz sayısının 2030 yılında 50 milyara ulaşacağı göz önünde bulundurulduğunda gelecekte güvenlik zafiyetlerinin çok ciddi problemlere yol açacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Bununla ilgili olarak üretici, kullanıcı ve devletlerin tedbir almaları ve çözüm üretmeleri gerekmektedir (Özdemir, 2019). Ayrıca günümüzde

siber saldırılar her geçen gün arttıkça IoT cihazları için güvenlik ve önlemlerinin alınması gerekmektedir. Böylece, internet ağı üzerinden gelebilecek olası saldırılardan korunmak üzere özellikle VPN kullanımı tercih edilmektedir. OpenVPN noktadan noktaya bağlantı kurduğu ve gönderilen veriler şifrelendiği için kullanılmaktadır (Kalyoncu ve Turan, 2020).

Simülasyon yardımı ile ise bir akıllı evde planlanan ve yapılması gereken işlemlerin simülasyon ile test edilmesi ve olağan durumlara karşı önceden önlemler alınabilmesi hakkında yapılan araştırmalarda ise Orta ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Simülasyon ile gerçekleştirilen çalışmada, gelecekte akıllı evlere eklenecek yeniliklerin testleri gerçekleştirilmeden simülasyon üzerinde test edilebilir, doğruları yanlışları ölçülür ve hayata geçirilebilir (Tomaş ve Dostoğlu, 2020). Ayrıca buna ek olarak Özdoğan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise; IoT' u geliştirirken simülasyon yazılımı ile çalışılması gereksiz zaman kaybında önleyeceği sonuçlarına varılmıştır (Özdoğan ve Daş, 2021). Özçekiç' in yapmış olduğu çalışmada ise "Akıllı Evlerde Kullanılan Teknolojiler" incelenmiş, teknolojiler arası karşılaştırmalar yapılmış, Ev içindeki cihazların haberleşmesi için HomeRF, noktadan noktaya haberleşme için Bluetooth, az masraf yaparak UPnP yöntemiyle ise X-10 sistemlerini ya da daha az masraf ile SMS yöntemini kullanmak gerekmektedir (Özçekiç, 2005). Bu çalışmada akıllı ev ve IoT, akıllı evlerin özellikleri, akıllı evler alınacak güvenlik sorunları ve önlemleri konuları detaylı olarak incelenecektir.

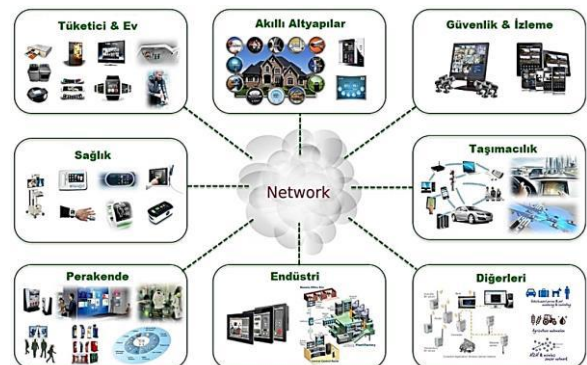
## 2. Akıllı Ev ve IoT

### 2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT) ifadesi fiziksel cihazların internet üzerinden dünyayla bağlantısını temsil etmektedir (Gokhale et al., 2019). Nesnelerin interneti kavramının içerisine sadece telefonlar, televizyonlar, buzdolapları değil internet üzerinden veri paylaşımı yapabilecek kabiliyete sahip, en az 1 sensör bulunan ve tekil bir isme sahip bütün fiziksel yapılar dahil edilebilir. Bu özelliklere sahip fiziksel cihazlar kendi aralarında veya internet üzerinden bir ekosistem oluşturarak veri alışverişinde bulunabilir.

### 2.2. Nesnelerin İnterneti Uygulama Alanları

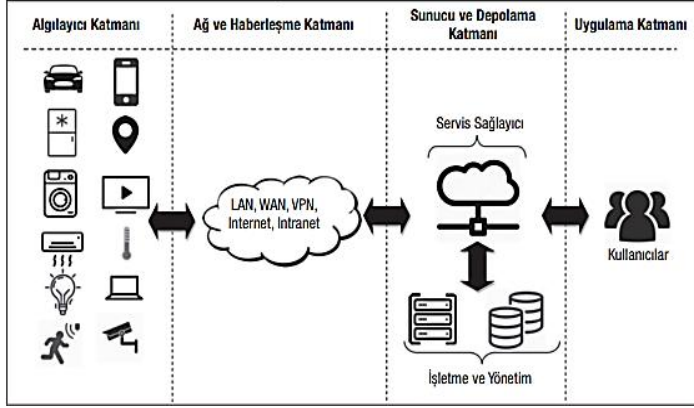
İnternet ve mobil cihaz teknolojisinin hızla gelişmesi ve her yere uygun sağlayabilme kabiliyeti sayesinde nesnelerin interneti de hayatımız içerisinde çok fazla uygulama alanına sahip olmuştur. Bu şekilde hızlı bir uygulama kabiliyetine sahip olan nesnelerin interneti akıllı ev, akıllı şehir, akıllı park, akıllı sokak, akıllı tarım, akıllı hayvancılık, akıllı tedarik uygulamaları, akıllı sağlık hizmetleri, akıllı mağazalar, akıllı askeri kullanımı gibi birçok alanda yaygın bir kullanıma sahiptir (Innova, 2022).



Şekil 1. IoT Kullanım Alanları (Innova, 2022).

### 2.3. IoT Katmanları

IoT katmanları algılayıcılar, ağ ve haberleşme, sunucu ve depolama ve uygulama katmanı olmak üzere genel olarak dört katmandan oluşmaktadır. Ağ ve haberleşme sayesinde tüm kullanıcılar ve sistemler arasında iletişim sağlanmaktadır.



Şekil 2. IoT Katmanları (Zeybek ve Yılmaz, 2019).

### 2.4. Akıllı Ev

“Akıllı Ev” fikri ilk 1980’lerin başlarında ABD’de ortaya çıkmış olup, ilk defa ise şu ifadeler ile tanımlanmıştır. “Akıllı bina, kullanıcıların performansını, ilk yatırım, işletme maliyetlerinde tasarrufu arttırmak, esnekliği maksimuma çıkarmak ve kaynakları koordinasyonlu bir şekilde verimli olarak yönetmek için çeşitli sistemlere entegre eden binalara verilen isimdir.” Türkiye’deki ilk uygulama örneği ise 1984 yılında yapılmıştır (Soumyalatha, 2016).

Akıllı evlerde de çokça adından söz ettiren IoT birçok cihazın internet aracılığı ile birbiri ile haberleşmesidir. Akıllı evler ise IoT teknolojisinin en önde gelen örneklerindedir. Akıllı ev, IoT teknolojileri vasıtası ile ev sahiplerinin ihtiyaçlarına yardımcı olan, onların hayatlarını kolaylıklar sağlayan ve daha konforlu, rahat, güvenli ve daha tasarruflu bir yaşam imkânı sunan evlere verilen isimdir. Akıllı evler, sistemleri ve otomatik işlevselliği ile kullanıcılar tarafından kontrol edilebilen, yönetilebilen cihazları kapsar.



Şekil 3. Akıllı Ev Konsepti (Soumyalatha, 2016).

### 2.5. Akıllı Ev Çeşitleri

Akıllı evler geçmişten günümüze her geçen gün gelişmekte olup teknolojinin ilerlemesi ile sürekli yenilenebilmektedir. Geçmişten günümüze akıllı evleri inceleyecek olursak;

#### 2.5.1. Uzaktan Kumanda ile Kontrol Edilebilen Evler

Uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen evler, herhangi bir Ana kontrol ünitesi olmayan, sistemi kumanda ile yönetilen evlerden oluşmaktadır.

e-ISSN: 2148-2683

#### 2.5.2. Programlanabilir Evler

Programlanabilir evlerin gelişimi ile sistemi uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen evlerin yanına bir zamana bağlı programlanabilme özelliği de eklenmiştir.

#### 2.5.3. Senaryolandırılmış Evler

Sistem uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen ve bir zamana bağlı programlanabilir evlerin özelliklerini içermektedir. Bunların yanında ana kontrol ünitesi, yani akıllı ev sisteminin modüller ve sensörler bulunmaktadır. Bu sisteme senaryolar girilerek sistemin çalışması beklenmektedir.

#### 2.5.4. Yapay Zekaya Sahip Evler

Yapay zekaya sahip akıllı evlerin çıkması ile senaryolandırılmış akıllı evlerde geri planda kalmıştır. Çünkü bu akıllı evlerde, senaryolar insanlar tarafından belirlenirken, yapay zekaya sahip evlerin, öğrenme yetenekleri vardır. Kullanıcılarını bir süre izleyip, tekrar eden hareketlerini analiz edip kullanıcılarının tepkilerine göre gerçekleştirilecek olan komutu ya da komutları devreye sokmaktadır.

### 2.6. Akıllı Evlerin Özellikleri

Akıllı evler kişinin ihtiyaçları doğrultusunda onların ihtiyaçlarını giderecek ve hayatlarını kolaylaştıracak sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemler tek bir noktadan kontrol edilebilmesiyle birlikte programlama özelliğiyle bu kontrolleri kendisi tarafından da sağlayabilmektedir.

#### 2.6.1. Duman Sensörü

Detektörler sayesinde gaz kaçağı durumunda uyarı veren, evi yangına karşı koruyan ve haberdar eden sistemdir. Siren sistemi, eve habersiz birinin girmesi, hırsızlık durumlarında ve gaz kaçağı olduğunda siren çalarak çevredeki insanları ve ev sahibini haberdar eden sistemdir. Su baskını sensörü evi, su basmalarına karşı koruyan ve uyarı sistemi ile elle ya da otomatik olarak vanaları kapatan sistemdir.

#### 2.6.2. Kapı Giriş Kontrolü

Belirlenen mekanlara girişi şifre kontrolü ile gerçekleştirir ve kart okutarak giriş yapılabilir. Manyetik kapı sensörü, evde bulunan pencereler, kapıların kontrolsüz açılması durumunda ev sahibine uyarı gönderen sistemdir. Garaj giriş sensörü, garaja giriş yapan araçları algılayıp kapının açılması kapanması durumlarını kontrol eden sistemdir.

#### 2.6.3. Güvenlik Sensörü

Evde yaşayan kişiler evde yokken evde biri varmış izlenimi vermek için pilot programın çalıştırıldığı sistemdir. Hareket ve hareketsizlik sensörü, kullanıcının eve girişi ile tasarlanan senaryoların devreye girdiği sistemdir. Kamera izleme sistemiyle, evin her yeri ev sahibinin evde olmaması durumunda bile uzaktan izlenebilir.

#### 2.6.4. Enerji Ölçümü

Akıllı evdeki enerji tüketimini ölçülebilir, her oda için sıcaklığı ayrı ayrı kontrol edebilir ve tasarruf sağlar. Akıllı priz, sayesinde prizdeki cihazlar uzaktan kontrol edilebilir, cihazlar kapatılabilir.

#### 2.6.5. Panik Butonu

Panik butonu, acil bir durum karşısında ev sahibi yakınları ve ilgili kurumlar ile iletişime geçebilen bir sistemdir.

### 2.6.6. Sulama Sistemi

Sulama, bahçenin sulama durumunu kullanıcının kontrol edebildiği, otomatik hava koşulları doğrultusunda sulama programı yapabilen sistemdir.

### 2.6.7. Sarsıntı Sensörü

Sarsıntı sensörü, sarsıntı durumunda veya ihtimalinde erken uyarı ile kullanıcıyı bilgilendiren ve önlemler alınan sistemdir. Perde ve panjur sistemleri, perdelerin, panjurların açma kapama durumunu tek bir tuş ya da tek bir hareket ile kontrol edilmesini sağlayan sistemdir. Havalandırma sisteminde ise kullanıcının klima ve havalandırma sistemlerini açıp kapayabildiği sistemdir.

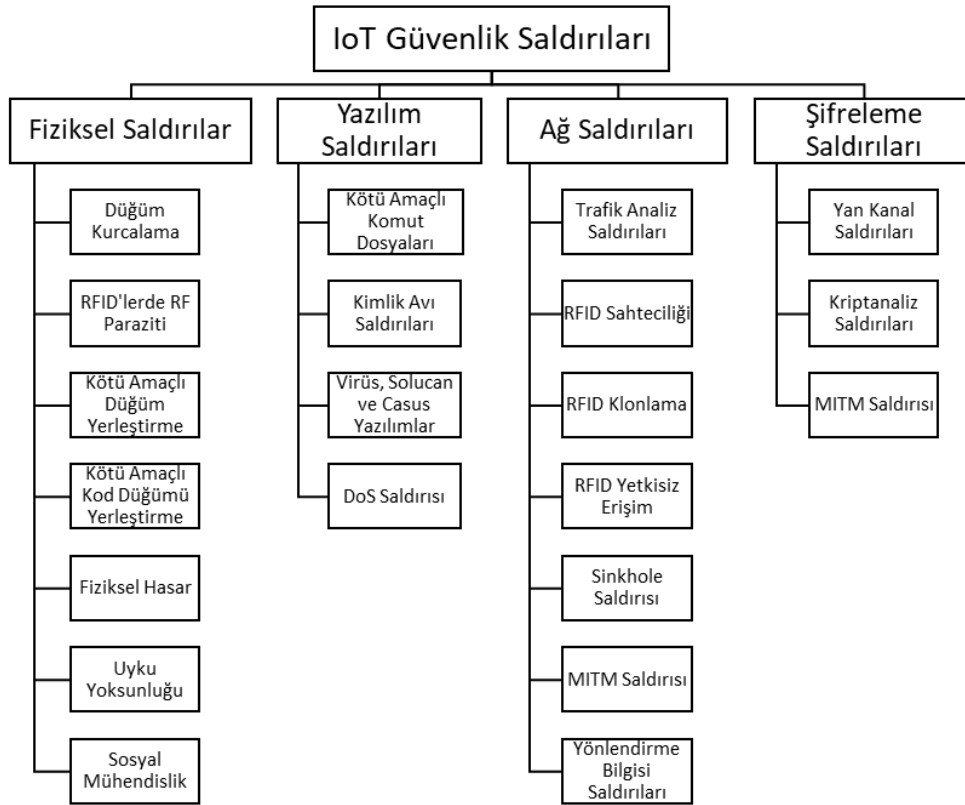
### 2.6.8. Aydınlatma Sistemi

Aydınlatma sistemi, ışıkların kullanıcının evde olma veya gitmedi durumunda otomatik ve manuel olarak kapandığı bir sistemdir ışıkların kullanıcı işe giderken veya uyurken otomatik olarak. Termometre sistemi, dışarının hava koşulları doğrultusunda içerinin sıcaklığını kontrol eden sistemdir. Multimedya kontrolü, evde bulunan video ve ses sistemlerinin uzaktan kontrol edilebildiği sistemlerdir. Akıllı evlerde kullanılan sistemlere kişinin ihtiyacı doğrultusunda eklemeler yapılabilmekte ve kullanıcının konforlu bir yaşam sürmesi sağlanmaktadır.

## 3. Akıllı Ev ve IoT Akıllı Evlerde IoT Güvenliği

### 3.1. Akıllı Evlerde IoT Güvenliği ve Siber Saldırı Yöntemleri

Akıllı evde cihazların sayısı günümüz şartları ve ihtiyaçları doğrultusunda artmaktadır. Bu durum insan hayatında büyük kolaylıklar sağlasa da önlemlerin alınmaması durumunda IoT güvenlik açıklarının oluşmasına ve tehditlere yol açmaktadır. Siber saldırılara karşı evdeki araçlar ile ev içine erişim sağlanabiliyor. ECHO ve Google Home cihazları gibi dijital asistanlar dünya çapında evlere erişim sağlamışlar. Eğer banka bilgileri, parolalar veya hassas, gizli bilgilerimiz paylaşıyorsa siber saldırılara karşı evimizin içine erişim söz konusu olabiliyor. Aynı durum bebek kameralarımızdan web kameramızı ele geçirebilecek olan bilgisayar korsanlarının evde olup olmadığını tespit edebilmesi de söz konusudur. Bu ve benzeri ihtimallerin gerçekleşmesi düşük ihtimalli olsa da imkânsız değildir. Bu durumda evimizde IoT güvenliğine karşı önlemler almamız gerekmektedir. Oluşabilecek tehdit durumlarının en başında gizlilik, veri hırsızlığı gelmektedir. Evimizi de birçok cihaz veri toplamaktadır bu veri bilgileri yanlış ellere düşmesi durumunda kimlik hırsızlığı sahte işler için kullanılabilir.



Şekil 4. IoT Sisteminde Çeşitli Güvenlik Saldırıları (Atlam ve Wills, 2020).

Bu durum karşısında önlem olarak mutlaka kimlik doğrulama işlemi ve şifreleme yapmamız gerekir. Bir diğer tehdit durumu ise cihazlarımızın ele geçirilmesidir. Saldırgan tarafından ele geçirilen cihazımız ilk başlarda işlevselliğini koruduğu için ele geçirildiğini anlamak mümkündür. Ancak normal çalışan bir cihazın tuhaf hareketler sergilemesi durumunda (mesela televizyonun tuhaf davranışlar sergilemesi, bahçe sulama sistemimizin gereğinden fazla çalışması) saldırgan bir cihazı ele

geçirse bile bu durum diğer cihazlarımızı da tehlikeye sokmaktadır. DDoS saldırısı dediğimiz bir diğer adı ile kalıcı hizmet reddi olarak da bilinen bu saldırı türünde ise cihazlarımız ağır hasarlar görebilir ve bu hasarlar sonucu donanımlarının bile değişimi gerekmektedir. Düzenli bir şekilde güvenlik izlemesinin yapılması şarttır. Güvenlik tehditlerinden korunmak için özellikle şifreleme, kimlik doğrulama ve erişim kontrolüne dikkat edilmelidir. Saldırıları açısından incelendiğinde fiziksel saldırılar,

yazılımsal saldırılar, ağ saldırıları ve şifreleme saldırıları olarak gruplamak mümkündür. Özellikle siber saldırı yöntemleri incelendiğinde Man-in-the-Middle saldırıları her güvenlik saldırı gruplarında yer almaktadır. Bu saldırılar özellikle IoT cihazların kablosuz olarak birbiri ile haberleşmesinden dolayı araya girerek sistemlere sızmayı hedeflemektedir. Bu saldırılar ağ üzerinde farklı bir ağ adı ile cihazların ve kullanıcıların bağlanmalarını beklemektedirler.

### 3.2. Akıllı Evlerde IoT Güvenliği Sorunları ve Alınması Gereken Önlemler

Akıllı ev sistemimizin güvenliğinin güçlü olması Wi-Fi ağı ile başlar. Güvenliği artırmak için ağ adını gizemli tutarak, bilgisayar korsanlarının ağ adı üzerinden marka ve modelini belirlemesini engellemiş olup, cihazlara ulaşımını zorlaştırırız. Varsayılan ad ve şifre bilgilerini değiştirerek, saldırganlara karşı önlemler alabiliriz. Şifre belirlemede başka yerde kullanmadığımız şifreleri tercih etmemiz önemlidir. Yazılımı güncel tutarak, IoT güvenliğine güçlü bir iyileştirme getirir. Modemi açıp kapatarak, VPN filtre gibi kötü amaç içeren yazılımların modemlerimize erişimini engelleriz. IoT cihazları için varsayılan ayarlarımızı değiştirmemiz gerekmektedir. Örneğin, uzaktan erişim kullanacaksa faydalı fakat kullanmayacaksa güvenlik riski yaratmaktadır. Kullanmadığımız cihazları devre dışı bırakmak güvenlik tedbiri

açısından önemlidir. İki Faktörlü kimlik doğrulamayı etkinleştirerek ise sistemimizi ve cihazlarımızı koruma açısından çok etkili bir faktördür.

Teknolojinin hızlı gelişmesiyle insanların kullanımına birçok elektronik cihaz sunulmuştur. Fakat insanların bu cihazları kullanım kabiliyetleri maalesef aynı hızda gerçekleşmemiştir. Kullanıcıların bu konudaki eksikliklerinden dolayı hırsızların, bilgisayar korsanlarının ya da kötü niyetli diğer kullanıcıların saldırıları giderek artmaktadır. Her gün insanların bilerek ya da bilmeyerek ortaya çıkardıkları güvenlik açıklarından dolayı kişisel veriler, bilgisayar korsanları tarafından çalınmakta, işlenmekte ve değiştirilmektedir. Bilgilerin elde edilmesi için artık fiziksel olarak kullanıcılara veya cihazlara yakın olmaya dahi gerek duyulmamaktadır. İnternete bağlı olan her cihaz tedbir alınmadığı zaman tehlike altındadır. Bu konuda bilişim okuryazarlığın artırılması, kullanıcıların bilgilendirilmesi gerekmektedir. Kişisel olarak alınabilecek önlemler kapsamında; modemlerin, cep telefonlarının vb. cihazların varsayılan yapılandırılmaları değiştirilmelidir. Varsayılan olarak gelen ağ adları kişisel olarak adlandırılmalı, güçlü şifreler oluşturulmalıdır. Bu şekilde saldırganların elektronik eşyalara erişimleri zorlaşacaktır. Ayrıca eve gelen misafirler için farklı bir kısıtlı ağ tanımlaması yapılabilir. Böylece hassas veriler tehlikeye atılmadan ağ paylaşımı yapılabilir.

Tablo 1. Olası Güvenlik Sorunları ve Çözümleri (Strecker ve ark., 2021), (Islam ve ark., 2021), (Karunaratne ve ark., 2021).

Roller	Güvenlik Zorlukları	Olası Çözümler
Veri İşleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veri Yayma</li> <li>Veri Dağıtım</li> <li>Veri İhlali</li> <li>Veri Şifreleme</li> <li>Veri Paylaşımı</li> <li>Büyük Veri Analizi</li> <li>Adli Bilişim</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güvenilir Platform</li> <li>Yetki İptali</li> <li>Simetrik Şifreleme ve Asimetrik Şifreleme</li> <li>Veri Maskeleye</li> </ul>
Ağ Hizmetleri ve İletişim	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kimlik Doğrulama</li> <li>Hafifletilmiş Protokoller</li> <li>Ağ İzleme</li> <li>Paket Filtreleme</li> <li>Tespit Sistemi</li> <li>Güven Yönetimi</li> <li>Sanallaştırma</li> <li>Erişim Kontrolü</li> <li>Arızaya Dayanıklılık</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Açık Anahtarlı Şifreleme, Biyometrik Tabanlı Kimlik Doğrulama</li> <li>Dijital İmza ve Dijital Sertifika Tahsisi</li> <li>Rol Tabanlı ve Öznitelik Tabanlı Kontrol Politikası</li> <li>Sis Tabanlı Gizlilik</li> </ul>
Cihaz Gizliliği	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hassas Veri Koruması</li> <li>Veri Bütünlüğü</li> <li>Güvenli Veri Paylaşımı</li> <li>Veri Kaybı</li> <li>Konum Gizliliği</li> <li>Kullanım Gizliliği</li> <li>Yedekleme ve Kurtarma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hafif şifreleme algoritması ve maskeleye teknikleri</li> <li>Homomorfik Şifreleme</li> <li>Ev Alanı Ağı Şifreleme Yöntemleri</li> <li>Takma Ad Yöntemleri</li> <li>Simetrik ve Asimetrik Şifreleme</li> </ul>

Açılış şifreleri, BIOS şifresi gibi başlangıç güvenlik önlemleri alınmalıdır. Güvenlik duvarı güncellemeleri zamanında yapılmalıdır. Herhangi bir açık bulunduğu takdirde bu güncellemeler güvenlik ihlallerini engelleyecektir. Lisanslı yazılımlar tercih edilmeli, korsan yazılım kullanmaktan kaçınılmalıdır. Lisansız yazılımların içinde kötü niyetli kodların olabileceği unutulmamalıdır. Eğer bir uygulama, program indirilecekse mutlaka orijinal sitesinden edinilmelidir. Kaynağı

bilinmeyen sitelerden herhangi bir dosya indirilmemelidir. Bu sitelerin zararları ilerleyen zamanlarda daha kötü sonuçlar ortaya çıkarabilir. Kullanılmadığı durumlarda Wi-Fi ve Bluetooth özelliği kapatılmalıdır. Bu hem cihazın bataryasının daha geç deşarj olmasını sağlayacak, hem de izinsiz erişim sağlamak isteyen kullanıcıları engelleyecektir. Son olarak cihazların fiziksel güvenliği sağlamak için koruyucu donanım kullanmaya dikkat edilmeli, çalıma ihtimaline karşı önlemler alınmalıdır.



### 3.3. IoT Uygulamalarında Bütüncül Güvenlik Yaklaşımı

Bir IoT sisteminde yer alan tüm bileşenler ve bu bileşenlerin muhtemel güvenlik riskleri üzerinde yaptığım analizler sonucunda sağlık alanındaki IoT uygulamaları için bütüncül bir güvenlik yaklaşımı sergilemek gerektiği kanaatine vardım. Bu sistemde her bir IoT bileşeninin güvenliği tüm sistemi etkilediği için, kuruluş aşamasında muhtemel zafiyetlerin tüm yönleriyle ele alınması gerekmektedir. Önerdiğim bütüncül güvenlik yaklaşımı metodu aşağıda görüldüğü gibi dört ana adım ve iki destekleyici adımdan oluşmaktadır.



Şekil 5. Bütüncül Güvenlik Yaklaşımı

### 3.4. Yaşanan En Büyük 10 Güvenlik Sorunları ve Çözümü

Mobil cihazlarda ve bilgisayarlarda olduğu gibi nesnelerin interneti alanında da çok fazla güvenlik sorunları bulunmaktadır. Aşağıda bu alanda karşılaşılan en büyük 10 güvenlik sorununu incelenip, bu sorunlara ait çözümler paylaşılmıştır.

#### 3.4.1. Eksiz Güvenlik Güncellemeleri

Nesnelerin interneti kolay kullanım için tasarlanmıştır. Bu nedenle ilk alındıklarında güvenilir olsalar dahi zamanla korsanlar tarafından yeni güvenlik açıkları bulunarak bu cihazlar korunmasız hale gelebilirler. Bu sebeple cihaz üreticileri zamanla yeni güvenlik güncellemeleri yayınlayacaktır ve kullanıcılar da cihazlarına bu güncellemeleri yüklemelidirler (Eurofins, 2022).

#### 3.4.2. Brute Force Saldırısı ve Varsayılan Kullanıcı Adı /Şifre

Birçok DDOS saldırılarında korsanlar "admin" kullanıcı adını ve şifresini kullanmaktadır. Bu şifre ve kullanıcı adı birçok cihazda varsayılan olarak tanımlanmakta ve kullanıcılar bu kullanıcı adını ve şifresini değiştirmemektedirler. Bu sebeple birçok cihaz bu saldırılara açık hale gelmektedir. Bu saldırılardan kurtulmak için ise cihaz temin edildikten sonra kullanıcı adı ve şifre değiştirilmelidir (Thalesgroup, 2022).

#### 3.4.3. IoT Cihaz Yönetimi Eksiklikleri

IoT ve IoMT sağlık, perakende, üretim, yaşam bilimleri alanlarındaki bütün cihazları birbirleriyle çalışır bir hale getirdi. Bu şekilde bütün cihazların birbirleriyle iletişim halinde olduğu bir ekosistemde ise cihazların yönetimi ve bir cihazın diğerini güvenlik açısından etkilememesi son derece yönetimi zor bir sorun haline gelmektedir. Özellikle sağlık sektöründe eski cihazlar ile yeni cihazların birlikte kullanılması operasyonel sorunlar, finansal kayıtlar, müşteri veri güvenliği gibi sorunlara

sebeptir (Thalesgroup, 2022). Bu sorunun çözümü için ise IoT cihaz yönetim sistemi kullanılmalı, bu sistem üzerinden gerekli cihaz konfigürasyonları, kontrolleri, yönetimi, sistem güncellemesi ve bakımı yapılmalıdır (Peerbits, 2022).

#### 3.4.4. Yetersiz Veri Koruma

IoT uygulamalarındaki en önemli güvenlik sorunlarından birisi de zayıf veri iletişimi ve veri depolamadan kaynaklanmaktadır. IoT cihazların güvenliği ve gizliliği için en önemli zorluklardan birisi de güvenliği ihmal edilmiş IoT cihazlarının veri sızdırmak için kullanılmasıdır. Bu konuda en önemli çözüm ise şifrelemedir. Verilerin şifrenmesi, izinsiz kullanımı, yetkisiz erişimi ve verilerin görünürlüğünü engeller (Eurofins, 2022).

#### 3.4.5. Uygulama Güvenlik Açıkları

Her yazılımda olduğu gibi IoT cihazları yazılımlarında da açıklar bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı IoT cihazlarının yazılımlarında da ilk baştan itibaren açıkların bulunduğu kabul edilmelidir. Korsanlar ise bu açıkları kullanarak cihazların kendi uygulamalarının normal çalışır halinden önemli verileri elde edebilmektedirler. Bu sorundan tamamen kaçınmak oldukça zordur. Bu soruna en iyi çözüm sisteme girişlerde sağlam bir kullanıcı girişi doğrulaması yapmaktır (Eurofins, 2022).

#### 3.4.6. Tedarikçi Yazılım/Güncelleme Desteği

IoT cihazları için bir diğer önemli unsur da ortaya çıkan bir bug'tan, sistem açığının tespit edilmesinden sonra cihazı üreten firmanın bu açığa ne kadar kısa sürede destek verdiğidir. Bazı sistem açıkları veya bug çok fazla sorun oluşturmasa da bazı açıklar hayati önem taşımaktadır. Bu durumda da IoT cihazlarını üreten firmanın bu konuda en kısa sürede yeni güncellemeler yayınlayıp bu hataları gidermesi gerekmektedir (Peerbits, 2022). Bu sorunun en kısa çözümü IoT cihazlarını üreten firmanın bu tür durumlarda nasıl bir politika izlediğini önceden bilerek o cihazı temin etmek gerekmektedir.

#### 3.4.7. Veri Güvenliği ve Gizlilik Endişeleri

Veri güvenliği ve gizliliği günümüz hayatında en büyük sorunu teşkil etmektedir. Firmalar artık sadece mobil cihazlardan ve web' ten değil IoT sayesinde internete bağlanabilen bütün cihazlardan verileri toplayabilmektedir. Toplanan bu veriler başka firmalara satılabilmekte, veriler üzerinden analizler yapılarak farklı şekillerde anlamlandırılmaktadır. Bütün bunlar ise kullanıcılar için bir güvenlik sorunu soruna haline gelmektedir. Bu sorunlara karşı çözüm olarak, kullanıcılar toplanacak verileri kişisel özel/hassas veri ve depolanabilecek veri şeklinde farklı gizlilik kuralları çerçevesinde toplatmalı, ihtiyaç duyulmayan verilerin hafızadan silinmesi, veri kesin bir şekilde toplanacak ise bunun bir yasal çerçevede toplanabilmesi gibi önlemleri alması gerekmektedir (Thalesgroup, 2022).

#### 3.4.8. Güvenilir Olmayan Arabirim Kullanımı

Kullanılan her IoT cihazı veri alıp veri iletmektedir. Bütün bu veri iletişimi ise IoT cihazları uygulamalara, iletişim protokollerine ve hizmetlere ihtiyaç duyarlar. Cihazlar arası veri iletişimi ise yeterli kimlik doğrulamasının olmaması, zayıf şifreleme veya şifrelemenin hiç olmaması büyük güvenlik sorunlarına sebep olabilmektedir. Bu sorunlara karşı çözüm olarak, cihaz kimlik doğrulamasının yapılması, cihazlar arası veri iletişimi cihazların birbiri ile iletişim protokollerinin yapılması, dijital güvenlik sertifikalarından yardım alınması gerekmektedir (Thalesgroup, 2022), (Peerbits, 2022).

### 3.4.9. Kötü Amaçlı Yazılımlar

Bilgisayarlar için geliştirilen kötü amaçlı yazılımlar daha sonra mobil cihazlar için şimdi ve gelecekte de IoT cihazları için geliştirilmede devam ediyor. Kısacası internete bağlanabilen bütün cihazlar bu tür yazılımların saldırısı altında kalıyor. Bu yazılımların amaçları daha çok cihazları devre dışı bırakmak, verileri çalmak, hassas bilgilere ulaşmaktır. Bu tür saldırılardan kurtulmak için zamanında güncelleme yapmak, kaynağı bilinmeyen yazılımların kullanılmasının önüne geçmek, cihazlar arasında bir bağlantı var ise bu bağlantıyı belirli protokoller üzerine kurmak gerekmektedir (Strecker ve ark., 2021).

### 3.4.10. Güvenilir Olmayan İletişim Ağları

Birçok IoT cihazları mesaj gönderimini herhangi bir şifreleme sistemi olamayan ağlar üzerinden gerçekleştirmektedir. Bu güvenlik sorunu IoT cihazları için en büyük güvenlik sorununu oluşturmaktadır. Bu sorunun çözümü için ise, IoT cihazlarının bağlı bulunduğu ağ veri şifreleme ve iletişimi standarttı olan TLS (Transport Layer Security) gibi güvenlik politikalarını uygulamalıdır. Bir diğer çözüm ise IoT cihazlarının bağlı olduğu ağları birbirlerinden ayırmaktır (Sivaganesan, 2021), (Islam ve ark., 2021).

## 4. Sonuç

Günümüzde birçok alanda kendine yer bulmaya başlayan IoT teknolojisi yakın zamanda içinde hayatımızı birçok yönden değiştirecektir. Yaşadığımız yüzyılın başında akıllı cihazlar ile tanışan insanlık, çeyrek asır geçmeden bu akıllı nesnelerin internet ve bulut sistemleriyle entegre edilmiş hali olan IoT teknolojisine uyum sağlama aşamasındadır. Teknolojinin gelişmesi ile insanların yaşam kalitesi artmaktadır ve bu durum hayatımızı kolaylaştırır da bazı açılardan hayatımızı zorlaştırabilmektedir. Çalışmadaki araştırma bulguları sonucunda yapılan analizlere göre akıllı evlerin güçlü yanları, enerji, zaman tasarrufu, konfor, güvenlik, fiziksel veya zihinsel eksiği olan insanlar için kolaylıklar sağlamaktadır. Zayıf yönleri ise, insanı tembel bir yaşama itmesi, maliyet yükseklidir. Akıllı evlerin fırsatları, insanın hayallerindeki evin ilerleyen teknoloji sayesinde gerçekleştirilmesi, insan bedeninin gerçekleştireceği birçok görevi tek bir tık ile telefondan halledilebiliyor olması, kişinin ihtiyaçları ve istekleri doğrultusunda özellikler ekleyip çıkarabilmesidir. Tehditlerine gelecek olursak, akıllı evlerin yaygınlaşması ile teknoloji daha yaygın hale gelmektedir. Ayrıca bu durumda saldırganların artmasına sertifikasız akıllı ev ürünlerinin satışa sunulması gibi sorunlara sebebiyet vermektedir. IoT cihazlarını akıllı av sistemlerinde kullanan kullanıcılar her şeyden önce temel güvenlik önlemlerini almalıdırlar. Kişisel verilerini kesinlikle bulut sistemlerinde ve lisanssız uygulamalarda bulundurmamalıdırlar. Buna ek olarak dış kaynaklardan temin edilen yazılımlarda akıllı ev ve kişisel verilerin güvenli olduklarına emin olmalıdırlar. Kullanılan uygulamaların gerekli güncellemeleri zamanında yapmalı, satış sonrası desteği zamanında ve eksiksiz veren firmaları tercih etmeli, güvenlik konusunda deneyimli ve bilgili kurum ve kişilerden destek almalıdır.

## Kaynakça

Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing, RFID Journal, 22(7), 97-114.

- Atlam, H. F. & Wills, G. (2020). IoT security, privacy, safety and ethics. In Digital twin technologies and smart cities, pp. 123-149, Springer, Cham.
- Eurofins.(2022), Erişim Adresi: <https://www.eurofins-cybersecurity.com/news/security-problems-iot-devices/>. (Erişim tarihi:10.02.2022)
- Gökrem, L. & Bozuklu, M.(2016). Nesnelerin interneti: Yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki durum, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, (13), 47-68.
- Gokhale, P., Bhat, O. & Bhat, S. (2018). Introduction to IoT. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 5(1), 41-44.
- Innova. (2022), Erişim Adresi: <https://www.innova.com.tr/blog/dijital-donusum-blog/nesnelerin-interneti-iot-nedir> (Erişim tarihi:15.02.2022).
- Islam, N., Farhin, F., Sultana, I., Kaiser, M. S., Rahman, M. S., Mahmud, M. & Cho, G. H. (2021). Towards machine learning based intrusion detection in IoT networks, *Comput Mater Contin*, 69, pp. 1801-1821.
- Jiang, T., Yang, M., Zhang, Y. (2012). Research and implementation of M2M smart home and security system. *Security Comm. Networks*, 8, 16, pp. 2704-2711.
- Kalyoncu, A. ve Turan, M. (2020). IoT Teknolojisi Kullanan Pratik ve Güvenilir Akıllı Kapı Kilidi Tasarımı. *European Journal of Science and Technology*, (August), pp. 43-49. doi:10.31590/ejosat.779045.
- Karunarathne, S. M., Saxena, N., & Khan, M. K. (2021). Security and privacy in IoT smart healthcare. *IEEE Internet Computing*, 25(4), 37-48.
- Küçük, Z. K. & Ekren, N. (2020). Akıllı mutfak için tasarlanmış sistemler üzerine bir derleme. *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 2(1), ss. 25-34, 2020.
- López-de-Armentia, J. Diego Casado-Mansilla, J. and López-de-Ipina D. (2012). "Fighting against vampire appliances through eco-aware things." 2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. IEEE.
- Ozkaya, U., Öztürk, Ş., Tuna, K., Seyfi, L., & Akdemir, B. (2018). Faults Detection With Image Processing Methods In Textile Sector. In 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies.
- Özçekiç, E. (2005). Akıllı Ev Sistemleri. İstanbul.
- Özdoğan, E. & Daş, R. (2021). IoT based a Smart Home Automation System Design: Simulation Case. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(3), pp. 297-303.
- Özdemir, B. (2019). Akıllı Ev Sistemlerinde Güvenlik Zafiyetleri ve Önlemleri, İstanbul Şehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Peerbits. (2022). Erişim Adresi: <https://www.peerbits.com/blog/biggest-iot-security-challenges.html>.
- Sivaganesan, D. (2021). A data driven trust mechanism based on blockchain in IoT sensor networks for detection and mitigation of attacks, *Journal of trends in Computer Science and Smart technology (TCSST)*, 3(01), pp. 59-69.
- Soumyalatha, S. G. H. (2016). Study of IoT: understanding IoT architecture, applications, issues and challenges. In 1st International Conference on Innovations in Computing &

- Net-working (ICICN16), CSE, RRCE. International Journal of Advanced Networking & Applications (No. 478).
- Strecker, S., Haaften, W. V. & Dave, R. (2021). An analysis of IoT cyber security driven by machine learning. *In Proceedings of International Conference on Communication and Computational Technologies*, pp. 725-753, Springer, Singapore.
- Şahinoğlu, G. (2006). Akıllı evlerde otomasyon (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Taştan, M. (2019). Akıllı Ev Uygulamaları için Yeni Nesil IoT Denetleyici ile Gerçek Zamanlı Uzaktan İzleme ve Kontrol Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), ss. 481-487.
- Thalesgroup. (2022), Erişim Adresi: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/magazine/internet-threats>. (Erişim tarihi:14.02.2022)
- Tomaş, M. (2019). Akıllı Evler Üzerine Bir Değerlendirme. TC. İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Tomaş, M. ve Dostoğlu, N. (2020). Smart House With Artificial Intelligence, *European Journal of Science and Technology*, (18), 686–693. doi:10.31590/ejosat.689634.
- Zeybek, M. & Yılmaz, E. N. (2019). Nesnelerin İnterneti:Risk Temelli Yaklaşım. *Denetim*, 19, ss. 73–88.



# Solving Many-objective Constraint Real-World Optimization Problems with Multi-objective Optimization Algorithms

O. Tolga Altinoz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1236-7961), [taltinoz@ankara.edu.tr](mailto:taltinoz@ankara.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079085)

**ATIF/REFERENCE:** Altinoz, O.T. (2022). Solving Many-objective Constraint Real-World Optimization Problems with Multi-objective Optimization Algorithms. *European Journal of Science and Technology*, (34), 234-238.

## Abstract

In real world engineering optimization problems many constraints must be considered due to the imperfect conditions of the systems or process. Therefore, constraint handling methods are integrated into optimization algorithms. However, since the constraints are succeeded by the algorithm, their value is not considered or watched. Alternatively, it is possible to convert constraints to objectives and these many-objective constraint real-world optimization problems are changed to many-objective optimization problems. In this research for this purpose five real world engineering design problems are converted into many-objective optimization problem which are Gear Train Design, Pressure Vessel Design, Two Bar Truss Design, Disc Brake Design and Vibrating Platform Design problems. The problems are solved by using multi-objective optimization algorithms (NSGA-II, MOEA/D, MOEA/D-DE, MPSO/D and MOPSO) and their performance is compared by using the hypervolume metric.

**Keywords:** Gear Train, Pressure Vessel, Two Bar Truss, Disc Brake, Vibrating Platform, multi-objective optimization, many-objective optimization, NSGA-II, MOEA/D, MOEA/D-DE, MPSO/D, MOPSO

## Çok Amaçlı Kısıtlama Gerçek Dünya Optimizasyon Problemlerini Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritmaları ile Çözme

### Öz

Gerçek dünya mühendislik optimizasyon problemlerinde, sistemlerin veya süreçlerin kusurlu koşulları nedeniyle birçok kısıtlamanın dikkate alınması gerekir. Bu nedenle, kısıtlama işleme yöntemleri optimizasyon algoritmalarına entegre edilmiştir. Ancak kısıtlamalar algoritma tarafından başarılı olduğu için değerleri dikkate alınmaz veya izlenmez. Alternatif olarak, kısıtlamaları hedeflere dönüştürmek mümkündür ve bu çok amaçlı kısıtlamalı gerçek dünya optimizasyon problemleri, çok amaçlı optimizasyon problemlerine dönüştürülür. Bu amaçla bu araştırmada, beş gerçek dünya mühendislik tasarım problemi, Dişli Tren Tasarımı, Basınçlı Kap Tasarımı, İki Çubuk Kafes Tasarımı, Disk Fren Tasarımı ve Titreşimli Platform Tasarımı problemleri olan çok amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Problemler çok amaçlı optimizasyon algoritmaları (NSGA-II, MOEA/D, MOEA/D-DE, MPSO/D ve MOPSO) kullanılarak çözülmüş ve hiperhacim metriği kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dişli Treni, Basınçlı Kap, İki Çubuk Kafes, Disk Fren, Titreşimli Platform, çok amaçlı optimizasyon, çok amaçlı optimizasyon, NSGA-II, MOEA/D, MOEA/D-DE, MPSO/D, MOPSO.

\* Corresponding Author: [taltinoz@ankara.edu.tr](mailto:taltinoz@ankara.edu.tr)

## 1. Introduction

The aim of the real-life engineering design problems is to determine some physical properties of the corresponding system to demonstrate a desired performance. A possible set of problems which are also considered in this research are Pressure Vessel Design [1], Vibrating Platform Design [2], Two Bar Truss Design [3], Disc Brake Design [4] and Gear Train Design [5] problems. The objectives of these problems are generally be the performance specifications and the decision variables are generally be the design properties. Therefore, it is possible to define these problems are multi-objective optimization problem. The definition of the multi-objective optimization problem is given as

$$\begin{aligned} \min F(x) &= (f_1(x) \dots f_M(x)) & (1) \\ \text{subject to } x &\in \Omega \\ g(x) &\leq 0 \\ h(x) &= 0 \end{aligned}$$

where  $g(x)$  and  $h(x)$  are constraints with the decision vector  $x \in \Omega$  is the decision space and  $F: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^M$  is the real valued objective space [7,8], where  $F$  is the objective function vector of real valued  $f$ . Constraint handling methods are defined for multi-objective optimization algorithm such that admissible solutions may higher ranked [9], or crossover the admissible parents are two of some constraint handling techniques [10]. Alternatively, it is possible to convert constraints into objective functions and solved as a many-objective optimization problem. Therefore, in this research five different design problems are selected as the real-world constraint optimization engineering problems. These problems are converted into many objective optimization problems and solved by using nondominated Sorted Genetic Algorithm 2 (NSGA-II), Multi-objective Evolutionary Algorithm-based Decomposition (MOEA/D), Differential Evolution based MOEA/D (MOEA/D-DE), Decomposition-based multi-objective particle swarm optimization (MPSO/D) and multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) and compared with each other.

This paper is organized as following, section two gives the mathematical description of the design problems and their properties, the following section gives the properties of the optimization algorithms. Next, implementation and implementation results are given and compared and finally the conclusion of the study is presented.

## 2. Engineering Problems

In this research five design problems are considered as the real-world engineering problems and converted these constrained real world bi-objective optimization problems into many objective optimization problems. By this way it will be certain that all the constraints are succeeded by the optimization algorithm also it is possible to compare possible solutions with respect to their remaining objective values. For this purpose, five problems Gear Train Design, Pressure Vessel Design, Two Bar Truss Design, Disc Brake Design and Vibrating Platform Design problems are selected and labeled as Design 1-5 for comparing at the implementation section.

### 2.1. Gear Train Design (Design 1) [5]

The (compound) gear train is a set of gears which are connected with each other and rotated at the same speed. The gear train design is based on given in [1] such that the expected gear

ratio is designed so that it will be as close as possible to 1/6.931. The constrained in this problem is the number of teeth should be between 12 and 60. For this design problem the following objective functions are defined.

$$\begin{aligned} f_1 &= \left| 6.931 - \frac{x_3 x_4}{x_1 x_2} \right| & (2) \\ f_2 &= \max(x_1, x_2, x_3, x_4) \\ f_3 &= \left| 1 - \frac{x_3 x_4}{6.931 x_1 x_2} \right| - 0.5 \end{aligned}$$

where all decision variables are inside [12,60].

### 2.2. Pressure Vessel Design (Design 2) [1]

Pressure vessels are storage devices to hold high pressured liquid or gas. The design of the vessel includes material, forming and welding which are needed to be minimized. The following objective functions are given for multi-objective optimization problem.

$$\begin{aligned} f_1 &= 0.11x_2x_3^2 + 0.04x_1x_3x_4 & (3) \\ &\quad + 0.012x_1^2x_4 + 0.075x_1^2x_3 \\ f_2 &= -\pi x_3^2x_4 - \frac{4}{3}\pi x_3^3 \\ f_3 &= 0.00954x_3 - 0.0625x_2 \\ f_4 &= 0.0193x_3 - 0.0625x_1 \end{aligned}$$

where the boundaries of the  $x_1$  and  $x_2$  in [1,99] and  $x_3$  and  $x_4$  in [10,200].

### 2.3. Two Bar Truss Design (Design 3) [3]

Two bar truss system is an experimental setup for holding a bar system which is connected to the floor. The design specifications as objective functions are given below;

$$\begin{aligned} f_1 &= x_1\sqrt{16 + x_3^2} + x_2\sqrt{1 + x_3^2} & (4) \\ f_2 &= \frac{20\sqrt{16 + x_3^2}}{x_1x_3} \\ f_3 &= x_1\sqrt{16 + x_3^2} + x_2\sqrt{1 + x_3^2} - 0.1 \\ f_4 &= \frac{20\sqrt{16 + x_3^2}}{x_1x_3} - 10^5 \\ f_5 &= \frac{80\sqrt{1 + x_3^2}}{x_2x_3} - 10^5 \end{aligned}$$

where the boundaries for  $x_1$  and  $x_2$  is in (0,100] and  $x_3$  is defined in [1,3].

### 2.4. Disc Brake Design (Design 4) [4]

The braking is an important property for the security of vehicles and its design is another engineering problem. The important criteria are the mass and stopping time. Therefore, the inner and outer radius of the discs should be designed by using the engaging force and the number of friction surfaces. The objective functions are given as;

$$\begin{aligned} f_1 &= 4.9 * 10^{-5}(x_2^2 - x_1^2)(x_4 - 1) & (5) \\ f_2 &= 9.82 * 10^6 \left( \frac{x_2^2 - x_1^2}{x_3x_4(x_2^3 - x_1^3)} \right) \\ f_3 &= 20 - x_2 + x_1 \\ f_4 &= \frac{x_3}{\pi(x_2^2 - x_1^2)} - 0.4 \end{aligned}$$

Table 1. Hypervolume Metric Results for Real-Work Design Problems

Problem	M	D	NSGAI	MOEAD	MOEAD-DE	MPSOD	MOPSO
Design1	3	4	1.5593e+2 (2.87e-2) =	1.5580e+2 (1.30e-1) =	1.5647e+2 (2.10e-1) +	1.5288e+2 (2.29e+0) =	1.5470e+2 (1.16e+0)
Design2	4	4	2.6364e+9 (2.98e-3) +	2.6364e+9 (4.07e-1) +	2.6364e+9 (1.86e-3) +	2.6364e+9 (2.78e+1) +	2.6364e+9 (1.44e+3)
Design3	5	3	1.7182e+5 (1.06e-3) =	1.4691e+5 (1.24e+3) -	1.7182e+5 (2.04e-3) -	1.7181e+5 (8.84e-1) -	1.7182e+5 (1.56e-3)
Design4	6	4	1.5452e+1 (2.08e-3) =	1.5307e+1 (4.89e-2) =	1.5297e+1 (8.46e-2) =	1.5112e+1 (5.29e-2) +	1.5183e+1 (1.39e-1)
Design5	7	5	5.7789e+2 (3.01e-2) =	5.7805e+2 (8.85e-3) =	5.7782e+2 (1.72e-1) =	5.7799e+2 (5.00e-2) =	5.7791e+2 (2.19e-1)
+/-/=			1/0/4	1/1/3	2/1/2	2/1/2	

$$f_5 = \frac{2.22 * 10^{-3} x_3 (x_2^3 - x_1^3)}{(x_2^2 - x_1^2)^2} - 1$$

$$f_6 = 900 - 0.026 \frac{x_3 x_4 (x_2^3 - x_1^3)}{x_2^2 - x_1^2}$$

where the decision space dimension is four and their boundaries are defined as [55,80], [75,110], [1000,3000], [11,20] respectively.

### 2.5. Vibrating Platform Design (Design 5) [2][6]

Pinned-pinned sandwich beam design with vibrating motor is the vibrating platform design [6]. A vibratory disturbance is imparted from the motor onto the beam. The aim of this system is to minimize the vibration on the beam due to the motor disturbance. The objectives are defined as;

$$f_1 = -\frac{\pi}{2x_1} \sqrt{\frac{(0.16x_2^2 + 7(x_3^3 - x_2^3) + 20(x_4^3 - x_3^3))}{(30x_2 + 831(x_3 - x_2) + 2334(x_4 - x_3))}} \quad (6)$$

$$f_2 = 2x_5 x_1 (500x_2 + 1500(x_3 - x_2) + 800(x_4 - x_3))$$

$$f_3 = (30x_2 + 831(x_3 - x_2) + 2334(x_4 - x_3))x_1 - 2800$$

$$f_4 = x_2 - x_3$$

$$f_5 = x_3 - x_2 - 0.15$$

$$f_6 = x_3 - x_4$$

$$f_7 = x_4 - x_3 - 0.01$$

where the boundaries of the decision variables are [3,6], [0.05,0.5], [0.2,0.5], [0.2,0.6], [0.35,0.5] respectively.

### 3. Algorithms

In this research five different multi-objective optimization algorithms are used to solve the design problems. These algorithms are; nondominated Sorted Genetic Algorithm 2 (NSGA-II) [11], Multi-objective Evolutionary Algorithm-based Decomposition (MOEA/D) [12], Differential Evolution based MOEA/D (MOEA/D-DE) [13], Decomposition-based multi-objective particle swarm optimization (MPSO/D) [14] and multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) [15].

NSGA-II is based on sorting the solution on the objective space with respect to their dominance. Like other evolutionary algorithms it has crossover mutation and selection operator. At the section phase nondominated solutions are sorting with respect to their form as a front and best solutions are survived to the next generation with the aid of other operators like crowding distance. In the literature the performance of this algorithm is reported as acceptable for especially objective with up to three. However, as

the number of objectives are increased in number the sorting algorithm needs more time and resources.

MOEA/D prefers different method to select the best members on the population called decomposition. Decomposition is a scalarization method that converts multi-objective optimization problem into single objective optimization problem with the aid of a set of reference points. In this algorithm offspring are generated from the neighbours of the current members and the best members are selected from a set of weights and corresponding objective values. In MOEA/D-DE algorithm the crossover and mutation operator are inherited from Differential Evolution algorithm, therefore it is claimed that the algorithm exhibits better performance since DE is presents better performance when compared to GA. Similarly, in MPSO/D algorithm the decomposition idea is joint with the Particle Swarm Optimization and the PSO algorithm is used to create new solution and best members are selected from decomposition idea. Finally, MOPSO is the multi-objective PSO algorithm so that positions and velocities for each objective are calculated and compared with each other with dominance principle that the best members survive to the next generation.

### 4. Implementation and Results

In this research five design problems are solved with five multi-objective optimization algorithms. Each algorithm is repeated 15 times (independent run) and their performance's statistical results mean and standard deviation is recorded into Table 1. The number of objectives for each design are 3,4,5,6 and 7 for Design 1-5 respectively and number of decision variable are 4, 4, 3, 4 and 5 respectively. Therefore, it is possible to comment that the easiest problem is Design 1 and hardest is the Design 5 problem. To compare the performance Hypervolume is selected as the performance metric for each problem and algorithms. From Table 1, MOPSO gives the worst performance among all the algorithms, NSGAI, MOEAD and MPSOD algorithm presents only best performance for just one designs. However, among all these algorithms MOEA-DE gives the best results for three design problems. When considered the signed rank test, for design 1 only MOEA-DE gives the best performance and others presents almost same performance. For design 3, NSGA-II and MOPSO gives almost same performance and for Design 4 just MSPOD gives the best result and others presents the similar performance. Finally for the last design it is not possible to mention about the better performance since each algorithm gives almost the same performance. Also the description of the solution on the objective space is given in Fig. 1-5 for Design1-5 respectively.

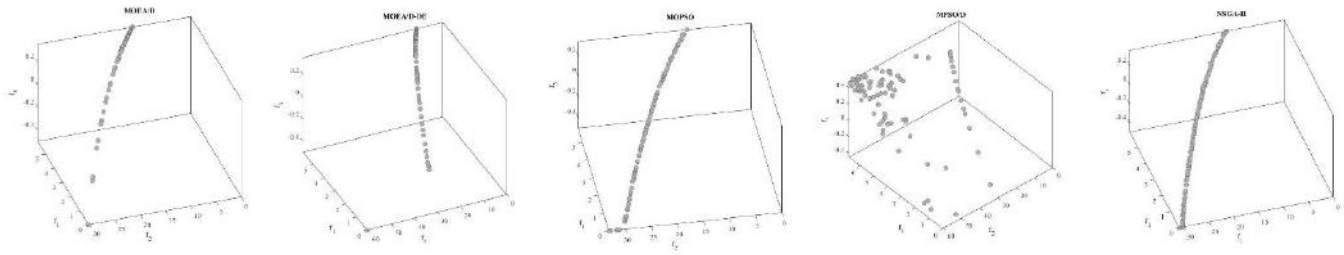


Fig. 1 Representation of the solutions on objective space for Design 1

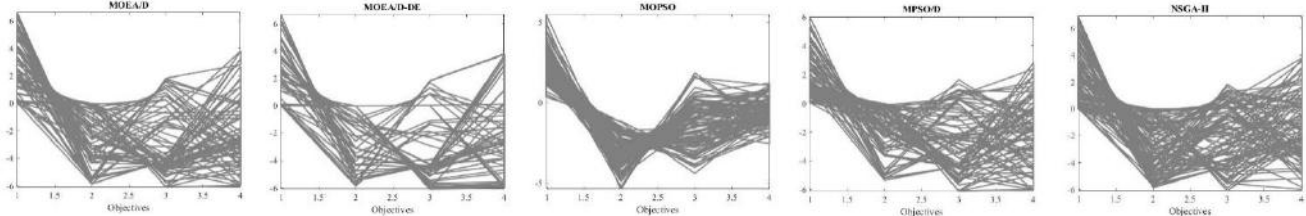


Fig. 2 Representation of the solutions on objective space for Design 2

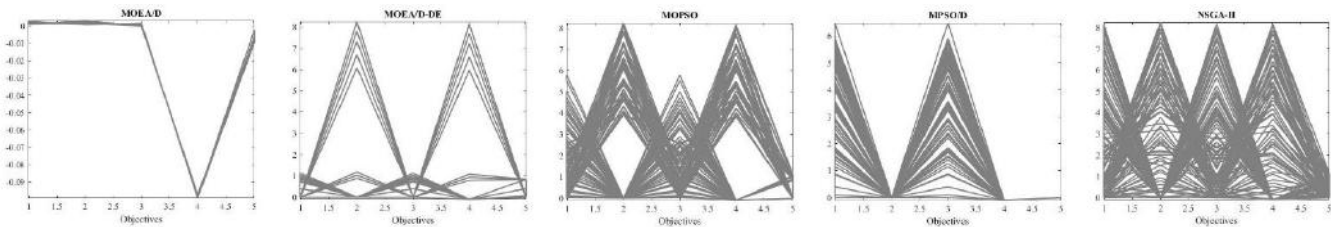


Fig.3. Representation of the solutions on objective space for Design 3

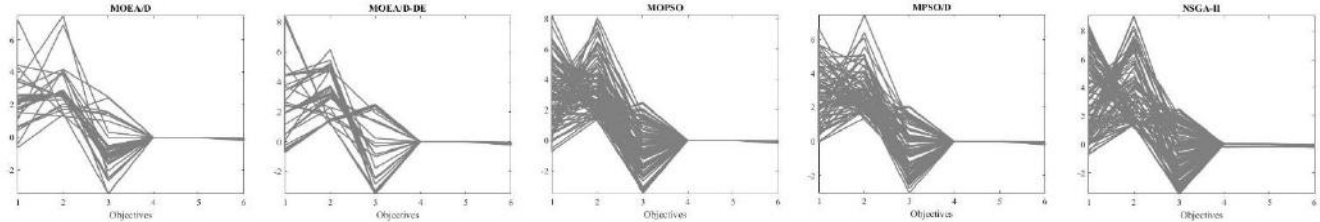


Fig. 4 Representation of the solutions on objective space for Design 4

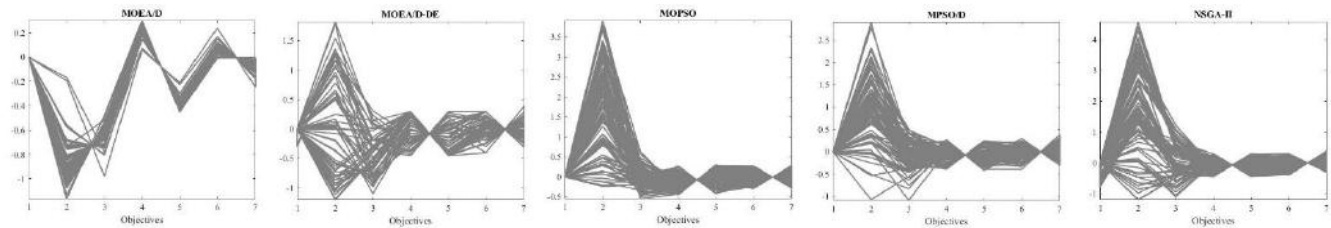


Fig. 5 Representation of the solutions on objective space for Design 5

## 5. Conclusion

In this study the constrained real-life engineering design problems are converted into many-objective optimization problems and they solved by using the multi-objective optimization algorithms. From the results it is not possible to mention about only one algorithm gives the best performance however in overall the MOEAD-DE gives the best among them. Also, even if the number of objectives and decision space dimension is differing, the real-life design problems remain the hards problem when compared with the benchmark problems.

## References

- [1] B. Kannan, S. N. Kramer, "An augmented lagrange multiplier-based method for mixed integer discrete continuous optimization and its applications to mechanical design," 1994.
- [2] S. Narayanan, S. Azarm, "On improving multiobjective genetic algorithms for design optimization," *Structural Optimization*, vol. 18, pp. 146–155, 1999.
- [3] G. Chiandussi, M. Codegone, S. Ferrero, F. E. Varesio, "Comparison of multi-objective optimization methodologies for engineering applications," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 63, pp. 912–942, 2012.

- [4] A. Osyczka, S. Kundu, "A genetic algorithm-based multicriteria optimization method," Proc. 1st World Congr. Struct. Multidisc. Optim, pp. 909–914, 1995.
- [5] T. Ray, K. Liew, "A swarm metaphor for multiobjective design optimization," Engineering optimization, vol. 34, pp. 141–153, 2002.
- [6] Messac, A. "Physical Programming-Effective Optimization for Computational Design," AIAA Journal, 34, 149-158. <https://doi.org/10.2514/3.13035>, 1996.
- [7] K. Miettinen, "Nonlinear Multiobjective Optimization," Norwell, MA: Kluwer, 1999.
- [8] K. Deb, "Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms," New York: Wiley, 2001
- [9] C.M. Fonseca; P.J. Fleming, "Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms. I. A unified formulation," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, vol. 28, no. 1, 1998.
- [10] C. Coello Coello, "Constraint-Handling Using an Evolutionary Multiobjective Optimization Technique," Civil Engineering and Environmental Systems, vol.17, 2000.
- [11] U. Ozkaya, and L.Seyfi. "A comparative study on parameters of leaf-shaped patch antenna using hybrid artificial intelligence network models." Neural Computing and Applications, 29.8 pp. 35-45, 2018.
- [12] Q. Zhang and H. Li "MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition," IEEE Tran. on Evolutionary Com., vol. 11, no. 6, 2007.
- [13] Bo Liu; Francisco V. Fernández; Qingfu Zhang; Murat Pak; Suha Sipahi; Georges Gielen," An enhanced MOEA/D-DE and its application to multiobjective analog cell sizing," IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2010.
- [14] Wei Peng; Qingfu Zhang, "A decomposition-based multi-objective Particle Swarm Optimization algorithm for continuous optimization problems," 2008 IEEE International Conference on Granular Computing, 2008.
- [15] C.A. Coello Coello; M.S. Lechuga, "MOPSO: a proposal for multiple objective particle swarm optimization," Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation, 2002.





# Türkçe Metin Madenciliği için Çalışan Bellek Bağlantıları Tabanlı Uzun Kısa Süreli Bellek Mimarisi

Aytuğ Onan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9434-5880)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080239)

**ATIF/REFERENCE:** Onan, A. (2022). Türkçe metin madenciliği için çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 239-246.

## Öz

Metin sınıflandırma, metin belgelerinin önceden belirlenmiş sınıf etiketlerinden birine atanmasına yönelik bir doğal dil işleme alanıdır. Metin sınıflandırma, aralarında duygu analizi, konu etiketleme, soru yanıtlama ve diyalog eylemi sınıflandırmanın da yer aldığı birçok doğal dil işleme problemine kullanılmaktadır. Metin sınıflandırma, haber metinlerinin filtrelenmesi ve organizasyonu, istenmeyen e-posta içeriklerinin filtrelenmesi gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Son yıllarda, metin sınıflandırma alanında, derin sinir ağı tabanlı mimariler ve sinirsel dil modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Uzun kısa süreli bellek tabanlı mimariler (LSTM), uzun süreli bağımlılıkları öğrenirken, geleneksel tekrarlayan sinir ağlarında gözlemlenen patlayan ve kaybolan gradyanları azaltmak için geçit mekanizmasını kullanır. Bu nedenle, LSTM ve türevi mimariler, birçok dizi modelleme görevinde yaygın kullanıma sahiptir. LSTM tabanlı mimarilerde, bellek hücresi temel bilgileri içermesine karşın, geçit mekanizmasını doğrudan etkilemesine izin verilmez. Bu çalışmada, Türkçe duygu analizi için, tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek, geçitli tekrarlayan birim, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi ve çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin başarımı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Derlemin temsilinde, word2vec, fastText ve GloVe kelime gömme yöntemleri değerlendirilmiştir. Deneysel analizler, çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin Türkçe metin belgeleri üzerinde duygu analizi için, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi, uzun kısa süreli bellek ve geçitli tekrarlayan birim mimarisine kıyasla daha yüksek doğru sınıflandırma oranı elde ettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzun kısa süreli bellek, Metin madenciliği, Derin öğrenme, Makine öğrenmesi, Çalışan bellek bağlantıları.

## Long Short Term Memory Based on Working Memory Connections for Turkish Text Mining

### Abstract

Text classification is a natural language processing area for assigning text documents to one of the predetermined class labels. Text classification is used in many natural language processing problems, including sentiment analysis, topic tagging, question answering, and dialogue action classification. It has many applications, such as text classification, filtering and organization of news texts, and filtering of spam e-mail contents. In recent years, deep neural network-based architectures and neural language models have been used frequently in the field of text classification. Long-term memory-based architectures (LSTM) use gate mechanisms to reduce the vanishing and exploding gradients observed in the conventional recurrent neural networks when learning long-term dependencies. Therefore, LSTM and LSTM-based architectures have widespread use in many sequence modeling tasks. In LSTM-based architectures, although the memory cell contains the basic information, it is not allowed to directly affect the gate mechanism. In this study, the performance of recurrent neural network, long short-term memory, gated recurrent unit, peephole-based long-short-term memory architecture and working-memory connections-based long-term memory architecture are comparatively evaluated for Turkish sentiment analysis. In the representation of the corpus, word2vec, fastText and GloVe word embedding methods were evaluated. Experimental analyzes show that working memory connections-based long short-term memory architecture achieves higher classification accuracy for sentiment analysis on Turkish text documents compared to peephole-based long short-term memory architecture, long short-term memory and gated recurrent unit architecture.

**Keywords:** Long short-term memory, Text mining, Deep learning, Machine learning, Working memory connections.

\* Sorumlu Yazar: İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9434-5880, [aytug.onan@ikcu.edu.tr](mailto:aytug.onan@ikcu.edu.tr)

## 1. Giriş

Metin sınıflandırma, metin belgelerinin önceden belirlenmiş sınıf etiketlerine atanmasına yönelik bir doğal dil işleme (DDİ) alanıdır. Metin sınıflandırma, DDİ alanındaki duygu analizi, konu etiketleme, soru yanıtlama ve diyalog eylemi sınıflandırma gibi birçok görev için kritik öneme sahiptir [1]. Metin sınıflandırma yöntemleri, aralarında haber metinlerinin filtrelenmesi ve organizasyonu, belge organizasyonu, belge geri getirmesi ve istenmeyen e-postaların filtrelenmesi gibi birçok farklı alanda başarıyla uygulanmaktadır [2]. Duygu analizi, metin belgelerinde yer alan belirli bir konu ya da nesneye ilişkin duygu, his, algı gibi değerlendirmeleri belirlemeye yönelik bir metin madenciliği çalışma alanıdır. Yapısal olmayan metin belgeleri üzerinde gerçekleştirilen uygulamalar, bireysel karar vericiler, iş organizasyonları ve hükümetler için oldukça kullanışlıdır [3, 4]. Böylelikle, düzenlemelere, ürünlere, servislere ya da organizasyonlara ilişkin kamusal görüş ve geri bildirimler kolaylıkla çıkarılabilmektedir. Duygu analizi yöntemleri, temelde makine öğrenmesi tabanlı ve sözlük tabanlı yaklaşımlar olmak üzere iki temel sınıf altından incelenmektedir [5]. Sözlük tabanlı yaklaşımlarda, duygu analizi, belgedeki sözcüklerin ya da tümcelerın anlamsal yöneliminden yola çıkılarak hesaplanır. Makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlarda ise, metin belgeleri, sözcük torbası yöntemi başta olmak üzere uygun bir temsil yöntemi ile temsil edildikten sonra, Naive Bayes, destek vektör makinesi, k-en yakın komşu ve yapay sinir ağları gibi sınıflandırma algoritmaları ile öğrenme modeli oluşturulması söz konusudur [6]. Makine öğrenmesi yöntemlerinde yaygın kullanıma sahip metin temsil yöntemi olan sözcük torbası yöntemi, metin sözdizimi, kelime sıralaması ve dilbilgisi kurallarını göz ardı etmektedir. Ayrıca, bu temsil yönteminde yüksek boyutluluk ve veri seyrekliği gibi problemler gözlenmektedir. Buna ek olarak, özenlilik mühendisliği zaman alıcı ve emek yoğun bir iştir [7].

Önceden bahsedilen geleneksel sınıflandırma yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla, DDİ alanındaki son çalışmalarda, kelime gömme yöntemleri ve derin sinir ağı mimarileri kullanılmaktadır. Kelime gömme yöntemleri, metin belgelerinin sabit uzunluklu vektörler aracılığıyla yoğun bir biçimde temsil edildiği bir yapı sunar. Kelime gömme tabanlı metin temsili, daha düşük boyutlulukla, daha yoğun metin temsili olan hale getirerek, sözcük torbası modellerinde görülen seyreklik ve yüksek boyutluluk sorunlarını ortadan kaldırır [8]. Word2vec, fastText ve GloVe gibi kelime gömme yöntemleri, yakın zamanda, duygu analizi ve konu çıkarma da dahil olmak üzere birçok DDİ görevinde yüksek başarımlar sağlamıştır [7, 8]. Evrişimli sinir ağları (CNN), tekrarlayan sinir ağları (RNN), uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM) ve geçitli tekrarlayan birim (GRU) gibi derin öğrenme mimarileri, DDİ görevlerinde yüksek başarımla uygulanabilmektedir.

Uzun kısa süreli bellek tabanlı mimariler (LSTM), uzun süreli bağımlılıkları öğrenirken, geleneksel tekrarlayan sinir ağlarında gözlemlenen patlayan ve kaybolan gradyanları azaltmak için geçit mekanizmalarını kullanır. Bu nedenle, LSTM ve türevi mimariler, birçok dizi modelleme görevinde yaygın kullanıma sahiptir [9]. LSTM tabanlı mimarilerde, bellek hücreleri temel bilgileri içermesine karşın, geçit mekanizmasını doğrudan etkilemesine izin verilmez. Bu çalışmada, Türkçe duygu analizi için, tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek, geçitli tekrarlayan birim, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli

bellek mimarisi ve çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin başarımlarını karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Derlemin temsiliinde, word2vec, fastText ve GloVe kelime gömme yöntemleri değerlendirilmiştir. Deneysel analizler, çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin Türkçe metin belgeleri üzerinde duygu analizi için, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi, uzun kısa süreli bellek ve geçitli tekrarlayan birim mimarisine kıyasla daha yüksek doğru sınıflandırma oranı elde ettiğini göstermektedir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır. İkinci bölümde, ilgili çalışmalara değinilmektedir, üçüncü bölümde çalışmanın metodolojisini oluşturan kelime gömme yöntemlerine, derin öğrenme mimarilerine ve çalışan bellek bağlantısı mekanizmasına ilişkin ayrıntılar sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, deneysel sonuçlar ve tartışma, son bölümde ise çalışmanın genel sonuçları sunulmaktadır.

## 2. İlgili Çalışmalar

Metin madenciliği ve duygu analizi alanındaki son yıllardaki çalışmalar, kelime gömme yöntemleri ve derin sinir ağı mimarileri kullanmaya odaklanmıştır. Uzun kısa süreli bellek (LSTM) tabanlı mimariler, uzun süreli bağımlılıkları modelleme yeteneklerinden dolayı duygu analizi de dahil olmak üzere DDİ görevlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Örneğin, Xu ve ark. [11], belleği değişen unutmaya oranlarıyla birçok sınıfa bölerek uzun metinlerdeki anlamsal bilgiyi yakalamak için önbelleğe alınmış LSTM tabanlı bir mimari sunmuş ve ağınlı anlamsal bilgiyi tekrarlayan bir birim içinde daha uzun süre tutmasını sağlamıştır. Başka bir çalışmada Rao ve ark. (2018), uzun metin belgelerinde tümceler arasındaki anlamsal bilgileri yakalamak için LSTM tabanlı bir mimari sunmuştur. Sunulan şemada, ilk katman, cümle vektörlerini altına yatan tümcelerın anlambilimiyle tanımlamak için konuşlandırılmış ve ikinci katman, tümcelerın ilişkilerini kodlamak için kullanılmıştır.

Benzer şekilde, Al-Smadi ve ark. [12], Arapça incelemelerin duygu analizi için anlamsal bilgileri modellemek amacıyla LSTM tabanlı bir mimari kullanmıştır. Başka bir çalışmada, Lu ve ark. [13], duygu analizi için, P-LSTM olarak adlandırılan, LSTM tabanlı bir mimari sunmuştur. P-LSTM'de tek kelime gömme kullanmak yerine, üç kelimelik cümle gömme kullanılmıştır. P-LSTM, ifade gömme katmanının özellik vektörlerini LSTM gizli katmanının özellik vektörü ile entegre eden ifade faktörü mekanizmasını tanıtır. Bu sayede metin belgelerinden daha kesin bilgiler alınabilir. Benzer şekilde, Ma ve ark. [14] çalışmalarında, Sentic-LSTM olarak adlandırılan, LSTM tabanlı bir mimari sunmuştur. Bu mimaride, derin sinirsel sıralı modelde sağduyu bilgisinden yararlanmaya özel bir vurgu yapılarak, hedeflenen en-boy tabanlı duygu analizi için bilgi açısından zenginleştirilmiş bir yaklaşım sunulmuştur. LSTM ve türevleri, umut verici tahmin performansı ile duygu analizinde yaygın olarak kullanılmıştır. Landi ve ark. [15] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi sunulmuştur. Çalışan bellek bağlantıları tabanlı LSTM mimarisinin, görüntü altyazılama, metin sınıflandırma gibi bazı temel DDİ görevlerinde başarılı sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir.

### 3. Metodoloji

Bu bölümde, çalışmanın metodolojisini oluşturan kelime gömme yöntemleri, derin öğrenme mimarileri ve çalışan bellek bağlantısı mekanizmaları açıklanmaktadır.

#### 3.1. Kelime Gömme Yöntemleri

Word2vec modeli, yapay sinir ağı tabanlı bir kelime gömme şeması olarak giriş katmanı, çıkış katmanı ve gizli katmandan oluşur [16]. Belirli bir kelimenin başka kelimelerde köklenme olasılığını belirleyerek kelimeleri gömmeyi öğrenmeye çalışır. Model, atlama gramı (SG) ve sürekli sözcük torbası (CBOW) olmak üzere iki temel mimariden oluşur. CBOW, her kelimenin içeriğini girdi olarak alarak hedef kelimeyi tanımlar; SG mimarisi ise nesnel sözcükleri girdi olarak kullanarak hedef sözcüğün etrafındaki sözcükleri tahmin eder [17]. Az miktarda veri ile CBOW mimarisi iyi çalışabilir. Büyük veri kümelerinde SG mimarisi etkin bir şekilde çalışır.

FastText modeli, metin belgelerine kelime yerleştirmenin başka bir etkili yoludur. Her kelimenin karakteri, bu düzende  $n$  grama bölünmüştür. Eğitim setindeki her  $n$ -gram için kelime vektörleri tasarlanmıştır. FastText modeli, morfolojik olarak zengin diller ve nadir kelimeler için daha iyi bir kelime entegrasyon şeması sağlar [18].

Küresel vektör şeması (GloVe), metin belgelerine kelime yerleştirmenin etkili bir şekilde öğrenilmesi için word2vec tabanlı bir temsildir [19]. Model bir global log-bilineer regresyon modelidir.

#### 3.2. Derin Öğrenme Mimarileri

Evrişimli sinir ağları (CNN), verileri ızgara tabanlı bir topoloji kullanarak işleyen ve evrişim olarak bilinen özel bir matematiksel işlem biçimine sahip derin sinir ağı mimarileridir. CNN'ler çok katmanlıdır ve DDİ uygulamalarında yerel özellik çıkarımı için kullanılır. Bu ağlardaki evrişim işlemi, giriş özellikleri üzerindeki doğrusal filtreler aracılığıyla gerçekleşir [20].

Tekrarlayan sinir ağı (RNN), dizi modelleme için kullanılan bir tür derin sinir ağıdır [21]. RNN'de, nöronlar arasındaki bağlantılar yönlendirilmiş bir grafik oluşturur. RNN, giriş dizilerini kendi iç durumuna göre işleyebilir ve bu nedenle NLP

$$i_t = \sigma(W^{(i)}x_t + U^{(i)}h_{t-1} + b^{(i)}) \quad (1)$$

$$f_t = \sigma(W^{(f)}x_t + U^{(f)}h_{t-1} + b^{(f)}) \quad (2)$$

$$o_t = \sigma(W^{(o)}x_t + U^{(o)}h_{t-1} + b^{(o)}) \quad (3)$$

$$u_t = \tanh(W^{(u)}x_t + U^{(u)}h_{t-1} + b^{(u)}) \quad (4)$$

$$c_t = i_t \circ u_t + f_t \circ c_{t-1} \quad (5)$$

$$h_t = o_t \circ \tanh(c_t) \quad (6)$$

Burada  $x_t$ , LSTM birimine giriş vektörünü,  $f_t$  unutma kapısı için aktivasyon vektörünü,  $i_t$  giriş kapısı için aktivasyon vektörünü,  $o_t$  çıkış kapısı için aktivasyon vektörünü,  $h_t$  gizli durum vektörünü ve  $c_t$  ise hücre durum vektörü. Bu modelde  $W$  ağırlık matrislerine,  $b$  ise bias vektör parametrelerine karşılık gelmektedir.

görevleri için uygundur. Her bir RNN çıkışı, her bir örnek üzerinde aynı işlevi tekrar tekrar gerçekleştirerek hesaplanmaktadır.

Uzun kısa süreli bellek ağı (LSTM), aşırı artan veya aşırı azalan gradyan problemini ortadan kaldırmak için unutma kapılarının kullanıldığı RNN'lere dayanan derin bir sinir ağı mimarisidir. Geleneksel tekrarlayan sinir ağı mimarilerinden farklı olarak, LSTM, sınırlı sayıda zaman adımı boyunca hata geri yayılımına izin verir [22]. Tipik bir LSTM birimi, bir hücreden ve üç farklı kapı türünden oluşur: bir giriş kapısı, bir çıkış kapısı ve bir unutma kapısı. Hücre, kapı açma ve kapama işlemlerine göre hangi bilgilerin saklanması gerektiğini ve birimlerin bilgilere ne zaman erişmesi gerektiğini belirler. Bi-LSTM, önceki bağlama ek olarak gelecekteki bağlamı yakalamak için ileri ve geri gizli katmanları birleştirir. Sonuç olarak, her iki yönde de daha büyük bir zamansal bilgi akışı vardır ve ağ daha etkili bir şekilde öğrenir.

RNN'ye dayalı bir başka derin sinir ağı mimarisi, Geçitli Tekrarlayan Birimdir (GRU) [23]. Daha önce belirtildiği gibi, LSTM mimarisi, RNN'nin kaybolan gradyan problemini verimli bir şekilde çözer ve uzun süreli hafıza ağırlığı iyi bir şekilde tutulabilir. Ancak LSTM, birçok hesaplama içeren karmaşık bir mimariye sahiptir. Tipik GRU mimarisinde, LSTM mimarisinden farklı olarak, güncelleme kapısı ve sıfırlama kapısı bulunmaktadır.

#### 3.3. Çalışan Bellek Bağlantısı Mekanizması

Çalışan bellek bağlantısı mekanizması, LSTM mimarisinde yer alan bellek hücrelerinin kapılarının değerini bir dizi tekrarlayan ağırlık aracılığıyla etkilemesini sağlayan bir yapıdır [15]. Uygun bir bağlantı tasarımı ile, hücre durumunun LSTM bloğu içerisindeki geçit mekanizmalarını doğrudan etkilemesine olanak verilerek, DDİ görevlerinde metin belgelerinin daha etkin bir biçimde işlenebilmesini olanaklı kolmayı amaçlamaktadır. Geleneksel LSTM tabanlı mimarilerde, geçiş aşağıda verilen denklemlere göre yapılmaktadır [24]:

Çalışan bellek mekanizması tabanlı LSTM mimarisinde, bellek hücrelerinin kapılarının değerini bir dizi tekrarlayan ağırlık aracılığıyla etkilemesini sağlamak amacıyla, Denklem 1, Denklem 2 ve Denklem 3, sırasıyla, Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9 ile değiştirilmiştir [15]:

$$i_t = \sigma(W^{(i)}x_t + U^{(i)}h_{t-1} + \tanh(W^{(ic)}c_{t-1}) + b^{(i)}) \quad (7)$$

$$f_t = \sigma(W^{(f)}x_t + U^{(f)}h_{t-1} + \tanh(W^{(fc)}c_{t-1}) + b^{(f)}) \quad (8)$$

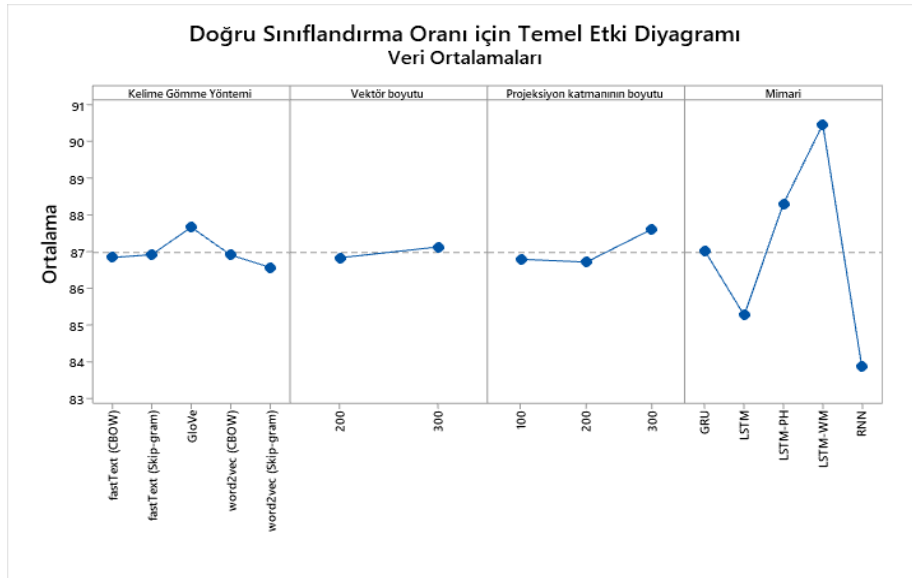
$$o_t = \sigma(W^{(o)}x_t + U^{(o)}h_{t-1} + \tanh(W^{(oc)}c_t) + b^{(o)}) \quad (9)$$

Burada,  $W^{(oc)}c_t$ ,  $W^{(ic)}c_{t-1}$  ve  $W^{(fc)}c_{t-1}$  hafıza hücresi ve kapılar arasında bir dizi tekrarlayan ağırlığı modellemek üzere kullanılan doğrusal olmayan bir etkinleştirme işlevini temsil etmektedir.

#### 4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, deneysel süreç, değerlendirme ölçütleri ve çalışmanın deneysel sonuçları ile tartışma sunulmaktadır. Deneysel analizde, Türkçe Twitter mesajlarını içeren bir veri seti kullanılmıştır [25]. Veri seti, terim ağırlıklandırma yöntemlerinin duygu analizindeki etkinliklerini incelemek amacıyla oluşturulmuş bir veri setidir. Veri seti, Twitter API kullanılarak Python'da yazılmış bir uygulama kullanılarak iki aylık bir süre içinde elde edildi. Duygu analizi veri setinde 10500'ü olumlu, 10500'ü olumsuz olmak üzere toplam 21000 Twitter mesajı bulunmaktadır. Veri setinde kök bulma, durdurma kelimelerinin çıkarılması ve kök bulma gibi ön işleme adımları uygulanmıştır. Ham Twitter mesajlarına açıklama eklemek için, her mesajın duygu yönelimine göre iki kategoriden birine atandığı bir açıklama süreci kullandık: olumlu veya olumsuz. Ham mesajlara iki uzman tarafından açıklama yapılmıştır. Cohen'in kappa ( $\kappa$ )

metriği hesaplanmıştır. Derlem için, açıklayıcılar arasında mükemmel bir uyum olduğunu gösteren 0.82'lik bir puan elde edilmiştir. Veri seti oluşturma aşamasında hem olumlu hem de olumsuz bir ifade bildiren Twitter mesajları veri setinden çıkarılmıştır. Ayrıca mesajlardaki harflerin her biri küçük harfe dönüştürülmüş, noktalama işaretleri, sayılar ve '@', '#' gibi özel karakterler kaldırılmıştır. Metin mesajları terimlere ve karakter uzunluğuna göre filtrelenmiş, yineleyen harfler kaldırılmıştır. Etkisiz kelimeleri çıkarmak için Lucene uygulama geliştirme arayüzü, kök bulma aşamasında ise Zemberek kütüphanesi kullanılmıştır. Derin öğrenme mimarilerinin performansını değerlendirmek, doğru sınıflandırma oranı, F-ölçütü, geri çağırma ve hassasiyet ölçütleri ve 5-kat çapraz geçerleme kullanılmıştır. Deneysel parametreler, [15]'teki şekliyle alınmıştır. Bu nedenle, gizli katman boyutu  $N=128$  olarak, öğrenme oranı  $10^{-2}$  olarak, batch boyutu 128 olarak alınmıştır. Derin sinir ağı modelleri, gradyan normları 1.0'da kırılacak şekilde 200 epok boyunca eğitilmiştir. Şekil 1'de karşılaştırılan kelime gömme yöntemlerine, farklı vektör boyutlarına, farklı projeksiyon katman boyutlarına ve derin öğrenme mimarilerine ilişkin doğru sınıflandırma oranı temel etki diyagramı sunulmaktadır.



Şekil 1. Karşılaştırılan yöntemlere ilişkin temel etki diyagramı

Tablo 1. Derin öğrenme mimarileri ile elde edilen doğru sınıflandırma oranları

Kelime Gömme Yöntemi	Vektör boyutu	Projeksiyon katmanının boyutu	RNN	LSTM	GRU	LSTM-PH	LSTM-WM
word2vec (Skip-gram)	200	100	85,31	86,01	87,26	88,59	90,93
word2vec (Skip-gram)	200	200	79,12	83,90	86,25	87,85	88,97
word2vec (Skip-gram)	300	100	83,81	84,86	87,02	88,16	90,30
word2vec (Skip-gram)	300	300	83,22	84,79	86,94	88,10	89,89
word2vec (CBOW)	200	100	80,21	84,17	86,56	87,89	88,98
word2vec (CBOW)	200	200	85,07	85,85	87,04	88,37	90,38
word2vec (CBOW)	300	100	83,04	84,66	86,80	88,07	89,59
word2vec (CBOW)	300	300	85,65	86,17	87,51	88,85	93,20
fastText (Skip-gram)	200	100	85,09	85,91	87,12	88,39	90,87
fastText (Skip-gram)	200	200	83,63	84,85	86,99	88,16	90,18
fastText (Skip-gram)	300	100	82,33	84,37	86,74	87,96	89,20
fastText (Skip-gram)	300	300	85,06	85,76	87,03	88,31	90,30
fastText (CBOW)	200	100	83,33	84,81	86,96	88,15	90,02
fastText (CBOW)	200	200	82,70	84,60	86,77	88,03	89,45
fastText (CBOW)	300	100	82,22	84,25	86,62	87,91	89,09
fastText (CBOW)	300	300	85,72	86,24	87,56	88,88	93,36
GloVe	200	100	85,09	85,87	87,09	88,37	90,57
GloVe	200	200	85,52	86,15	87,46	88,83	91,65
GloVe	300	100	85,38	86,05	87,34	88,66	91,37
GloVe	300	300	85,30	85,92	87,17	88,47	90,92

Tablo 2. Derin öğrenme mimarileri ile elde edilen geri çağırma (recall) değerleri

Kelime Gömme Yöntemi	Vektör boyutu	Projeksiyon katmanının boyutu	RNN	LSTM	GRU	LSTM-PH	LSTM-WM
word2vec (Skip-gram)	200	100	0,86	0,87	0,88	0,89	0,92
word2vec (Skip-gram)	200	200	0,80	0,85	0,87	0,89	0,90
word2vec (Skip-gram)	300	100	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91
word2vec (Skip-gram)	300	300	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
word2vec (CBOW)	200	100	0,81	0,85	0,87	0,89	0,90
word2vec (CBOW)	200	200	0,86	0,87	0,88	0,89	0,91
word2vec (CBOW)	300	100	0,84	0,86	0,88	0,89	0,90
word2vec (CBOW)	300	300	0,87	0,87	0,88	0,90	0,94
fastText (Skip-gram)	200	100	0,86	0,87	0,88	0,89	0,92
fastText (Skip-gram)	200	200	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
fastText (Skip-gram)	300	100	0,83	0,85	0,88	0,89	0,90
fastText (Skip-gram)	300	300	0,86	0,87	0,88	0,89	0,91
fastText (CBOW)	200	100	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
fastText (CBOW)	200	200	0,84	0,85	0,88	0,89	0,90
fastText (CBOW)	300	100	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90
fastText (CBOW)	300	300	0,87	0,87	0,88	0,90	0,94
GloVe	200	100	0,86	0,87	0,88	0,89	0,91
GloVe	200	200	0,86	0,87	0,88	0,90	0,93
GloVe	300	100	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92
GloVe	300	300	0,86	0,87	0,88	0,89	0,92

Tablo 3. Derin öğrenme mimarileri ile elde edilen hassasiyet oranı değerleri

Kelime Gömme Yöntemi	Vektör boyutu	Projeksiyon katmanının boyutu	RNN	LSTM	GRU	LSTM-PH	LSTM-WM
word2vec (Skip-gram)	200	100	0,87	0,88	0,89	0,90	0,93
word2vec (Skip-gram)	200	200	0,81	0,86	0,88	0,90	0,91
word2vec (Skip-gram)	300	100	0,86	0,87	0,89	0,90	0,92
word2vec (Skip-gram)	300	300	0,85	0,87	0,89	0,90	0,92
word2vec (CBOW)	200	100	0,82	0,86	0,88	0,90	0,91
word2vec (CBOW)	200	200	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92
word2vec (CBOW)	300	100	0,85	0,86	0,89	0,90	0,91
word2vec (CBOW)	300	300	0,87	0,88	0,89	0,91	0,95
fastText (Skip-gram)	200	100	0,87	0,88	0,89	0,90	0,93
fastText (Skip-gram)	200	200	0,85	0,87	0,89	0,90	0,92
fastText (Skip-gram)	300	100	0,84	0,86	0,89	0,90	0,91
fastText (Skip-gram)	300	300	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92
fastText (CBOW)	200	100	0,85	0,87	0,89	0,90	0,92
fastText (CBOW)	200	200	0,84	0,86	0,89	0,90	0,91
fastText (CBOW)	300	100	0,84	0,86	0,88	0,90	0,91
fastText (CBOW)	300	300	0,87	0,88	0,89	0,91	0,95
GloVe	200	100	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92
GloVe	200	200	0,87	0,88	0,89	0,91	0,94
GloVe	300	100	0,87	0,88	0,89	0,90	0,93
GloVe	300	300	0,87	0,88	0,89	0,90	0,93

Tablo 4. Derin öğrenme mimarileri ile elde edilen F-ölçütü değerleri

Kelime Gömme Yöntemi	Vektör boyutu	Projeksiyon katmanının boyutu	RNN	LSTM	GRU	LSTM-PH	LSTM-WM
word2vec (Skip-gram)	200	100	0,87	0,87	0,89	0,90	0,92
word2vec (Skip-gram)	200	200	0,80	0,85	0,88	0,89	0,90
word2vec (Skip-gram)	300	100	0,85	0,86	0,88	0,90	0,92
word2vec (Skip-gram)	300	300	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
word2vec (CBOW)	200	100	0,81	0,85	0,88	0,89	0,90
word2vec (CBOW)	200	200	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92
word2vec (CBOW)	300	100	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
word2vec (CBOW)	300	300	0,87	0,87	0,89	0,90	0,95
fastText (Skip-gram)	200	100	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92
fastText (Skip-gram)	200	200	0,85	0,86	0,88	0,89	0,92
fastText (Skip-gram)	300	100	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
fastText (Skip-gram)	300	300	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92
fastText (CBOW)	200	100	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91
fastText (CBOW)	200	200	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
fastText (CBOW)	300	100	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90
fastText (CBOW)	300	300	0,87	0,88	0,89	0,90	0,95
GloVe	200	100	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92
GloVe	200	200	0,87	0,87	0,89	0,90	0,93
GloVe	300	100	0,87	0,87	0,89	0,90	0,93
GloVe	300	300	0,87	0,87	0,88	0,90	0,92

Derin öğrenme algoritmaları ile elde edilen doğru sınıflandırma oranı, geri çağırma, hassasiyet ve F-ölçütü değerleri sırasıyla Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te sunulmaktadır. Deneysel analizler, çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin (LSTM-WM) Türkçe metin belgeleri üzerinde duygu analizi için, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM-PH), uzun kısa süreli bellek ve geçitli tekrarlayan birim mimarisine kıyasla daha yüksek doğru sınıflandırma oranı elde ettiğini göstermektedir. GloVe kelime gömme yönteminin diğer kelime gömme yöntemlerine kıyasla daha iyi sonuçlar aldığı görülmektedir. Vektör boyutunu 300 olarak almanın daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Karşılaştırılan derin öğrenme mimarileri arasında en düşük başarımlı, tekrarlayan sinir ağı mimarisi (RNN) ile en yüksek başarımlı ise çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi ile elde edilmektedir.

## 5. Sonuç

Metin sınıflandırma, metin belgelerinin önceden belirlenmiş sınıf etiketlerinden birine atanmasına yönelik bir doğal dil işleme alanıdır. Metin sınıflandırma, aralarında duygu analizi, konu etiketleme, soru yanıtlama ve diyalog eylemi sınıflandırmanın da yer aldığı birçok doğal dil işleme probleminde kullanılmaktadır. Metin sınıflandırma, haber metinlerinin filtrelenmesi ve organizasyonu, istenmeyen e-posta içeriklerinin filtrelenmesi gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Son yıllarda, metin sınıflandırma alanında, derin sinir ağı tabanlı mimariler ve sinirsel dil modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Uzun kısa süreli bellek tabanlı mimariler (LSTM), uzun süreli bağımlılıkları öğrenirken, geleneksel tekrarlayan sinir ağlarında gözlemlenen patlayan ve kaybolan gradyanları azaltmak için geçit mekanizmalarını kullanır. Bu nedenle, LSTM ve türevi mimariler, birçok dizi modelleme görevinde yaygın kullanıma sahiptir. LSTM tabanlı mimarilerde, bellek hücresi temel bilgileri içermesine karşın, geçit mekanizmasını doğrudan etkilemesine izin verilmez. Bu çalışmada, Türkçe duygu analizi için, tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek, geçitli tekrarlayan birim, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi ve çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin başarımlı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Deneysel analizler, çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisinin (LSTM-WM) Türkçe metin belgeleri üzerinde duygu analizi için, gözetleme deliği tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM-PH), uzun kısa süreli bellek ve geçitli tekrarlayan birim mimarisine kıyasla daha yüksek doğru sınıflandırma oranı elde ettiğini göstermektedir. GloVe kelime gömme yönteminin diğer kelime gömme yöntemlerine kıyasla daha iyi sonuçlar aldığı görülmektedir. Vektör boyutunu 300 olarak almanın daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Karşılaştırılan derin öğrenme mimarileri arasında en düşük başarımlı, tekrarlayan sinir ağı mimarisi (RNN) ile en yüksek başarımlı ise çalışan bellek bağlantıları tabanlı uzun kısa süreli bellek mimarisi ile elde edilmektedir.

## Kaynakça

1. Li, Q., Peng, H., Li, J., Xia, C., Yang, R., Sun, L., ... & He, L. (2020). A survey on text classification: From shallow to deep learning. *arXiv preprint arXiv:2008.00364*.

2. Onan, A., Korukoğlu, S., & Bulut, H. (2016). Ensemble of keyword extraction methods and classifiers in text classification. *Expert Systems with Applications*, 57, 232-247.
3. Fersini, E., Messina, E., & Pozzi, F. A. (2014). Sentiment analysis: Bayesian ensemble learning. *Decision support systems*, 68, 26-38.
4. Onan, A., Korukoğlu, S., & Bulut, H. (2016). A multiobjective weighted voting ensemble classifier based on differential evolution algorithm for text sentiment classification. *Expert Systems with Applications*, 62, 1-16.
5. Medhat, W., Hassan, A., & Korashy, H. (2014). Sentiment analysis algorithms and applications: A survey. *Ain Shams engineering journal*, 5(4), 1093-1113.
6. Onan, A., & Korukoğlu, S. (2016). Makine öğrenmesi yöntemlerinin görüş madenciliğinde kullanılması üzerine bir literatür araştırması. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(2).
7. Chatterjee, A., Gupta, U., Chinnakotla, M. K., Srikanth, R., Galley, M., & Agrawal, P. (2019). Understanding emotions in text using deep learning and big data. *Computers in Human Behavior*, 93, 309-317.
8. Almeida, F., & Xexéo, G. (2019). Word embeddings: A survey. *arXiv preprint arXiv:1901.09069*.
9. Zhang, L., Wang, S., & Liu, B. (2018). Deep learning for sentiment analysis: A survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(4), e1253.
10. Xu, J., Chen, D., Qiu, X., & Huang, X. (2016). Cached long short-term memory neural networks for document-level sentiment classification. *arXiv preprint arXiv:1610.04989*.
11. Rao, G., Huang, W., Feng, Z., & Cong, Q. (2018). LSTM with sentence representations for document-level sentiment classification. *Neurocomputing*, 308, 49-57.
12. Al-Smadi, M., Talafha, B., Al-Ayyoub, M., & Jararweh, Y. (2019). Using long short-term memory deep neural networks for aspect-based sentiment analysis of Arabic reviews. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 10(8), 2163-2175.
13. Lu, C., Huang, H., Jian, P., Wang, D., & Guo, Y. D. (2017, May). A P-LSTM neural network for sentiment classification. In *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 524-533). Springer, Cham.
14. Ma, Y., Peng, H., Khan, T., Cambria, E., & Hussain, A. (2018). Sentic LSTM: a hybrid network for targeted aspect-based sentiment analysis. *Cognitive Computation*, 10(4), 639-650.
15. Landi, F., Baraldi, L., Cornia, M., & Cucchiara, R. (2021). Working memory connections for LSTM. *Neural Networks*, 144, 334-341.
16. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
17. Onan, A., & Toçoğlu, M. A. (2021). Weighted word embeddings and clustering-based identification of question topics in MOOC discussion forum posts. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(4), 675-689.
18. Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). Enriching word vectors with subword information. *Transactions of the association for computational linguistics*, 5, 135-146.

19. Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. D. (2014, October). Glove: Global vectors for word representation. In *Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP)* (pp. 1532-1543).
20. Gutiérrez, G., Canul-Reich, J., Zezzatti, A. O., Margain, L., & Ponce, J. (2018). Mining: Students comments about teacher performance assessment using machine learning algorithms. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 9(3), 26.
21. Li, X., & Wu, X. (2015, April). Constructing long short-term memory based deep recurrent neural networks for large vocabulary speech recognition. In *2015 IEEE International conference on acoustics, speech and signal processing (icassp)* (pp. 4520-4524). IEEE.
22. Li, X., Peng, L., Yao, X., Cui, S., Hu, Y., You, C., & Chi, T. (2017). Long short-term memory neural network for air pollutant concentration predictions: Method development and evaluation. *Environmental pollution*, 231, 997-1004.
23. Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1412.3555*.
24. Rojas-Barahona, L. M. (2016). Deep learning for sentiment analysis. *Language and Linguistics Compass*, 10(12), 701-719.





# Sulfate Removal from Water by Ion Exchange Method Using Purolite A200 Resin

M. Bora Akın<sup>1\*</sup>, Zülal Hoşafcıoğlu Kıyısın<sup>2</sup> and M. Muhtar Kocakerim<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Çankırı Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3841-1633), [mbakin@karatekin.edu.tr](mailto:mbakin@karatekin.edu.tr)

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4149-3414), [zulalhosafcioglu@gmail.com](mailto:zulalhosafcioglu@gmail.com)

<sup>3</sup> Çankırı Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3276-6097), [mkocakerim@yahoo.com](mailto:mkocakerim@yahoo.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080906)

**ATIF/REFERENCE:** Akın, M. B., Hoşafcıoğlu-Kiyısın, Z. & Kocakerim, M. M. (2022). Sulfate Removal from Water by Ion Exchange Method Using Purolite A200 Resin. *European Journal of Science and Technology*, (34), 247-253.

## Abstract

In this study, sulfate removal by ion exchange method using Purolite A200 resin was investigated. In the study, the effect of resin amount, temperature, initial pH of the solution, initial sulfate concentration of the solution and mixing speed were selected as parameters. As a result, in sulfate removal; it was observed that the initial pH value was not very effective, but the temperature, initial sulfate concentration, mixing speed and resin amount were effective and the removal efficiency increased with the increase in the values of these parameters. The  $q_m$  value was found as -0.381, while the Langmuir coefficient  $K_L$  value was found as -0.227. For Freundlich isotherm, the  $K_f$  value was found to be 0.617, while the  $n$  coefficient value was found to be 0.705. These result was show that Langmuir isotherm was found to be a more suitable adsorption isotherm than Freundlich isotherm for this system.

**Keywords:** Resin, Prolite A200, Sulfate, Ion Exchange, Water.

## Purolite A200 Reçine Kullanılarak İyon Değişirme Yöntemi ile Sudan Sülfat Giderimi

### Öz

Bu çalışmada, Purolite A200 reçinesi kullanılarak iyon değişirme yöntemiyle sülfat giderimi araştırılmıştır. Çalışmada reçine miktarı, sıcaklık, çözeltinin başlangıç pH'ı, çözeltinin başlangıç sülfat konsantrasyonu ve karıştırma hızının etkisi parametre olarak seçilmiştir. Sonuç olarak sülfat gideriminde; başlangıç pH değerinin çok etkili olmadığı ancak sıcaklık, başlangıç sülfat konsantrasyonu, karıştırma hızı ve reçine miktarının etkili olduğu ve bu parametrelerin değerlerinin artmasıyla giderim veriminin arttığı görülmüştür.  $q_m$  değeri -0.381, Langmuir katsayısı  $K_L$  değeri -0.227 olarak bulunmuştur. Freundlich izotermi için  $K_f$  değeri 0,617,  $n$  katsayı değeri ise 0,705 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, Langmuir izoterminin bu sistem için Freundlich izoterminden daha uygun bir adsorpsiyon izotermi olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Reçine, Prolite A200, Sülfat, İyon Değişim, Su.

\* Corresponding Author: [mbakin@karatekin.edu.tr](mailto:mbakin@karatekin.edu.tr)

## 1. Introduction

Sulfate, which is rich in the environment, is one of the most common anions in natural waters (Sezer, 1997). It usually results from mineral deposits, soils and rocks, or from the combustion of sulfur-containing fuels. The sulfate concentration, which is 2700 mg/L in sea water, varies between 3-30 mg/L in fresh water (EPA, 1999).

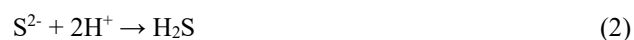
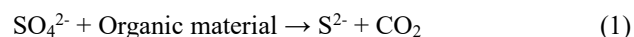
Some sulfate compounds are given to humans and animals for therapeutic purposes. However, sulfate, which can have a laxative effect on human health when present in natural waters above 1000 mg/L, gives a salty taste to water at concentrations above 500 mg/L. For this reason, the World Health Organization (WHO) has limited the sulfate concentration in drinking water to an upper limit of 500 mg/L (Silva et al., 2010).

Various effects of short-term and long-term exposure of humans and animals to sulfate have been investigated. Many studies have been conducted to determine the toxic effect of sulfate on humans. Diarrhea was reported in three infants exposed to water containing high levels of sulfate (630–1150 mg/L), but could not be directly associated with the sulfate content of the water as there could be other possible causes of diarrhea (such as infant formula with high dissolved substances or a microbial pathogen). In a study conducted in North Dakota, a small increase in the sighted laxative effect was observed in the use of drinking water containing 500–1500 mg/L sulfate. In the same study, while a laxative effect was found in 21% of the people in the use of water with a sulfate content of less than 500 mg/L, this rate reached 28% in the case of 500 to 1500 mg/L sulfate. In studies on the effects of diarrhea on humans, it has been determined that a single dose of 8 g sodium sulfate causes diarrhea. On the other hand, diarrhea was not observed when 8 g sodium sulfate was administered in 4 doses of 2 g at hourly intervals. In the case of taking the same amount of magnesium sulfate, effects ranging from stomach disorders to diarrhea have been detected (EPA, 1999).

While 60% of sodium sulfate in divided doses is absorbed by the body, only 35% of magnesium sulfate is absorbed. These results showed that the form of sulfate is very important in determining the potential effects of sulfate. Laxative effects and occasional diarrhea have been reported in animals and humans acutely exposed to high levels of sulfate. However, these effects were not observed in long-term studies, and the reason for this was explained as the body's acclimation to sulfate. On the other hand, after using water containing high level of sulfate, diarrhea effect was detected again after using water containing low level of sulfate. In general, it is noted that high levels of sulfate do not affect the intestines of normal healthy adults and infants. However; It is reported that elderly people with normal mechanical, physical and biochemical functional disorders, taking certain drugs (diabetes, hypertension, high cholesterol), people with intestinal diseases and infants in touristic areas are affected by exposure to high levels of sulfate. Especially; People in transition areas such as tourists, hunters, students and other temporary visitors are the people most affected by high sulfate concentrations.

Apart from public health, another effect of sulfate is that it causes corrosion in treatment plants and distribution networks. In the concrete canals where water is transmitted, under anaerobic conditions, sulfate is reduced to hydrogen sulfide by the effect of

bacteria and the resulting H<sub>2</sub>S oxidizes to form H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with moisture. Thus, it causes corrosion of concrete pipes. It also causes an unpleasant odor at low pH values due to the presence of H<sub>2</sub>S. The reactions take place like this:



Sulfate in water used in industrial processes creates solid, solid and tightly bonded deposits on the inner walls of steam boilers over time. One of these deposits is calcium sulfate. The solubility of calcium sulfate decreases with temperature and when it reaches a certain concentration value, it helps stone formation with other deposits. Among the factors affecting corrosion control; significant changes in pH, chloride/sulfate ratio, and change in organic concentration or alkalinity of purified water are shown. With the increase of oxygen in the ventilation units and the addition of disinfectant after membrane filtration, sulfide is oxidized to sulfate and increases the sulfate concentration in the water. In advanced coagulation processes; increasing the dose of coagulant leads to an increase in the concentration of anions (chloride or sulfate), thus changing the chloride/sulfate ratio (EPA, 1999). For this reason, the removal of sulfate from drinking and utility water has become important, especially today, when clean water resources are decreasing.

Membrane process, biological separation, membrane processing and ion exchange can be applied to remove sulfate from water.

In an ion exchange process, the sulfate anions are replaced by the hydroxyl ions in the anion exchange resins and become attached to the anion exchanger. Investment and operating costs of ion exchangers are quite high. Therefore, it is difficult to apply for large volumes. From the point of view of treatment technology, the washing water that emerges as a result of regeneration will be a new wastewater containing sulfate at very high concentrations. However, since this new wastewater will be much smaller and concentrated, it may be easier to treat with different methods. The ion exchange method can be very meaningful and effective as a separation process, but its applicability is very low in the treatment of industrial wastewater with high concentrations of pollution. When this method is applied for the treatment of industrial wastewater, ion exchanger columns reach saturation in a very short time and must be regenerated or replaced (Duranoglu, 2012).

In a study by Stefan et al. in 2014, ion exchanger was used to remove nitrate and sulfate from water with commercial type A-520E anion exchange resins. The nitrate and sulfate ion exchange capacity depends on the concentration of the ions and the pH of the aqueous solution under static conditions. It was determined that an increase in the pH value in the range of 3.9 to 8.2 caused a decrease in the sorption capacity for nitrate and sulfate ions from the aqueous solution. Therefore, they observed that polymer a-520e is very good for removing nitrate anions from aqueous solutions due to its high selectivity towards nitrate ions (Stefan et al., 2014).

Guimaraes and Leão, in a study they conducted in 2014, provided the removal of sulfate from aqueous solutions with Amberlyst A21, a polystyrene weak base ion exchange resin. They observed that both pH and initial sulfate concentration strongly influence the sorption efficiency, which is greatest in

acidic environments. They observed that the sulfate absorption by Amberlyst A21 operating under optimum operating conditions was relatively fast, and it reached equilibrium after 45 minutes of contact between the solid and liquid phases. In elution experiments, they observed that sulfate was easily  $\geq 100\%$  desorbed from the resin with sodium hydroxide solutions at pH 10 or pH 12 (Guimaraes and Leão, 2014).

In a study conducted by MacKeown et al. in 2021, they observed the removal of dissolved organic carbon (DOC) from the inlet water using four resins named Purolite PPA860S, Dowex TAN-1, AMBERLITE IRA-958 and IRA-410. Of these resins, it was observed that IRA - 410 reduced the dissolved organic carbon (DOC) and disinfection by-product (DBP) formation potential by 41% and 37%, respectively (MacKeown et al., 2021).

In another study, they used AMBERLITE IRA-400 and Dowex 1x2 to reduce the amount of sulfate, thiosulfate, chloride and xanthate from the process water with strong base ion exchange resins. Adsorption was carried out using synthetic process water containing sulfate, thiosulfate, chloride and xanthate ions. They observed that approximately 93% of the sulfate was adsorbed in 5 minutes and the adsorption removed 96% of the sulfate from the water in 30 minutes, as well as removing most of the thiosulfate, chloride and xanthate ions from the flotation water (Öztürk & Ekmekçi, 2020).

In this study, sulfate removal efficiency of Purolite A200 resin in ion exchange process and changing the temperature, resin amount, initial pH, mixing speed, initial sulfate values were investigated effects on the yield.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

Purolite® A200, a solid form of gel polystyrene crosslinked with divinylbenzene (Purolite A200, 2022), an anion exchange resin, was used as the ion exchange resin in the study. Sodium sulfate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) was used in the preparation of solutions containing sulfate ions. While preparing the solutions, type II distilled water was used, and dilute hydrochloric acid and sodium hydroxide solutions were used to adjust the pH values of the solutions. The chemicals used were produced by Merck (Table 1).

Table 1. List of chemicals

Chemical Name	Chemical Formula
Sodium sulfate	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
Resin	Purolite® A200
Hydrochloric acid	HCl
Sodium hydroxide	NaOH
Glycerine	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
Ethyl Alcohol 95%	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Barium chloride $\geq 99.0\%$	$\text{BaCl}_2$

Experiments were carried out in a double-walled reactor. In order to keep the temperature constant in the experimental system, a water bath with cooled circulator, Polyscience (AP07R-20-A12E), was connected. Continuous mechanical mixing was done by a IKA Eurostar 20 mechanical stirrer in the reactor. To determine indirect concentration values, absorbance values were measured using a UV Spectrometer, Shimadzu-UV1800

### 2.2. Method

Sulfate solution in the selected parameter value was put into the double-walled glass reactor with a volume of 1 L placed in a cooled circulating water bath. The temperature value was adjusted with a refrigerated circulating water bath. The pH was adjusted with a pH meter. The speed of the mechanical stirrer was adjusted to the value specified in the parameter. The required amount of resin was added to the sulfate solution in the glass reactor.

In the first stage,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  to be used in the preparation of synthetic  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solutions was dried in an oven at  $100^\circ\text{C}$  for 120 minutes. Then, 10, 40, 60, 80 and 100 mg/L sulfate solutions were prepared and the calibration curve was created and it was used to convert the absorbance value to the concentration.

All parameters and their levels are summarized in Table 2. While experiments were performed for different values of a parameter, values with \* were kept constant in other parameters.

As seen in Table 2, the parameters examined in the study: temperature (10, 15, 20,  $30^\circ\text{C}$ ) resin amount (2.5, 5, 10, 15 g/L), initial pH (5, 6, 7, 8), stirring speed (150, 175, 200, 225 rpm), and initial sulfate concentration (1000, 1400, 1700, 2000 mg/L).

Table 2. Parameters and levels of the study

Temp. ( $^\circ\text{C}$ )	Resin Amount (g/L)	Initial pH	Stirring Speed (rpm)	Initial $[\text{SO}_4]^{2-}$ (mg/L)
10	2.5	5	150	1000
15	5*	6	175	1400*
20*	10	7*	200*	1700
30	15	8	225	2000

### 2.3. Analysis

Samples were taken from 10 mL of test solution at 2, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 minutes and transferred to 100 mL volumetric flasks. The solutions in the volumetric flasks were completed to 100 mL and made ready for analyses.

The procedure used for the determination of sulfate with UV-Spectrometer using suspended  $\text{BaSO}_4$  was found in the literature (Schubert et al., 1979; Bertolacini and Barney, 1958).

In this procedure, preservative solution (Conditioning Reagent) is a solution consisting of glycerine, HCl, distilled water, ethyl alcohol and NaCl as stated. This solution was prepared to suspend  $\text{BaSO}_4$  colloids during the analysis period. The wavelength of UV Spectrometer was set to 420 nm in this procedure.

The UV spectrometer was reset with a blank sample before the measurements. Samples prepared by diluting in the volumetric flasks. The conditioning solution and  $\text{BaCl}_2$  were added to solution. Then the stopwatch was started and volumetric flask was shaken for 1 minute. The sample was then transferred to one of the cuvettes and measured in the UV spectrometer.

## 3. Results

### 3.1. Initial pH Effect

Experiments to reveal the initial pH effect in the study were carried out by adjusting the pH value of 5, 6, 7 and 8. The sulfate concentration was followed using the analyzes of the samples

taken during the experiments. In order to better examine the results of the initial pH effect, a graph showing the effect of initial pH over sulfate concentration and removal was given in Figure 1a and Figure 1b, respectively.

When the graphs obtained by the change of the initial pH values versus t were examined, decreasing in sulfate concentration and increasing in % removal is seen with the increase of the pH value.

### 3.2. Effect of Resin Amount

In order to examine the effect of the amount of resin on the sulfate removal, the results of the sulfate analysis in the samples taken during the trials and the sulfate removal percentages calculated from these results were plotted against time. In Figure 2a and Figure 2b, all the results are shown together as it will make it easier to observe the difference between them.

In experiments where the amount of resin was increased from 2.5 g/L to 15 g/L, it was observed that the % removal increased with increasing amount. While this increase was around 7% in the experiments using 2.5 g/L resin, it reached about 24% in the experiments using 15 g/L.

### 3.3. Stirring Speed Effect

In the experiments where the effect of the stirring speed was examined, the mixing speed was changed at 150, 175, 200 and 225 rpm values, and the samples taken from the reactor were analyzed during these experiments and sulfate concentration

graph was created. The effect of different stirring speeds on sulfate concentration in the solution and the % removal are given in Figure 3a and Figure 3b, respectively.

### 3.4. Temperature Effect

In the experiments where the temperature was examined as a parameter, the temperature was investigated using 10, 15, 20 and 30 °C values. The variation of the sulfate concentration with time was made by analyzing the samples taken during the experiments and is shown in Figure 4a. The % removals also are shown in Figure 4b.

The effect of temperature on sulfate concentration appears linear. With increasing temperature, the sulfate concentration removal from the solution increases. Equilibrium sulfate values at 10, 15, 20 and 30 °C, respectively; 6.57%, 10%, 11.42% and 15.07% were calculated.

### 3.5. Initial Sulfate Concentration Effect

In the experiments where the effect of the initial sulfate concentration was investigated, 1000, 1400, 1700 and 2000 mg/L concentrations were used as starting values. The variation of the sulfate concentration with time was determined by the analyzes and the concentration change versus time is shown in Figure 5a. Also the % sulfate removals are given in Figure 5b.

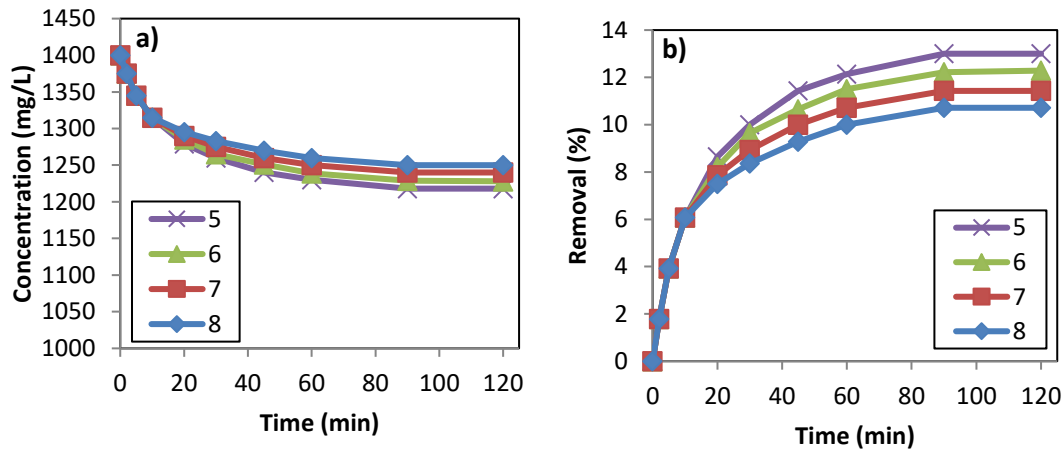


Figure 1. Effect of initial pH value on sulfate a) Concentration b) Removal

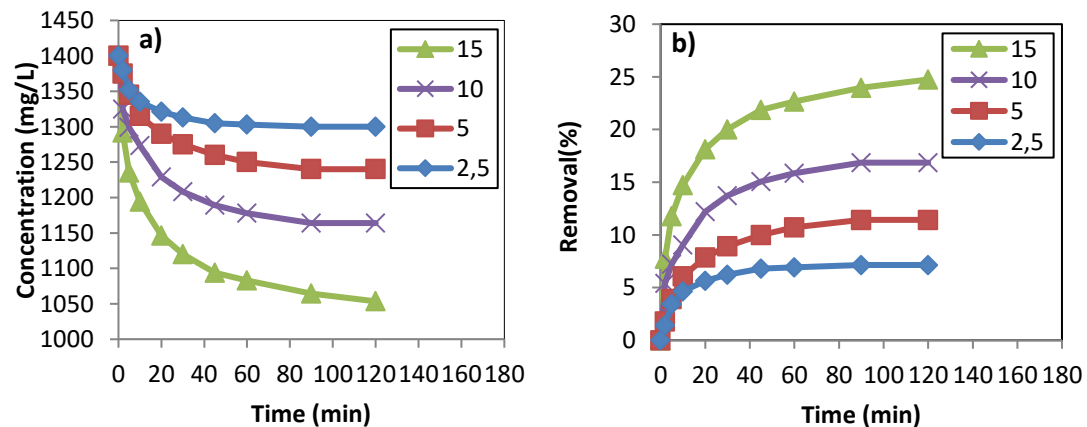


Figure 2. Effect of resin amount on sulfate a) Concentration b) Removal

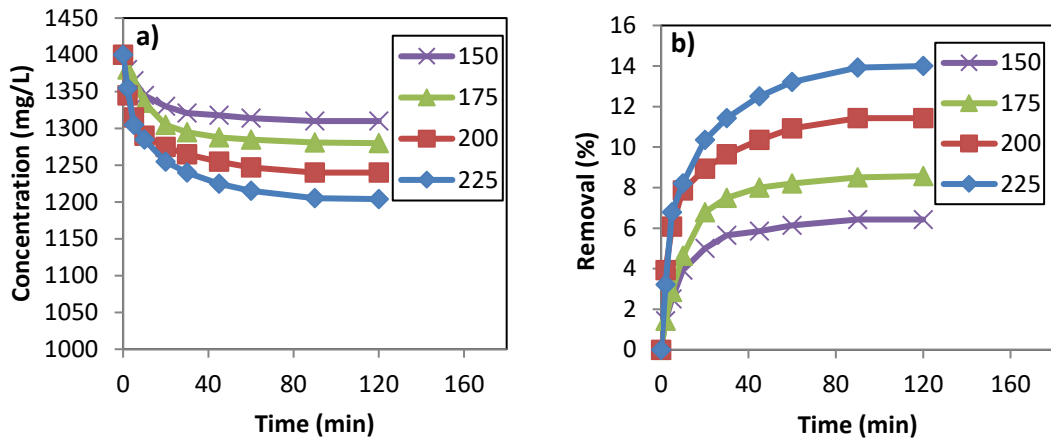


Figure 3. Effect of stirring speed on sulfate a) Concentration b) Removal

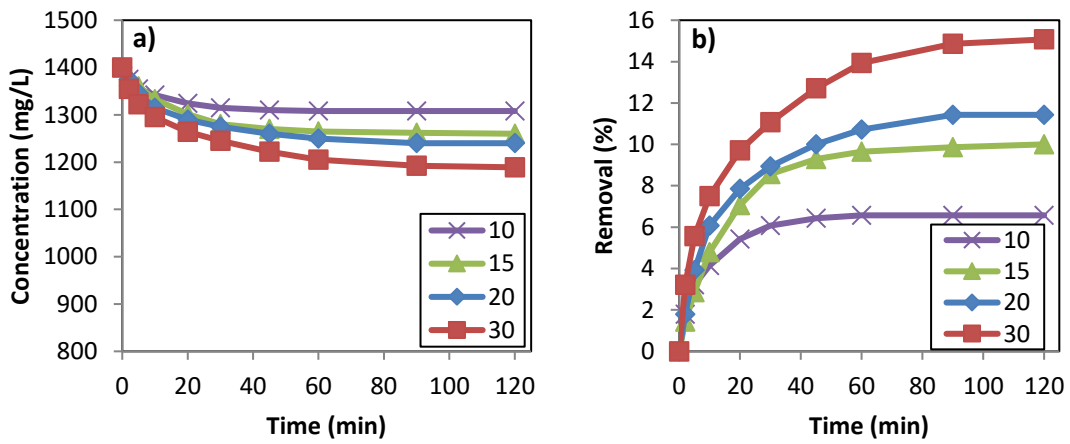


Figure 4. Effect of temperature on sulfate a) Concentration b) Removal

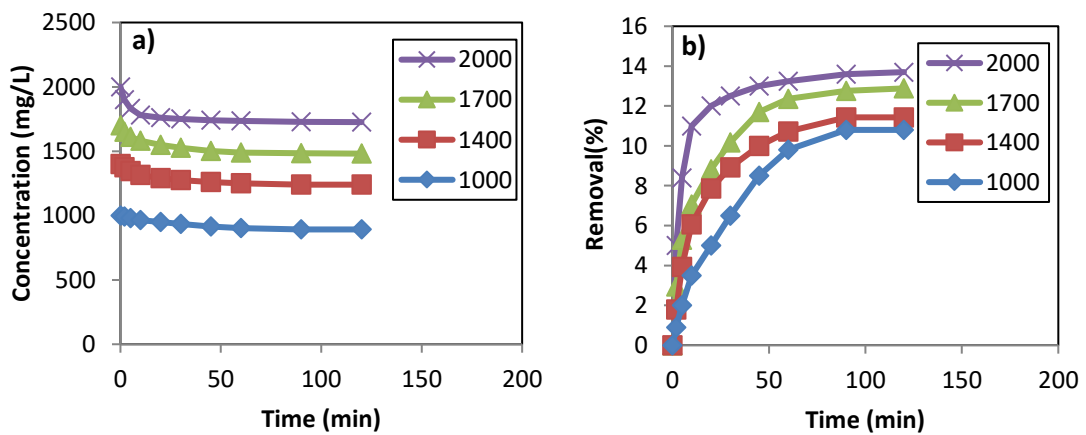


Figure 5. Effect of initial sulfate concentration on sulfate a) Concentration b) Removal

It can be said in the light of the data obtained that the % removal values increase with the increase of the initial sulfate concentration. Equilibrium values of sulfate removals obtained at initial concentrations of 1000, 1400, 1700 and 2000 mg/L are 892, 1240, 1481 and 1726 mg/L, respectively. Again, the removal values of the sulfate concentration obtained at the same initial concentrations are calculated as 10.8%, 11.42%, 12.88% and 13.7%, respectively.

### 4. Discussion

Langmuir and Freundlich isotherm calculations

As a result, it was determined which isotherm is more suitable for the adsorption event. As seen in Table 3, values for Langmuir isotherm was calculated with Equation (4) below:

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \tag{4}$$

From this expression,

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L \cdot C_e} + \frac{1}{q_m} \tag{5}$$

obtained.  $q_m$  is the maximum adsorption capacity of the adsorbent and  $K_L$  is the Langmuir adsorption constant.

Table 3. Calculated values for Langmuir isotherm

$C_0$	$C_e$	$C_0 - C_e$	$1/C_e \cdot 10^{-3}$	$q_e \cdot 10^{-3}$	$1/q_e \cdot 10^{-5}$
2000	1726	274	0.57	24.66	4.05
1700	1481	219	0.67	19.71	5.07
1400	1240	160	0.80	14.40	6.94
1000	892	108	1.12	9.72	10.28

The graphical analysis method was used to find the  $q_m$  and  $K_L$  values, and the  $1/q_e - 1/C_e$  graph, in which the calculation was made, is shown in Figure 6.

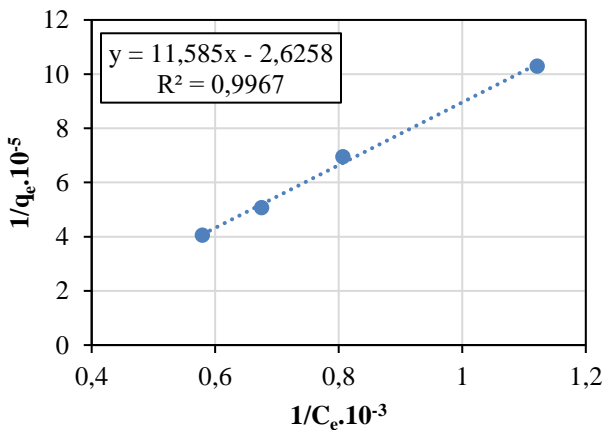


Figure 6.  $1/q_e$  versus  $1/C_e$  curve

As a result of the calculation made using the cut point of the  $1/q_e$  versus  $1/C_e$  curve, the  $q_m$  value was found to be -0.381, and the Langmuir coefficient  $K_L$  value calculated using slope of line was calculated as -0.227.

As seen in Table 4, values for Freundlich isotherm was calculated with Freundlich isotherm equation, Equation (6) below:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{(1/n)} \tag{6}$$

Table 4. Calculated values for Freundlich isotherm

$C_0$	$C_e$	$C_0 - C_e$	$q_e \cdot 10^{-3}$	$1/q_e \cdot 10^{-5}$	$\log C_e$	$\log q_e$
2000	1726	274	24.66	4.05	3.23	4.39
1700	1481	219	19.71	5.07	3.17	4.29
1400	1240	160	14.40	6.94	3.09	4.15
1000	892	108	9.72	10.28	2.95	3.98

Here;  $K_f$  is Freundlich constant,  $n$  is constant ( $n > 1$ ). Taking the logarithm of both sides of this equation gives the expression:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \tag{7}$$

The graphical analysis method was used to find the  $K_f$  and  $n$  values, and the  $\log C_e$  versus the  $\log q_e$  graph, in which the calculation was made, is given in Figure 7.

The  $K_f$  value was found to be 0.617 as a result of the calculation made by utilizing the cut point of the  $\log q_e$  curve versus  $\log C_e$ , and the  $n$  coefficient value calculated with the slope of line was calculated as 0.705.

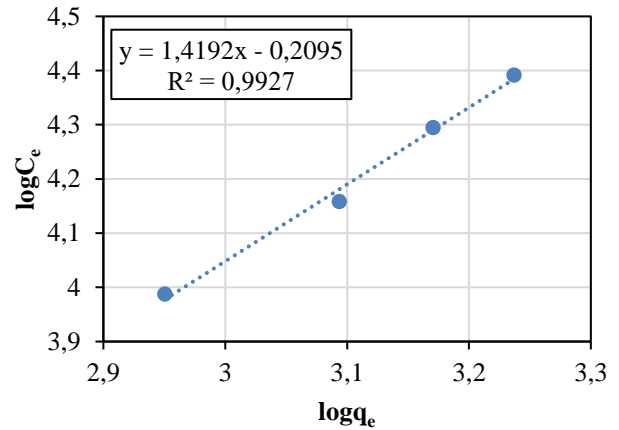


Figure 7.  $\log q_e$  versus  $\log C_e$  curve

### 5. Conclusion

In the study, it was concluded that Prolite A200 anion resin was successful in sulphate removal.

Since the increase in the amount of removal with the change of the initial pH values is very low, it is concluded that the pH change is ineffective.

While the amount of resin was around 7% in the experiments using 2.5 g/L resin, it reached about 24% in the experiments using 15 g/L.

It is seen that the % removal value increases with increasing mixing speed.

It was concluded that the sulfate concentration removal from the solution increased with the increase in temperature.

In the experiments in which the initial sulfate concentration was examined, it was observed that the % removal values increased with the increase in the initial concentration.

As a result of the calculation using the  $1/q_e$  versus  $1/C_e$  curve of the adsorption, it was observed that the adsorption was consistent with the Langmuir isotherm and the  $q_m$  value was found as -0.381, while the Langmuir coefficient  $K_L$  value was found as -0.227.

As a result of the calculation using the  $\log C_e$  versus  $\log q_e$  curve, the adsorption was found to be in accordance with the Freundlich isotherm, and the  $K_f$  value was found to be 0.617, while the  $n$  coefficient value was found to be 0.705.

Langmuir isotherm was found to be a more suitable adsorption isotherm than Freundlich isotherm for this system.

## References

- Bertolacini R. J. and Barney, J. E. (1958). Ultraviolet Spectrophotometric Determination of Sulfate, Chloride, and Fluoride with Chloranilic Acid, *Anal. Chem.*, 30(2), 202–205.
- Duranoglu, D. (2012). Sulfate removal from wastewater by chemical precipitation method, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 212, 39–55.
- EPA, Health Effects from Exposure to High Levels of Sulfate in Drinking Water Study. Environmental Protection, January 25th 1999.
- Guimarães, D. & Leão, V. A. (2014). Batch and fixed-bed assessment of sulphate removal by the weak base ion exchange resin Amberlyst A21, *Journal of Hazardous Materials*, 280, 209–215.
- MacKeown, H. Gyamfi, J. A. Delaporte, M. Schouttetten, K. V. K. M. Verdickt, L. Ouddane, B. & Criquet, J. (2021). Removal of disinfection by-product precursors by ion exchange resins, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104602.
- Öztürk, Y. & Ekmekçi, Z. (2020). Removal of sulfate ions from process water by ion exchange resins, *Minerals Engineering*, 159, 106613.
- Prolite A200 (2022) The Prolite website. Available: <https://www.purolite.com/product/a200/>
- Schubert, S. A. Clayton, J. W. and Fernando, Q. (1979). Determination of sulfite and sulfate in solids by time-resolved molecular emission spectrometry, *Anal. Chem.*, 51(8), 1297–1301.
- Sezer, S. (1997). *Atıksulardaki sülfat iyonlarının selülozlu ortamda çöktürülmesi*, Master's thesis, Yıldız Technical University, İstanbul.
- Silva, R. Cadorn L. & Rubio, J. (2010). Sulphate ions removal from an aqueous solution: I. Co-precipitation with hydrolysed aluminum-bearing salts, *Minerals Engineering*, 23(15), 1220–1226.
- Stefan, D. S. Frederick van Staden, J. Vasile, E. Vasile, O. R. & Dancila, M. (2014). Influence of sulfate and nitrate uptake from aqueous solutions on surface exchange in Purolite A-520E resin, *Comptes Rendus Chimie*, 17(7), 738–745.



## TurtleBot 3 ile Ros Tabanlı Yol Planlama Uygulaması

Hazim İşcan<sup>1</sup>, Ezgisu Tuncel<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3698-3745), [hiscan@ktun.edu.tr](mailto:hiscan@ktun.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9068-794X), [tuncelzgisu@gmail.com](mailto:tuncelzgisu@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081097)

**ATIF/REFERENCE:** İşcan, H. & Tuncel, E. (2022). TurtleBot 3 ile Ros Tabanlı Yol Planlama Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 254-258.

### Öz

Robot İşletim Sistemi (ROS) robotların kontrolünü sağlayan bir işletim sistemidir. Haritalama ve yer tespiti için, ROS içerisindeki Gmapping paketindeki, Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM) kullanılır. Gmapping, halihazırda oluşturulmuş olan harita parçaları ve sensör verileri temellidir. Her bir parçacık, robotun geçmiş pozisyon örneği ve harita üzerinde verilen önceki pozisyon örneğinin geçmişinin toplamıdır. Gmapping olasılıksal dağılım modeli robotun son gözlemlerini de hesaba katarak bir yayılım oluşturur. Harita oluşturulduktan sonra robotun hedefe gidebilmesi için yol planlamasının yapılması gerekir. Dijkstra Algoritması, hangi yolların keşfedileceğine öncelik vermemizi sağlar. Tüm olası yolları eşit olarak araştırmak yerine, daha düşük maliyetli yolları tercih eder. Yollarda ilerlemeyi teşvik etmek için daha düşük maliyetler, engellerden kaçınmak için daha yüksek maliyetler ve daha fazlası ayarlanabilir. Dijkstra Algoritması tüm konumlara giden yolları bulabilir. A\* Algoritması, Dijkstra Algoritmasının tek bir hedef için optimize edilmiş bir versiyonudur. A\*, bir konuma veya birkaç konumun en yakınına giden yolları bulur. Bir hedefe daha yakın görünen yollara öncelik verir. Bu çalışmada Robot İşletim Sistemi (ROS) tabanlı yol planlama algoritmalarından A\* ve Dijkstra'nın, Turtlebot 3 ile uygulaması ve analizi yapılmıştır. Uygulamada hedefe başarılı bir şekilde ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** A\*, Dijkstra, Gmapping, Yol Planlama, Robotics, Ros, TurtleBot.

## Ros Based Path Planning Application with TurtleBot 3

### Abstract

Robot Operating System (ROS) is an operating system that provides control of robots. Simultaneous Positioning and Mapping (SLAM) in the Gmapping package in ROS is used for mapping and locating. Gmapping is based on already created map segments and sensor data. Each particle is the sum of the past position example of the robot and the history of the previous position example given on the map. The Gmapping probabilistic distribution model creates a spread, taking into account the robot's last observations. After the map is created, path planning must be done so that the robot can go to the destination. Dijkstra's Algorithm allows us to prioritize which paths to explore. Rather than exploring all possible routes equally, it prefers lower-cost routes. It can set lower costs to encourage progress on roads, higher costs to avoid obstacles, and more. Dijkstra's Algorithm can find paths to all locations. The A\* Algorithm is a single-target optimized version of the Dijkstra Algorithm. A\* finds paths to a location or the closest of several locations. Prioritizes paths that seem closer to a destination. In this study, the implementation and analysis of Robot Operating System (ROS) based path planning algorithms A\* and Dijkstra with Turtlebot 3. In practice, the target has been successfully achieved.

**Keywords:** A\*, Dijkstra, Gmapping, Path Planning, Robotics, Ros, TurtleBot.

\* Corresponding Author: [tuncelzgisu@gmail.com](mailto:tuncelzgisu@gmail.com)



## 1. Giriş

Mobil robotlarla ilgili çalışmalar 1960'larda başlamıştır. 1980'lerde dünya çapında yeni bir araştırma zirvesinin meydana gelmesiyle, General Electric, Honda ve Sony gibi dünyaca ünlü firmalar robot platformları geliştirmeye başladılar. Bu platformlar başlangıçta çoğunlukla üniversitelerde kullanılmaya başlandı. Laboratuvarlar ve araştırma enstitüleri tarafından mobil robotlar üzerine yapılan araştırmalar ve 1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar biliminin, sensör teknolojisi ve yapay zekanın gelişmesiyle robotlar ile ilgili çalışmalar hızlanmıştır. Mobil robotların uygulamaları daha da ilerlemiştir. Geçtiğimiz birkaç on yılda tekerlekli mobil robotlar daha geniş çapta incelenmiştir. Mobil robotların endüstriyel uygulamalarda kullanımının gün geçtikçe artması, birçok araştırmacının daha fazla ilgisini çekmiş ve mobil robotlarda verimlilik ön plana çıkmıştır. Otomasyon ve robot teknolojisinin hızlı gelişimi ile birlikte, mobil robotlar için daha yüksek zorluklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Karmaşık bir ortamda, navigasyon ve kontrol doğruluğu kritik hale gelmiştir. Bu da otonom navigasyona ve yörengeye odaklanmayı gerektirmektedir. Otonom navigasyon, robotik araştırmaların önemli bir konusudur. Otonom navigasyon, bir robotun kaybolmadan veya diğer nesnelere çarpışmadan bir konumdan diğerine güvenli bir şekilde hareket etmesi için doğru şekilde yapılması gereken bir görevdir. İç ortamda bulunan otonom bir robotun bulunduğu konumdan gitmesi gereken hedef noktaya ulaşabilmesi için robotun sensörler aracılığıyla çevresinden bilgi toplayabilmesi, sensör verilerini analiz edebilmesi, çalışma alanının bir modelini oluşturması ve ardından da çarpışmasız bir yol planlaması yapması gerekir.

Hu ve Yang (2004) tarafından bir mobil robot yol planlaması için bilgi tabanlı genetik algoritma (GA) kullanılmıştır. Çalışmalarını bir simülasyon ortamında test etmişlerdir.

Sarrif ve Bünyamin (2006) otonom robotlar için yol planlama algoritmalarına genel bir bakış sunmuştur.

Mohanty ve Parhi (2014) Cuckoo Search algoritmasını kullanmıştır. Yarı bilinen statik engellerin bulunduğu bir ortamda bir mobil robot navigasyonu planlamıştır.

Liang ve Lee (2015) çoklu yol planlama problemini çözmek için mobil robot navigasyonu için verimli bir yapay arı kolonisi (EABC) algoritması önermiştir.

Pandey ve Parhi (2017), mobil robot yol planlama problemini çözmek için bir tektonik tip-1 bulanık mantık sistemi (T1-SFLS) denetleyicisi ve Fuzzy-WDOMobil içeren hibrit algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma ile statik ve dinamik bilinmeyen bir durumda çarpışmadan kaçınma sorununa odaklanmıştır.

Victerpaul ve ark. (2017), mobil robot yol planlamasına ilişkin kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Yol içindeki çevredeki engellere odaklanarak gideceği yolu optimize eden algoritmalar üzerinde çalışmışlardır.

Bu çalışmada ROS tabanlı yol planlama algoritmaları incelenerek, TurtleBot 3'ün bulunduğu konumdan belirtilen hedefe gitmesi simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

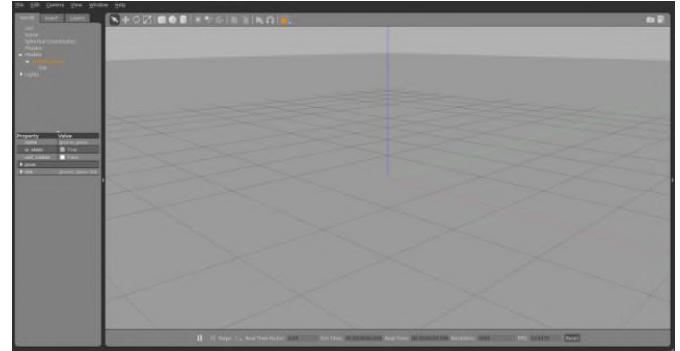
### 2.1. Robot İşletim Sistemi (ROS)

Robot İşletim Sistemi, araştırmacılar ve geliştiricilerin robotik uygulamalarda kullandığı, robot ve robot bileşenlerinin kontrol edilmesini sağlayan, programlama dili bağımsız, açık kaynak kodlu bir meta işletim sistemidir. Robotun sensörler yardımıyla dış dünyadan aldığı ses, görüntü gibi verileri tekrar robota komut olarak göndermeyi sağlayan yazılımdır. ROS, birbirleri ile iletişim kurabilen, işlem yapan birimlerden oluşur. Bire-çok abone modeli ve TCP / IP protokolü kullanarak söz konusu konular üzerinde iletişim kuran bağımsız bu modüllere düğüm (node) adı verilir. ROS, yayınlama/abone olma mantığında çalışır. Bilgisayar ve robot arasındaki yayınlama veya abone olma sırasındaki iletişim, topic'ler, service'ler ve action'lar ile sağlanır. Ana başlıkların detaylandırılması için 2. seviye ve 3. seviye başlıklar kullanılabilir (ROS, 2022).

### 2.2. Gazebo

Gazebo, açık ve kapalı mekanlar için geliştirilen bir 3 boyutlu dinamik gerçek dünya simülasyon yazılımıdır. 2002 yılında Linux ortamında açık kaynak olarak geliştirilmeye başlanmış ve 2009 yılında Ros ve PR2 Gazeboya entegre edilmiştir.

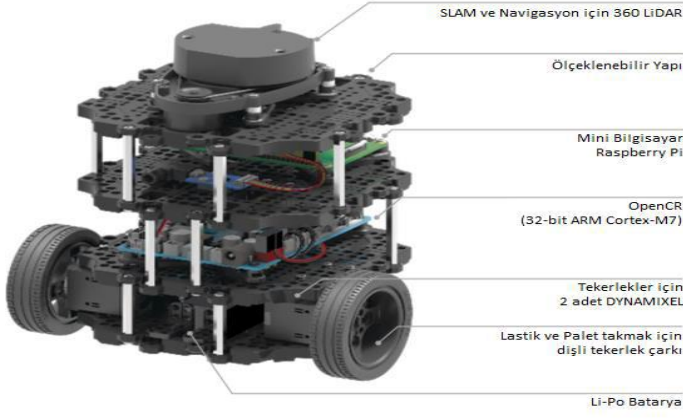
Fizik, sensörler, sahneleme gibi işlevler gelişmiş ve nettir. Gazebo temelde istemci sunucu ilişkisiyle çalışmaktadır. Gazebo server fiziksel işlemleri yaparken, gazebo client kullanıcının etkileşimini ve simülasyonun görselleştirilmesini sağlar. Gazebo ortamında robotlar gerçek dünyadaymış gibi hızlı bir şekilde test edilebilir ve çevresi ile sanal olarak etkileşime girmesi sağlanabilir (Şekil 1) (YZBS, 2022).



Şekil 1. Gazebo Simülasyonu

### 2.2. TurtleBot

TurtleBot, açık kaynaklı yazılıma sahip düşük maliyetli, kişisel bir robot kitidir. TurtleBot modelinin 3 versiyonu bulunmaktadır. TurtleBot1, Willow Garage'dan Tully (Open Robotics'te Platform Yöneticisi) ve Melonee (Fetch Robotics CEO'su) tarafından iRobot'un Roomba tabanlı araştırma robotu Create'in üzerinde ROS dağıtımı için 2010 yılında geliştirildi ve 2011'den beri satışta. 2012 yılında TurtleBot2, araştırma robotu iClebo Kobuki'ye dayalı olarak Yujin Robot tarafından geliştirildi. 2017 yılında TurtleBot3, önceki sürümlerin eksik olan işlevlerini ve kullanıcıların taleplerini tamamlayacak özelliklerle geliştirildi (Şekil 2) (TurtleBot, 2022; Robotis, 2022).



Şekil 2. TurtleBot 3

TurtleBot3, eğitim, araştırma, hobi ve ürün prototiplemede kullanılan ROS tabanlı bir mobil robottur. SLAM ve Navigasyon uygulamalarında çoğunlukla tercih edilmektedir. Gazebo üzerinde hazır modeli bulunduğu robotun hareketleri simülasyon üzerinden gerçekleştirilebilir.

## 2.2. SLAM (-Simultaneous Localization and Mapping)

SLAM, eş zamanlı konum belirleme ve haritalamadır. Temelde iki işlemler bir süreçtir. Bilinmeyen bir yere yerleştirilen bir mobil robot için, haritalama olan ortamın haritasını oluşturur, çıktısını alır ve bunu yaparken robot, kendi konumunu lokalize eder. Yani SLAM, bilinmeyen ortamın haritasını oluşturmak ve aynı anda robotun yerini belirlemektir. Bu işlemi gerçekleştirirken robota takılan sensörler ortamın görselleştirilmesini ve haritanın oluşturulmasını sağlar. SLAM problemi için amaç, başlangıçta robotun çevresini tamamen tanımadığı bir ortamda eş zamanlı olarak konum belirleme ve haritalama yapabilmesidir (Smith ve Cheesman, 1987).

SLAM çözümünde kullanılan 3 paradigmadan ilki ve en etkili olanı Genişletilmiş Kalman Filtresidir (Kalman, 1960). Konumlandırma yapılırken robotun konumunu yön bilgisi ile birlikte bulabilmektedir. Kalman filtresinin aksine genişletilmiş kalman filtresi, doğrusal olmayan sistemler ile de çalışabilir. Robotun hareket ve algı fonksiyonları doğrusal olmadığından bu filtre tercih edilir.

Hareket güncellemesi, robotun konumunun odometriden gelen verilerle güncellenmesidir. Algı güncellenmesi ise algılayıcı veriler ile yapılan güncellemedir.

Genişletilmiş Kalman Filtresinin gerçek zamanlı olarak robotun konumlarından ve işaretçi nesnelerin yerinden kendi konumunu n koşullu olasılığını yüksek derecede tahmin edebilmesidir. Bunu Gaussian Metotları yardımı ile yapar.

Son yıllarda popüler olmaya başlayan grafiksel sunum tabanlı paradigma, parçacık filtresidir. İki adımda gerçekleşen özyinelemeli bir algoritmadır. Bunlar tahmin ve güncelleme adımlarıdır. Parçacık Filtresi algoritması Genişletilmiş Kalman Filtresi ile benzer şekilde inanç değerlerini yaklaşık olarak hesaplar. Bu hesaplamalardaki zamansal gecikmeler kaynaklı zamanı yakınsama hataları oluşur. Temeli bir değişkenin tüm olasılık dağılım fonksiyonunun örnekleme tabanlı bir temsili yapmasıdır. Bu örnekleme süreçlere bağlıdır, değişkenin değerleri süreçlerden çıkan sonuçlara göre değişkenin durumu değişir. Bu değişkenin birden fazla parçacık kopyası bulunur. Ve bu kopyaların her birinin kendisiyle ilişkilendirilmiş bir ağırlığı

bulunur. Bu kopyalarının her birinin ağırlığı alınarak ana değişkenin değeri hakkında bir tahmin yapılır.

SLAM problemini doğrusal olmayan seyrek optimizasyon ile çözer. Graf tabanlı SLAM çözümünde temel sezgiler akıcıdır. Yer işaretleri ve robotun pozisyonu grafın üzerindeki birer düğümdür. Her yer işareti çifti birbirine yayla bağlıdır. Bunlar odometrinin okunması ve iletilmesiyle temsil edilirler. Robotun hissetmesiyle (sensörlerden) diğer yer işaretleri ve konum bilgileri de zamanla oluşur. Graf tabanlı SLAM'ın temel mantığı; grafiği oluşturup, kısıtlamalar tarafından getirilen hatayı en aza indirecek bir düğüm yapılandırması bulmak üzerinedir (Bailey ve Durrant-Whyte, 2006).

## 2.2. Gmapping

Gmapping, halihazırda oluşturulmuş olan harita parçaları ve sensör verileri temellidir. Belirli bir SLAM algoritmasının bir uygulamasıdır. Gmapping, ROS'ta tanımlı bir algoritmadır. Bu nedenle ROS üzerinde tekrar programlanmasına gerek yoktur, sadece doğru düğüm çalıştırılmalı veya dosya terminalde başlatılmalıdır.

Gmapping paketi, slam\_gmapping ROS düğümünü içeren mobil robotun konumu üzerinde lazer sensör ölçümlerine ilişkin verileri kullanarak, 2 boyutlu bir harita oluşturur. slam\_gmapping düğümü, haritayı oluşturmak için gerekli verileri elde etmek için /scan ve /tf konularına abonedir. Bu düğüm lazerden gelen verileri ve dönüşümleri okur ve ardından bu verilere dayalı olarak OGM (Occupancy Grid Map - Doluluk Izgara Haritası) oluşturur. Oluşturulmakta olan harita, haritalama süreci boyunca konu/harita üzerinde yayınlanmaktadır. Konu/harita, nav\_msgs/OccupancyGrid türünde bir mesaj kullanır. OGM'de doluluk, 0 ile 100 arasında bir tamsayı değeri ile temsil edilir. 0 değeri tamamen boş ve 100 tamamen dolu (ör. duvar) anlamına gelir ve özel bir değer -1'dir, bu da bilinmeyen bir alan anlamına gelir.

Robotun konum ve yönünün takibi için Reo – Blackwellized parçacık filtresi kullanılır (Grisetti vd., 2007). Gmapping, robotun son gözlemlerini de hesaba katarak bir yayılım oluşturur ve bu sayede etkin bir şekilde haritalama yapılarak belirsizlikler de aynı zamanda ortadan kalkar. Odometri verileri olmadan gmapping ile haritalama yapılamaz. Dört adımdan oluşur:

Örnekleme: Genellikle, olasılık odometri hareket modeli teklif dağılımı olarak kullanılır.

Önem Ağırlığı: Her parçaya, önem örnekleme ilkesine göre bireysel bir önem ağırlığı atanır.

Yeniden Örnekleme: Parçacıklar, önem ağırlığına oranla orantılı olarak çizilir. Sürekli bir dağılıma yaklaşmak için yalnızca sonlu sayıda parçacık kullanıldığından bu adım gereklidir. Yeniden örneklemeden sonra tüm parçacıkların ağırlığı aynıdır.

Harita Tahmini: Her bir parçacık için o parçacığın yörüngesi ve gözlemleri temelli karşılık gelen harita tahmini hesaplanır.

## 2.2. Yol Planlama

Yol planlama, bulunulan nokta ve hedef nokta arasındaki ardışık noktalardan oluşan geometrik bir şekil olarak tanımlanan optimal yoldur. Yol planlama, çevrenin bir haritasını ve robotun haritaya göre konumunun farkında olmasını gerektirir.

En yaygın harita, doluluk ızgara haritasıdır. Bir ızgara haritasında çevre, üzerinde engellerin işaretlendiği, örneğin 1cm x 1cm gibi keyfi çözünürlükte karelere ayrılır. Olasılıklı bir doluluk ızgarasında, ızgara hücreleri bir engel içerme olasılığıyla

da işaretlenebilir. Bu, özellikle bir engeli algılayan robotun konumu belirsiz olduğunda önemlidir. Izgara haritalarının dezavantajları, büyük bellek gereksinimlerinin yanı sıra çok sayıda tepe noktasına sahip veri yapılarını geçmek için hesaplama süresidir. İkinci soruna bir çözüm, tüm odaları köşeler olarak kodlayan ve aralarında gezilebilir bağlantıları belirtmek için kenarları kullanan topolojik haritalardır.

Yol planlamasının görevi, mobil robotun bulunduğu konumdan hedef noktaya karşılaştığı engellerle çarpışmadan ilerlemesi için optimal yolun oluşturulmasıdır. İki farklı yol planlaması bulunmaktadır. Bunlar, Küresel Yol Planlayıcı ve Yerel Yol Planlayıcı. Küresel planlayıcı, haritadan tam yolu hesaplamak için kullanılır ve bir haritada iki konum arasında bir yol bulur. Yerel planlayıcı ise küresel bir plan verildiğinde mobil robotun tekerleklerine hangi hız komutunun gönderileceğini hesaplar.

## 2.2. A Star Algoritması (A\*)

A\* algoritması, bir sonraki adımda hangi yolun izleneceğine karar vermeye yardımcı olmak için kullanılır. Sezgisel yaklaşım sergileyen A\* algoritması grafik geçişlerinde çok kullanışlıdır. Algoritmada, her adımda hesaplama yapan sezgisel fonksiyon  $f(n)$ , değeri en düşük düğümü alır ve bu düğümü kuyruktan çıkarır. Gidilen bu düğümüne göre komşu olan bütün düğümlerin değerleri güncellenir. Bu iki adım hedefe ulaşıncaya kadar tekrarlanır. Denklem 1'de A\* algoritmasının fonksiyonu verilmiştir.

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

$f(n)$ , hesaplama yapan sezgisel fonksiyon.

$g(n)$ , Başlangıç düğümünden mevcut düğümüne olan maliyet

$h(n)$ , Mevcut düğümünden hedef düğümüne olan tahmin edilen mesafe.

A\* algoritması yalnızca hedef noktaya yaklaşan düğümleri keşfetmeye odaklanır ve böylece yol problemini hızlı bir şekilde çözer (Hart vd., 1968).

## 2.2. Dijkstra Algoritması

Dijkstra Algoritmasında başlangıç düğümünden tüm düğümlere olan uzaklık kesin bir sonuçla elde edilir. Bu elde edilen en kısa yol, Dijkstra algoritmasının sezgisel fonksiyon değeri sıfır olduğu için, kesin olarak en kısa yoldur. Belirlenen başlangıç noktasından diğer noktalara olan maliyet belirlenir ve düşük maliyetli nokta işaretlenir. Bu işaretlenen noktadan gidilebilen noktalar arasında da adımlar uygulanmaya devam eder. Dijkstra, keşfetmeye başlangıç düğümünden başlayarak, bu düğümü bitişe bağlayan düğümleri bir listeye ekleyerek tek bir yol tanımlar. Bu ise Dijkstra'nın başlangıç düğümüne olan uzaklıklarına göre sırayla düğümleri taradığı anlamına gelir. Başlangıç noktasından da dışarı doğru genişledikçe, hedeften daha uzak düğümleri de listeye ekleyeceğinden maliyetli bir hesaplama yöntemi olur (Dijkstra 1959).

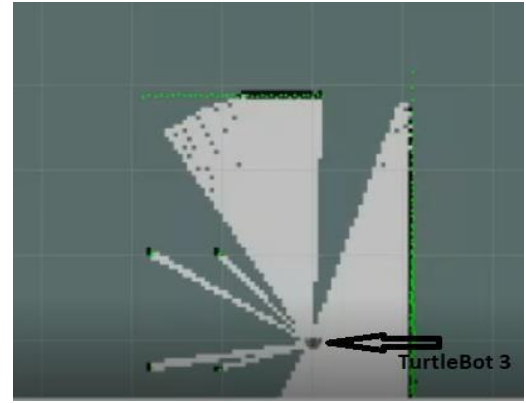
## 2.2. Uygulama

Öncelikle Gazebo ortamı çalıştırılır. Gazebo ortamında Şekil 3'de görüldüğü gibi örnek bir alan oluşturulur.



Şekil 3. Gazebo Simülasyonu

Daha sonra haritalama yapabilmek için SLAM paketinden Gmapping çalıştırılır. Bu modül sayesinde, robot gezerek tüm örnek alanın haritasını oluşturur. Şekil 4'de harita oluşturma aşaması, Şekil 5'te ise oluşturulan haritanın son hali gösterilmektedir. Beyaz alanlar, taranan yani haritası oluşturulan kısımları, siyah alanlar engelleri, yeşil noktalar ise lazer taramasını göstermektedir.



Şekil 4. Harita oluşturma



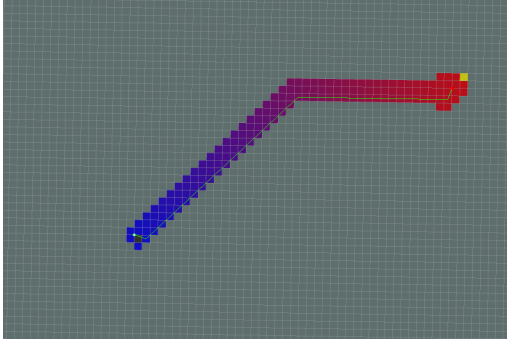
Şekil 5. Haritanın Son Hali

Robotun haritalamaya başladığı konum, koordinat anlamında 0,0 olarak kabul edilir. Haritalama işlemi bittikten sonra robot belirlenen bir hedefe, hedefin koordinat bilgisi verilerek gönderilebilir. Belirlenen hedefe ulaşma, yol planlaması

bölümüne girer ve bu çalışmada yol planlaması için A\* ve Dijkstra algoritmaları ayrı ayrı kullanılmıştır.

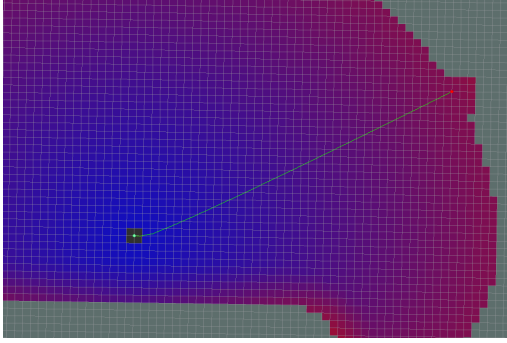
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 6'da harita üzerinde A\* algoritmasının hedef noktaya ulaşmak için belirlediği düğümler ve yol haritası gösterilmektedir.



Şekil 6. A\* algoritmasının örnek yol planı

Şekil 7'de Dijkstra algoritmasının belirlediği düğümler ve yol haritası gösterilmektedir.



Şekil 7. Dijkstra algoritmasının örnek yol planı

Mobil robotlarda yol planlama problemi navigasyon alanında önemli bir problemdir. Mobil robot başlangıç durumundan hedef duruma, engellerden kaçınarak, optimal veya optimale yakın bir yol bulabilir. Buradaki performans parametreleri; düşük çalışma maliyeti, en kısa rota ve en kısa süre gibi değerlerdir. Bu durumda yol planlamasında kullanılacak algoritmanın seçimi önemlidir.

A\* algoritması maliyeti düşük olan yola öncelik verirken Dijkstra algoritması tüm olası yolları keşfetmek ister. Birden fazla hedef nokta var ve bu noktalardan hangisinin en yakın olduğu bilinmiyorsa Dijkstra algoritmasını kullanmak avantajlıdır. A\* kullanılamamasının sebebi her hedef nokta için yeniden algoritmanın çalıştırılması gerektiğidir.

Problem hakkında iyi bir sezgisel tahmine sahip olduğu göz önüne alınırsa A\* algoritmasını kullanmak daha verimli ve hızlı bir sonuç elde edilmesini sağlar.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Gazebo simülasyon programında otonom mobil robot TurtleBot 3'ün, bulunduğu konumdan belirlenen hedefe gitmesi amaçlanmıştır. Bunu gerçekleştirmek için yol planlama algoritmalarından A\* ve Dijkstra algoritmaları ayrı ayrı kullanılmıştır.

Dijkstra algoritması bulunduğu noktadan gidebileceği tüm noktaları tarayarak en az maliyetli olanı seçerek hedefe olan

minimum mesafeyi bulmaya çalışır. Bu nedenle çalışma süresi A\*'a göre daha uzundur.

A\* algoritması ise maliyeti düşük olan noktaya öncelik vererek minimum yolu hesaplamaya çalışır. Fakat A\* her zaman en iyi yolu vermez. En az maliyetli noktayı tercih ederken gidilebilecek minimum yol daha da uzar.

TurtleBot 3, Gmapping SLAM algoritmasıyla, haritalama ve konum belirlemesini gerçekleştirmiştir. Bulduğu ortamın haritasını çıkarıp, yol planlaması için kullanılan her iki algoritma ile belirlenen hedefe başarıyla ulaşmıştır.

### Kaynakça

- Bailey, T. ve Durrant-Whyte, H. (2006). Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part i The essential algorithms. IEEE Robot Autom. Mag., 13(2): 99-108.
- Dijkstra, E.W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numer. Math. 1, 269-271.
- Grisetti, G., Stachniss, C. ve Burgard, W. (2007). Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. IEEE Trans. Robot., 23(1): 3446.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J. ve Raphael, B. (1968). "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 4 (2): 100-107.
- Hu, Y., ve Yang, S. X. (2004). A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot. In IEEE International Conference on Robotics and Automation., Proceedings. ICRA'04. 2004 (Vol. 5, pp. 4350-4355). IEEE.
- Kalman, R.E. (1960). A New approach to linear filtering and prediction problems. J. Basic Eng., 82: 35-45.
- Liang, J. H. ve Lee, C. H. (2015). Efficient collision-free path-planning of multiple mobile robots system using efficient artificial bee colony algorithm. Advances in Engineering Software, 79, 47-56.
- Mohanty, P. K. ve Parhi, D. R. (2016). Optimal path planning for a mobile robot using cuckoo search algorithm, Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 28:1-2, 35-52.
- Pandey, A. ve Parhi, D. R. (2017). Optimum path planning of mobile robot in unknown static and dynamic environments using Fuzzy Wind Driven Optimization algorithm, Defence Technology.
- Robotis website. (2022 Şubat 25). <https://emmanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/overview/>
- ROS website. (2022 Şubat 25). <https://www.ros.org>
- Sariff, N. ve Bunyamin, N. (2006). "An Overview of Autonomous Mobile Robot Path Planning Algorithms", 4th Student Conference on Research and Development, Selangor, Malaysia.
- Smith, R. ve Cheesman, P. (1987). On the representation of spatial uncertainty. Int. J. Rob. Res., 5(4): 56-68S.
- TurtleBot website. (2022 Şubat 25). <https://www.turtlebot.com/>
- Victor paul, P., Saravanan, D., Janakiraman, S. ve Pradeep, J. (2017). Path planning of autonomous mobile robots: A survey and comparison, Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.
- YZBS, Yapay Zeka ve Benzetim Sistemleri Arge Laboratuvarı websitesi. (2022 Şubat 25). <https://www.yapbenzetkocaeli.edu.tr/gazebo-giris/>



## Design and Manufacturing of a Dynamic Pressure Standard Based on Dropping Mass Principle

Yasin Durgut<sup>1\*</sup>, Ertan Akşahin<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> TUBITAK National Metrology Institute (TUBITAK UME), Turkey, Kocaeli, Turkey, (ORCID ID 0000-0001-8901-4166), yasin.durgut@tubitak.gov.tr

<sup>2</sup> Yeditepe University, Arts & Science Faculty, Physics Department, Istanbul/Turkey,xx, eaksahin@yeditepe.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081174)

**ATIF/REFERENCE:** Durgut, Y., Akşahin, E. (2022). Design and Manufacturing of a Dynamic Pressure Standard Based on Dropping Mass Principle. *European Journal of Science and Technology*, (34), 259-266.

### Abstract

Dynamic pressure measurements are constantly used in areas such as combustion analysis in the engine cylinder, automotive industry, turbomachinery, aerodynamics, fluid power and control, production processes and within medicine. In these applications, the pressure values range from a few pascals to a few gigapascals, while the frequency ranges studied start below 1 Hz and extend to 1 MHz. Since dynamic pressure calibrators are not commercially available, laboratories working in the field of dynamic pressure measurements have developed some calibrator devices in line with their own needs. Hydraulic and pneumatic shock tubes, pulse and sine wave generator devices can be given as examples of such devices. Even deadweight testers can be included in the class of such devices by using the instantaneous pressure relief method in the negative direction. This study, it is aimed to develop a dynamic pressure device to be used in the calibration of dynamic pressure sensors and to make progress in calibration methods. To develop the aforementioned system, the working method of material testing machines working with the principle of mass reduction was used. The measuring range of the device planned to be produced is aimed to be up to 500 MPa.

**Keywords:** Dynamic pressure, drop mass system, dynamic pressure calibration, pressure calibrator.

## Kütle Düşürmeli Prensibe Dayanan Dinamik Basınç Standardının Tasarımı ve Üretilmesi

### Öz

Dinamik basınç ölçümleri, motor silindirinde yanma analizi, otomotiv endüstrisi, turbo makineler, aerodinamik, akışkan gücü ve kontrolü, üretim süreçleri ve tıp gibi alanlarda sürekli olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda, basınç değerleri birkaç paskaldan birkaç gigapaskal'a kadar değişirken, çalışılan frekans aralıkları 1 Hz'nin altında başlar ve 1 MHz'e kadar uzanır. Dinamik basınç kalibratörleri piyasada bulunmadığından dinamik basınç ölçümleri alanında çalışan laboratuvarlar kendi ihtiyaçları doğrultusunda bazı kalibratör cihazları geliştirmiştir. Hidrolik ve pnömatik şok tüpleri, darbe ve sinüs dalga üretici cihazları bu tür cihazlara örnek olarak verilebilir. Negatif yönde anlık basınç tahliye yöntemi kullanılarak ölü ağırlık test cihazları bile bu tür cihazların sınıfına dahil edilebilir. Bu çalışmada, dinamik basınç sensörlerinin kalibrasyonunda kullanılacak bir dinamik basınç cihazının geliştirilmesi ve kalibrasyon yöntemlerinde ilerleme sağlanması amaçlanmıştır. Söz konusu sistemi geliştirmek için kütle azaltma prensibi ile çalışılan malzeme test makinelerinin çalışma yöntemi kullanılmıştır. Üretilmesi planlanan cihazın ölçüm aralığının 500 MPa'ya kadar olması hedefleniyor.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik basınç, Kütle düşürmeli sistem, Dinamik basınç kalibrasyonu, Basınç kalibratörü.

\* Corresponding Author: yasin.durgut@tubitak.gov.tr

## 1. Introduction

Measurement Pressure sensors are widely used in measurement and process control in many fields such as aerospace, medicine manufacturing, food processing, and electric power plants. There are many kinds of design mechanisms for pressure sensors. Some pressure sensors are appropriate for static pressure measurement and some for dynamic pressure measurement.

In the case of dynamic measurement, the response time of a pressure sensor is a very important parameter, which should be considered when selecting an appropriate pressure sensor for some pressure measurements or process control. For example, the rise time of a Kistler 609B piezoelectric pressure sensor is about  $3\mu\text{s}$  [1] therefore, it is excellent for use in capturing continuous rapid pressure changes. Many applications of the measurement of the mechanical quantities force, torque, and pressure are of a dynamic type, i.e. the measurement results show a strong variation over time. The calibration of the respective transducers, however, is still only traceable to purely static procedures at the NMI (The National Metrology Institute) level. This is partly due to the complete lack of documentary standards or commonly accepted guidelines for dynamic calibration of mechanical sensors, which is a consequence of the lack of a joint international research effort in the field.

The lack of a metrological infrastructure for dynamic mechanical quantities has been recognised for some time, and several organisations (both NMIs and commercial entities) have attempted to remedy this. However, the solutions offered so far, including those offered as services by some NMIs, have often lacked traceability or were application-specific, not well-grounded in physical or engineering theory, limited only to aspects of testing rather than calibration or do not conform with metrological best practice as codified in the guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).

At present traceability exists for static realisations of the mechanical quantities force, torque and pressure. The traceability is established through validated primary calibration devices together with a standardised uncertainty evaluation provided by the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). The problems that this project addresses arise in dynamic measurements, i.e., those cases in which the frequency-dependent response of a sensor cannot be described by a single parameter (sensitivity) from static calibration. In these cases, there will be a need to correct the measurement data for these limitations. This requires that a dynamic model for the system be established through a dynamic calibration.

Various dynamic pressure generation systems developed by NMIs and specialist manufacturers underpin the current state of the art. These systems use a range of pressure generation techniques, including drop weight impacts, fast opening valves, and shock tubes, but they all lack absolute dynamic pressure traceability, instead of relying on statically calibrated reference transducers to provide the instantaneous pressure values. The available devices cover ranges up to 800 MPa [2]. Dynamic pressure sensors have a wide area of usage both in measurement and in controlling processes in lots of fields like aerospace, medicine production, food processing and engineering and electric power generating units. It is observed that pressure sensors can be designed in different working mechanisms [1].

Pressure transducers have a mechanical structure. In the case used in the measurement of a dynamic parameter effect, the transducer will be subjected to some effects. These effects can be made as deflected, vibrated, resonated, conducted sound signal, experienced stress and strain, and transferred force and motions. Structures of sensors behave differently at the different spectrum of frequencies at low, medium, and high districts of frequencies [3, 4]. While some pressure transducers are suitable for static pressure measurements some others can be used in dynamic pressure measurements. In a dynamic process, one of the most important components of a dynamic pressure transducer is the response time of a pressure transducer. Response time parameters should be thought about seriously in the selection of a convenient pressure transducer during pressure measurement applications [1]. Pressure sensors with a piezoelectric structure generate electric charges, which are proportional to the applied input transient pressure [5]. Generated charges converted into electrical signal values by a connected charge amplifier. A common example design of a piezoelectric pressure transducer is given in Fig. 1a and Fig. 1b [6]. An example of a dynamic pressure sensor in quartz structure is given in Fig. 1c.

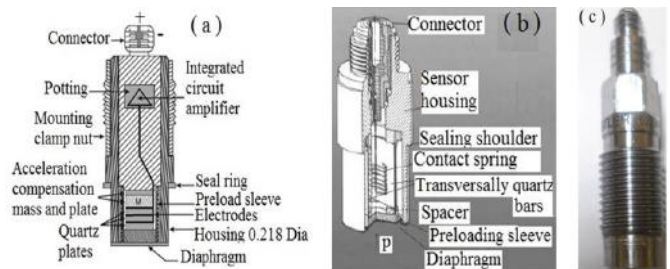


Fig.1 Structure of a typical piezoelectric pressure transducer (a) [7], (b) [8], (c) [9]

The shock tube is another method for calibrations of dynamic pressure transducers. It includes a pressure transducer located in the centre of the end-wall. It works using a pressurization system based on bottled nitrogen, using either single or double diaphragms up to a pressure range of 1.4 MPa. A Plastic shock tube of 0.7 m driver section and 2 m driven section is shown in Fig. 2a and dynamic transducers connected to shock tube is seen in Fig. 2b. Burst aluminium diaphragm is given in Fig. 2c [47].

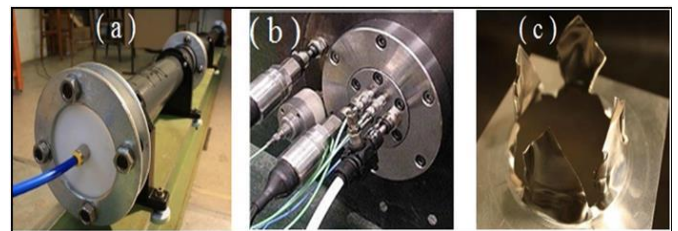


Fig. 2 Shock tube [10]

The structure of a shock tube is composed of a cylindrical plastic tube with a uniform cross-section area. The diaphragm separated the tube into two volumes [3, 11, 12]. From one end gas is sent to the first volume. Test sensors are connected into a second volume. Increased pressure destroys the diaphragm and the shock wave reaches test sensors that have been connected to another end of the tube. The rise time of the pressure step because the shock wave is about the nanosecond range [3, 13]. Therefore a shock tube is considered as an idealized pressure step including all frequency spectrums above the low-frequency limit.

Another method is the negative pressure drop method. In this method, a pressure balance is used as a reference instrument and

so reference pressure is calculated based on the pressure balance working principle which is pressure equals force per unit area. After the system is pressurized immediately, the pressure line is vented to atmospheric pressure and a simultaneous negative pressure drop is applied on the dynamic pressure sensor as seen in Fig. 3.



Fig. 3 Negative pressure drop system by pressure balance

In this study investigation and development of a dynamic pressure measurement standard was aimed. Many applications of the measurement of the mechanical quantities force, torque, and pressure are of a dynamic type, i.e. the measurand shows a strong variation over time. The calibration of the respective transducers, however, is still only traceable to purely static procedures. At present traceability exists for static realisations of the mechanical quantity of pressure.

The problems that this investigation addresses arise in dynamic measurements, i.e., those cases in which the frequency-dependent response of a sensor cannot be described by a single parameter (sensitivity) from static calibration. In these cases, there will be a need to correct the measurement data for these limitations. This requires that a dynamic model for the system be established through a dynamic calibration.

This study deals with the current lack of traceability for the measurement of dynamic pressure, which is one of the dynamic mechanical quantities, including traceability of the response of transducers instrumentation to dynamic stimuli based on the drop weight method

## 2. Material and Method

### 2.1. Design of Mechanical Part

At present, traceable primary standards do not exist in dynamic pressure metrology. There are some secondary systems to produce dynamic pressure, but they all have no metrological traceability. Applications for which these requirements are needed include the development and monitoring of automotive engines, gas turbine engines, hydraulic systems, and development within the ammunition and firearms industry.

An approach to generating a fast pressure pulse is using a weight dropped onto a piston-cylinder unit, increasing the pressure in the hydraulic medium by up to some hundreds of MPa. Secondary standards generate dynamic pressures of magnitudes and frequencies similar to the conditions in which the industrial transducers are used, and are designed to apply the same dynamic

waveform to the industrial transducer as to the reference one, either simultaneously or sequentially. Various such reference transducer-based secondary standard systems already exist, but their performance is not fully characterised and their calibrated sensor lacks metrological traceability.

To investigate and develop a dynamic pressure measurement standard, a system will be designed. For this purpose, a drop weight system and impact test machine system will be modified and it will be automatized. Maximum acceleration and/or velocity of dropping mass will be measured and thanks to energy conservation laws, pressure value will be calculated. A model function will be defined. For the pressure transmission media, different oils will be investigated in terms of pressure transmission and compressibility. As a pressure range, 500 MPa will be tried to exceed at the 1% accuracy. All design and experimental setup of drop mass system and impact test machine modifications were discussed following. All design and modification parameters from the dropping mass system were given and presented clearly in the following sections.

The dynamic pressure facilities of some set-ups operate according to the “drop mass” principle. A drop mass system is given schematically in 3 dimensional (3D) picture of the drop mass system in Fig. 4. The impact on the piston leads to the compression of a small volume of a hydraulic liquid within a pressure cavity that is connected to the test device(s), thus a shock pressure excitation to the test device is applied. The drop mass system is consists of three main parts. A first part is a mechanical unit. The second one is the control unit and the third part is called the data logging and sensor configuration unit.

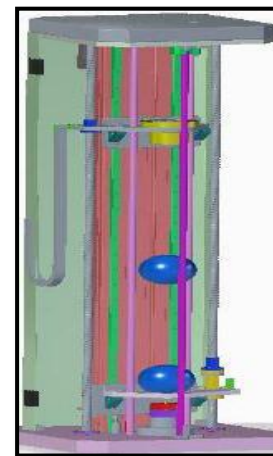


Fig. 4 Three-dimensional (3D) view of the drop mass system

Dynamic pressure measurement standard also known as drop mass system. To improve a dynamic pressure measurement standard based on the drop mass principle, this study was conducted. An electromagnet was designed for keeping the holding sphere ball. Copper wire was rolled around a conducting cylindrical metal. When it is worked at a 24-volt direct current (DC), quite a powerful electromagnet will be obtained. The purpose of usage of the electromagnet is to catch the sphere ball and lift it to a certain height for the free-falling head. The electromagnet is shown in Fig. 5.



Fig. 5 The electromagnet of the system

The Piston-cylinder unit is one of the important parts of the drop mass system. The cylinder is a cylindrical part with a hole along it to allow the piston insert to be inside. The inner surface of the cylinder should be machined very sensitively as well as the piston's surface. Piston and cylinder are shown in Fig. 6.



Fig. 6 piston-cylinder unit

Basement and roof metal plates were designed. Designs of lower and upper plates were given Fig. 7. They are approximately square and made of iron. There are some holes both in the basement and in the roof plates. Holes in the corner of the triangle shape for holding security rods. Security rods start from the roof and stand along with the drop mass system and finish in the basement plate. Two infinite screws were ordered. They are located between the lower and roof plates. Both of them are connected to servo engines via gearwheels and belts. So, infinite screw gets rotation from servo engines to move electromagnet and dropping mass rebound or dropping mass holder system.

Piston-cylinder and reference and test sensors are located in a closed chamber. It has an approximate volume of  $0.5 \text{ cm}^3$ . During the experiments, different transmitting oils were filled into this volume. Fig. 7. shows the whole drop mass-based dynamic measuring standard. The main trunk is located between the roof and lower base plates, piston-cylinder and sensors are fixed on to piston holder and on to the lower plate base, sphere ball is on the rebound system and electromagnet is ready to lift the sphere ball.

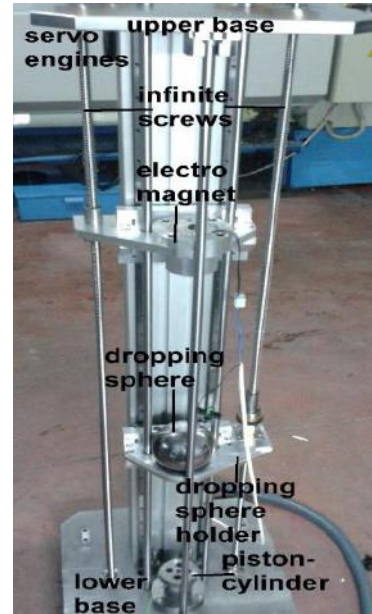


Fig. 7 Drop mass system

## 2.2. Design of Control Unit

Dynamic pressure measurement standard is controlled by a programmable logic controller (PLC). The movement of the rebound system and the electromagnet is done by two servo motors. PLC unit, control touch screen display, servo motor drivers and power unit is located in a rectangular prism box. PLC control program is given in Appendix B. The control display is located onto the cover of the box and PLC, drivers of servo engines and power unit are located inside the box.

Inside parts of the control unit PLC was located as given in Fig. 8. It is connected to a computer with a category 6 cable. PLC programmed by a special software installed onto the computer. Logic and conditional behaviours of the components of the drop mass system is programmed and controlled by this programme. For instance, drop height value, dropping timing, operation of the electromagnet, sudden lifting of the rebound system which gets triggered from the microphone are some of the logic and conditional operations which are done by PLC. For each measurement setup, an impact mass is released and freely falls onto the piston. At the end of the fall, the impact mass collides with a piston, much smaller than the mass of the impact mass. The bodies experience an inelastic collision, and they continue moving downwards at the same speed. The distance travelled together is relatively small which is about  $0.5 \text{ mm}$



Fig. 8 PLC control unit



Reference and test sensors and amplifiers should be configured before the experiment. Configuration software is shown in Fig. 9. Before the measurement, in the configuration stage, measurement ranges and sensitivity values of both sensors is specified. The output voltage of the sensors is scaled. For data acquisition and sensor configuration, different computers and software were used.

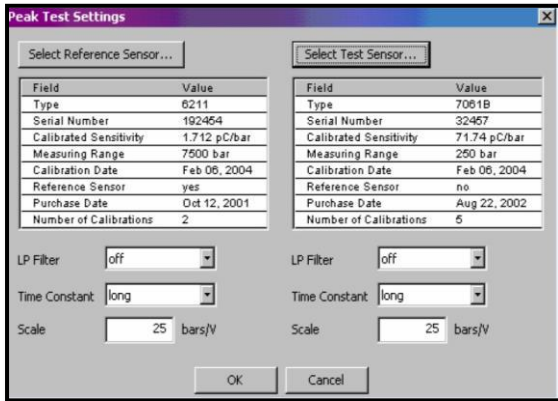


Fig. 9 Data acquisition software interface

Calibration is under specified conditions, the relationship between values of quantities indicated by a measuring instrument or measuring system, or values represented by a material measure or a reference material, and the corresponding values realized by standards. In other words, this means that in calibration the output from a pressure measurement system is compared to the pressure realized by a pressure standard. Reporting only the values obtained during a measurement is not sufficient. Since the measurement data in many cases is used to judge the quality of a product, or as a basis for changes being made during a development phase, measurement data must be adjoined by a quality label. Fig. 10 shows the dynamic pressure measurement calibration schedule.

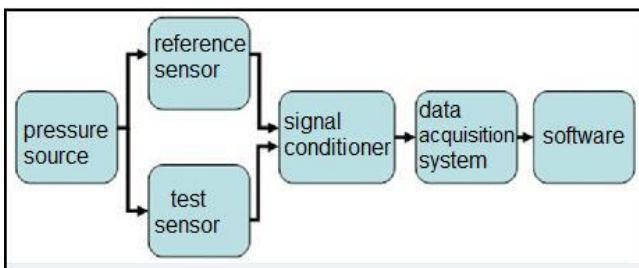


Fig. 10 Dynamic pressure measurement calibration schedule [14]

### 3. Results and Discussion

Drop mass system working principle is drawn schematically as in Fig. 11. Dropping mass creates an impact on the piston leads to the compression of a small volume of a hydraulic liquid within a pressure cavity that is connected to the dynamic pressure sensors.

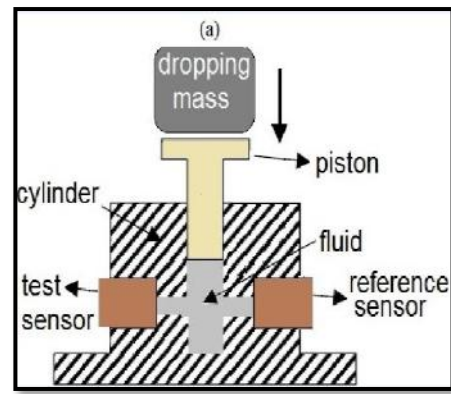


Fig. 11 Drop mass system working principle

While reference sensor has a pressure measurement range up to 800 MPa as the test sensor has a pressure range up to 500 MPa. Specifications of reference and test sensors are given in Table 1.

Table 1. Specifications of dynamic pressure sensors used in experiments

Customer	Model	Measurement Range [MPa]	Sensitivite [pC/bar]
Kistler	6229AK	500	-2.400
Kistler	6213BK	800	-1.193

The piston compresses oil causing pressure rise. Eventually, the piston-impact mass assembly is stopped nearly all the potential energy of the impact mass has been converted to compression energy of oil. The oil inside the chamber starts expanding as oil starts giving energy back to the assembly. The piston and the falling mass are forced to move upwards. The piston and the impact mass move upwards with the same speed until the initial volume inside the chamber is reached. The piston stops while the impact mass still moves upwards. The duration of a produced pressure peak is about milliseconds.

Approximate equations for pressure calculations: Approximate values can be obtained considering Newton's second law and solving for pressure. Also, the law of conservation of energy can be used as a starting point. The energy conservation equation assumes that all the potential energy is converted to compression energy and pressure is constant. The used equations for dynamic pressure drop mass system were given in equations (1) to (4).

$$F = m \cdot a = P \cdot A \tag{1}$$

$$P_{max} = m \frac{a_{max}}{A} \tag{2}$$

$$E_{potential} = m \cdot g \cdot h = P_{max} \cdot A \cdot \Delta_x \tag{3}$$

$$P_{max} = \frac{m \cdot g \cdot h}{A \cdot \Delta_x} \tag{4}$$

$P_{max}$  : maximum pressure (Pa)

$m$  : mass of the object (kg)

$a_{max}$  : maximum acceleration of the object ( $ms^{-2}$ )

$A$  : area of the piston ( $m^2$ )

$g$  : gravitational constant ( $ms^{-2}$ )

$h$  : falling head for the object (m)

$\Delta_x$  : maximum piston displacement (m)

The Piston-cylinder unit is seen in Fig. 12. To obtain the pressure, the sphere ball falls onto the piston. So, the hardness of the piston and sphere ball is an important parameter.

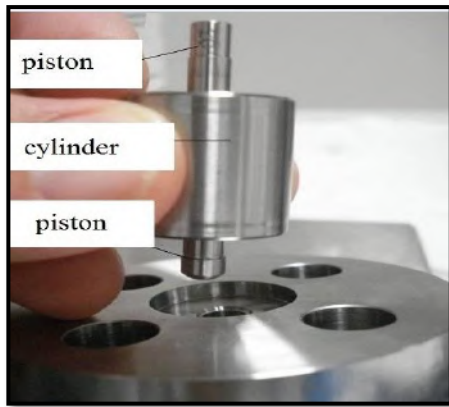


Fig. 12 piston-cylinder unit

Piston-cylinder unit positioned under the vertical axis of the free-fallen sphere ball. At each pressure measurement, the sphere ball is left to free fall. So it hits onto the piston. Sphere's hardness is also measured. Also to make some calculations such as free-fall height mass of the sphere should be known. The mass of the sphere is measured. If the sphere ball is a sphere enough, it is said that a central collision is happening between the ball and piston. To be sure that the ball and the piston are concentric, a thin steel rod is used to adjust the centres of the ball and the piston.

Reference and test sensors are screwed, and the piston-cylinder unit is inserted into a 0.5 cm<sup>3</sup> closed volume chamber which was filled with pressure transmitting oil. A closed chamber equipped with a piston-cylinder unit and reference and test sensors is given in Fig. 13.



Fig. 13 Piston-cylinder with reference and test sensors

And also corresponding pressure values indicated on the monitor of the signal conditioner were recorded. Drop height of a seven-kilogram spherical ball freely dropping and corresponding pressure values and reference and test sensor measurement results in sebacate media are given in Table 2. The deviations for test values from the reference pressure for the pressure transmitting oil media sebacate is also illustrated in Fig. 14 and Fig. 15 [15].

Table 2. Reference and test sensor measurement results in Sebacate

Reference Pressure, oil type: Sebacate							Analogue output scale:500 Bar/V				
Nominal Value Bar	cycle 1	cycle 2	cycle 3	cycle 4	cycle 5	average value Bar	deviation %	repeatability %	drop height mm	average value MPa	
Reference sensor	1000	1005	1005	988	988	993	995.8	-0.4	0.39	19	99.58
	2000	2020	1998	1985	1990	1975	1993.6	-0.3	0.38	60	199.36
	3000	3050	2995	2975	3005	2995	3004.0	0.1	0.42	115	300.4
	4000	3910	3959	3945	3930	3955	3939.8	-1.5	0.23	180	393.98
	5000	4855	4945	5060	4990	4965	4963.0	-0.7	0.67	235	496.3
Test sensor	1000	1008	1008	1005	1005	1005	1006.2	0.6	0.07	19	100.62
	2000	1995	2000	1998	2000	2000	1998.6	-0.1	0.05	60	199.86
	3000	3010	3010	3010	3025	3015	3014.0	0.5	0.10	115	301.4
	4000	4005	4035	4035	4005	4030	4022.0	0.6	0.17	180	402.2
	5000	5035	5120	5120	5120	5120	5103.0	2.1	0.33	235	510.3

Fig. 13. Oil-filled closed chamber equipped with the piston-cylinder unit, reference and test sensors. Drop mass standard system provides us with computer-controlled and repeatable dynamic data. Dynamic pressure constituted in a closed cavity is sensed and measured using two piezoelectric pressure transducers, named reference and test transducers. This volume can be filled with different types of oils as pressure transmitting media. The piston is directly located in line with the vertical axis of free dropped spherical. Load outputs coming from dynamic sensors through the load-carrying cable are connected into

amplifier channels 1 and 2. Analogue output signals which are corresponding input load signals are taken out from channel 1 and channel 2 of the signal conditioner Kistler Type 6907B. Outputs of the signal conditioner are then connected to the data acquisition box (NI DAQ 6366) as channel 0 and channel 1. The transducer Kistler Model 6213BK was used as a reference. Because the reference transducer has a pressure range up to 800 MPa and the test transducer can measure the pressure up to 500 MPa, measurements were performed up to 500 MPa starting from 100 MPa with the step of 100 MPa. The data sampling rate was 200 kHz and a 300 K sample was taken for each mass drop. The drops

were repeated five times for each height and outputs of the signal conditioner were measured using a computer-controlled NI DAQ board.

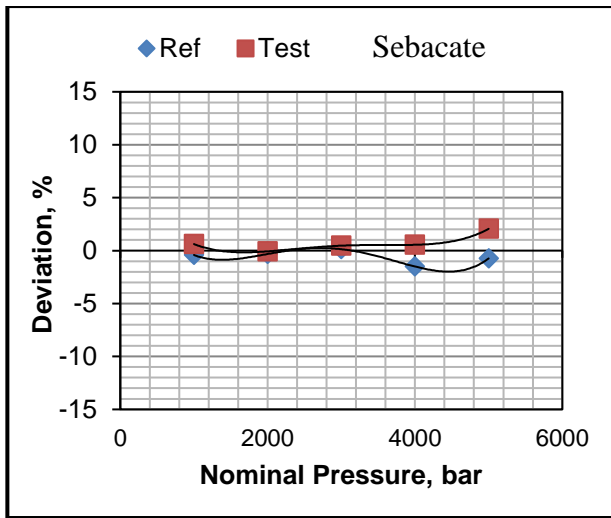


Fig. 14 Deviation for reference and test sensors versus pressure in sebacate oil

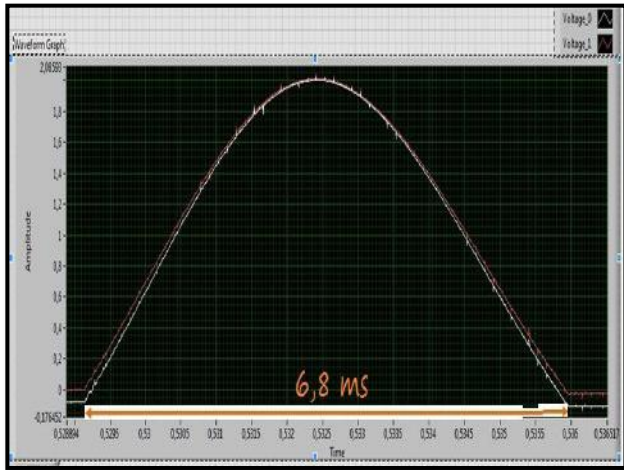


Fig. 15 Electrical outputs of reference (in white) and test channel (in red)

## 4. Discussion and Conclusions

In the case of dynamic pressure calibrations of mechanical quantities, it has been recognised that a lack of a metrological infrastructure appears. Some of the national metrology institutes and commercial entities have attempted to remedy this challenging dynamic area. However, the solutions offered so far have often lacked traceability.

This study has two significant contributions to the dynamic pressure calibration area. First, a dynamic pressure generator is manufactured based on the drop mass principle. It allows the generation of repeatable dynamic pressure pulse signals to be used in calibrations of dynamic pressure sensors. For this purpose, the oil type sebacate was used as transmitting oil is specified to be used in the manufactured drop mass system. The sensitivity parameter is defining the amount of electrical load to be produced by a dynamic sensor corresponding to applied pressure. So, one of the important reasons for calibration of a sensor is to find the sensitivity of the test sensor against reference one. Test sensor's output signal data which is in the range of 90% of the maximum *e-ISSN: 2148-2683*

value of the output signal is taken into account. A parabola approximation model was applied to output signal pulse. Then the sensitivity of the pressure transducer being calibrated was calculated.

As a result of this research, a newly developed dynamic pressure generator was manufactured and characterised to use in dynamic pressure sensor calibrations. Two methods for dynamic pressure measurements are presented. Firstly, new developed dynamic pressure standard was presented. Since it uses a drop mass working principle, it is also known as a drop mass system. Designing parts of the system and manufacturing stages of these parts are detailed. Some series of dynamic pressure measurements have been done on this drop mass system using reference and test dynamic pressure transducers. Measurements were carried out at hydraulic media using the oil named sebacate. Measurement pressure values were 100 MPa, 200 MPa, 300 MPa, 400 MPa and 500 MPa. Measurements have been repeated 5 times at each pressure value to determine the repeatability parameter which is involved in the uncertainty budget. Drop mass system produces half-sine signals with approximately 5 milliseconds signal period. Similar signals were observed at the output of both reference and test sensors which were under measurement. The amplitude of output signals was linearly proportional to applied pressure. Drop mass system has the possibility of setting drop height into a certain distance and it is possible to define several desired measurement cycles by entering in control display. These options provide an operator to do repeatable measurements which provide trustable measurements on dynamic pressure transducers.

In the measurements, the range of the relative error for all types is found within 1%. Relative error increases due to the pressure increase. This is probably the limitation of the transducer's operating range. It is assumed that this is not only resulted from fluid but also the different sampling rate and resolutions of the measurement setups and leakage and temperature effects.

## 5. Acknowledge

This publication was produced from the doctoral thesis named *Investigation and Development of a Dynamic Pressure Measurement Standard*, at Yeditepe University Graduate School of Natural And Applied Sciences in 2016.

## References

- [1] L. Hanying and W. M. Don, An Experimental Method to Dynamically Test Pressure Sensors Using a Rupture Disk, Review of Scientific Instruments, Volume 73, Number 2, February 2002.
- [2] T. Bruns, Traceable Dynamic Measurement of Mechanical Quantities. IND09 Dynamic Annex Ia v1.0.doc, PTB, Braunschweig, Germany, 26 August 2011.
- [3] V. E. Bean, Dynamic Pressure Metrology, Metrologia, 30, pp. 737-741, 1993.
- [4] R. W. Lally, Transduction Quartz Sensors, Depew Piezotronics, pp.135, NewYork, 1984.
- [5] J. B. Heine and A. F. Orlando, A Methodology for Calibrating Piezoelectric Transducers for Transient Pressure Measurements, ENCIT 2004 - ABCM, Rio de Janeiro, Brazil, November 29 - December 03, 2004.

- [6] Bill, *Measuring with Crystals Principles and Applications of the Piezoelectric Measuring Technique*, Verlag Moderne Industrie, 2002.
- [7] Printed Circuit Board Piezotronics Incorporation, *Introduction to Piezoelectric Pressure Sensors*, [https://www.pcb.com/techsupport/tech\\_pres.aspx](https://www.pcb.com/techsupport/tech_pres.aspx), October 2011
- [8] J. Hjelmgren, *Dynamic Measurement of Pressure - A Literature Survey*, SP Sveriges Provnings-och Forskningsinstitut SP Rapport 2002:3 ISBN 91-7848-925- ISSN 0284-5172, Borås, 2003.
- [9] Y. Durgut, E. Bağcı, S. Fank and B. Aydemir, *Darbe Test Makinasının Dinamik Basınç Transduserlerinin Kalibrasyonlarına Uygulanması*, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13), Istanbul, Turkey, 30 October-1 November 2013.
- [10] C. Bartoli, M. F. Beug, T. Bruns, C. Elster, T. Esward, L. Klaus, A. Knott, M. Kobusch, S. Saxholm and C. Schlegel, *Traceable Dynamic Measurement of Mechanical Quantities: Objectives and First Results of this European Project*, XX. IMEKO World Congress Metrology for Green Growth, Busan, Republic of Korea, September 9-14, 2012.
- [11] I. Glass, W. Martin and G. N. Patterson, *A Theoretical and Experimental Study of the Shock Tube*, Report No. 2, Institute of Aerophysics, University of Toronto, pp. 281, Toronto, November 1953.
- [12] I. Glass and J. G. Hall, *Handbook of Supersonic Aerodynamica*, Section 18, Shock Tubes, Navord Report, 1488, Vol. 6, pp. 604, December 1959.
- [13] R. O. Smith and P. S. Lederer, *A Shock Tube Facility for Dynamic Calibration of Pressure Transducers*, NBS Report 5941, pp. 16, July 1958.
- [14] Kistler Instrument Corporation, *Calibrator 2-Channel Calibration System*, <http://www.kistler.com/?type=669&fid=33820> [retrieved 15 May 2015].
- [15] Y. Durgut, *Investigation and Development of a Dynamic Pressure Measurement Standard*, Published PhD Thesis, Yeditepe University Graduate School of Natural And Applied Sciences, 2016.



# Engineering Performance of Fly Ash Stabilized Çatalağzı clay

Emrah Dağlı<sup>1\*</sup>, Ömer Faruk Çapar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5744-8151),  
[emrahdagli@beun.edu.tr](mailto:emrahdagli@beun.edu.tr)

<sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6325-8223),  
[ofcapar@atu.edu.tr](mailto:ofcapar@atu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081214)

**ATIF/REFERENCE:** Dağlı E.& Çapar, Ö. F. (2022). Engineering Performance of Fly Ash Stabilized Çatalağzı Clay. *European Journal of Science and Technology*, (34), 267-272.

## Abstract

Stabilizing of soils can be done with physical, chemical and hydraulic methods. Chemical stabilization is one of the most widely used method among them. In this study, low plasticity Çatalağzı clayey soil is chosen as a research material. F type of fly ash are used as a chemical additive. Soil is mixed with various amount (0%, 10%, 20% and 30%) of fly ash. Index tests (hydrometer, specific gravity, liquid limit, plastic limit and standard compaction) were performed on clayey soil. Then samples prepared with optimum water content obtained from standard compaction test were exposed to unconfined compressive strength (UCS), moisture condition value (MCV) and California bearing ratio (CBR) tests. Curing time are selected as 0, 7 and 28 days for UCS test. Curing for CBR test includes 28 days air curing and 4 days full soaking. MCV has no curing time. Addition of fly ash increase the UCS of untreated soil. UCS of samples for S10FA, S20FA and S30FA having 7 day of curing time is 1.46, 1.51 and 1.53 times of the Çatalağzı clay of having no curing time. Rate of increase in UCS gets slow down after 7 days. MCV of S10FA is 18.3 while it is 12.2 for Çatalağzı clay which means 50% increase. Fly ash content after 10% have no significant change and even decrease slightly. CBR values are increased with an addition of fly ash also. It has been concluded that this type of fly ash increases the engineering performance of untreated clay but it is not suitable to be a subgrade for highway when taking into account of CBR value

**Keywords:** Clayey soil, California bearing ratio, Fly ash, Moisture condition value, Unconfined compressive strength

## Uçucu Kütle Stabilize Edilen Çatalağzı Kili Mühendislik Performansı

### Öz

Zeminlerin stabilizasyonu fiziksel, kimyasal ve hidrolik yöntemler ile yapılabilmektedir. Kimyasal stabilizasyon, bu yöntemlerin arasından en yaygın kullanılanıdır. Bu çalışmada, düşük plastisiteli Çatalağzı kil numunesi araştırma malzemesi olarak seçilmiştir. F tipi uçucu kül kimyasal katkı olarak kullanılmıştır. Zemin çeşitli oranlarda (0%, 10%, 20% ve 30%) uçucu kül ile karıştırılmıştır. Killi zemin üzerinde indeks deneyleri (hidroemetre, özgül ağırlık, likit limit, plastik limit ve standart kompaksiyon) gerçekleştirilmiştir. Sonra, standart kompaksiyon deneyinden elde edilen optimum su içeriğinde hazırlanan numuneler, serbest basınç (UCS), nemlilik şartları (MCV) ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyine maruz kalmıştır. Kür süresi UCS deneyi için 0, 7 ve 28 gün olarak seçilmiştir. CBR deneyindeki kür 28 gün havada kürlenme ve 4 gün tam suda beklemeyi içermektedir. MCV için kür süresi yoktur. Uçucu kül ilavesi zeminin UCS değerini artırmaktadır. S10FA, S20FA ve S30FA numunelerine ait 7 gün kürlü durumdaki UCS değerleri, kür süresiz Çatalağzı kilinin 1.46, 1.51 ve 1.53 katıdır. UCS artış hızı 7 günden sonra yavaşlamaktadır. S10FA için MCV 18.3 iken Çatalağzı kili için 12.2 olmuştur bu da yaklaşık 50% artış anlamına gelmektedir. Uçucu kül katkı oranı 10%'den sonra önemli bir değişim olmamış hatta biraz azalmıştır. CBR değerleri de uçucu kül ilavesi ile artmıştır. Uçucu külün, kilin mühendislik performansının artırdığı fakat CBR değeri düşünüldüğünde yol alt dolgusu olmak için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Killi zemin, Kaliforniya taşıma oranı, Uçucu kül, Nemlilik şartları, Serbest basınç

\* Corresponding Author: [emrahdagli@beun.edu.tr](mailto:emrahdagli@beun.edu.tr)

## 1. Introduction

Fly ash is a waste product generated in coal/lignite based thermal power plants. They are formed as a result of the transport of coal, which is burned by grinding very finely in thermal power plants, with flue gases. Since they will adversely affect the environment, fly ash is prevented from leaving the power plant chimney and mixing into the air. For this purpose, ashes are collected by mechanical and electrostatic methods and stored around the power plant or in other suitable places. Amount of fly ash produced is 600 million tons per annum in the world [1]. Fly ash has numerous applications in construction, ceramic industries, soil stabilization for highway construction [2-8]. In fact, fly ash can be even used as a potential raw material for the synthesis of nano porous materials such as zeolites or mesoporous silica due to its high silica content [9]. Although the global use of coal to prevent global warming decreased by 4.4% in 2021, the global market value of fly ash is 3,757.911 million dollars. Million tons of fly ash, which is still stored in the form of waste produced by thermal power plants, is stored for future use.

In this study, low plasticity Çatalağzı clay and F type of fly ash was used as a research material. Index parameters of soil were obtained from physical identity tests (specific gravity, hydrometer, liquid limit, plastic limit and standard compaction). Specimens for strength tests were prepared with an optimum water content of soil obtained from standard compaction test. Unconfined Compressive Strength (UCS) tests were carried out for all mixtures and curing time was used as 0, 7 and 28 days. Moisture Content Value (MCV) tests were conducted without curing. California Bearing Ratio (CBR) test was also performed for specimens by 28 days air curing + 4 days full soaking. The aim of this study is to evaluate the impact of F type fly ash on clayey soil's engineering properties.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

Çatalağzı clayey were used in this study. This soil was obtained from Kilimli district of Zonguldak. Index parameters of the soil is presented in the Table 1.

Table 1. Index parameters of clay

Material	Soil
Soil Type	CL
Clay (%)	55
Silt (%)	45
LL	36
PL	19
PI	17
$G_s$	2.63
$\rho_{d(max)}$	1.70 g/cm <sup>3</sup>
$w_{opt}$ (%)	16.97

Grain size distribution of the soil is obtained with a hydrometer test, details of it is given in ASTM D7928-17, 2017 [10] standard, in order to find out silt and clay percentages of soil. Clay and silt percentages of the clay is 55% and 45% respectively.

This soil is classified as CL (low plasticity clay) according to plasticity chart identified in ASTM D2487-17<sup>e1</sup> [11] standard. Maximum dry density and optimum water content is 1.70 g/cm<sup>3</sup>

and 16.97% respectively as a result of standard compaction test conforming to ASTM D698-12<sup>e2</sup> (2012) standard [12].

Fly ash was taken from Eren Enerji Thermal Power Plant. Chemical composition of fly ash used in this study was determined with XRF analysis. Results are given in Table 2.

Table 2. Chemical composition of fly ash

Component	Concentration (%)
SiO <sub>2</sub>	48.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.32
K <sub>2</sub> O	3.88
CaO	2.49
TiO <sub>2</sub>	2.35
MgO	1.89
SO <sub>3</sub>	0.98
Na <sub>2</sub> O	0.57

This fly ash is classified as F type according to ASTM C618 (2019) standard [13] since it meets both criteria of having CaO < 18% and SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 70 %.

### 2.2. Method

In this study, varying fly ash additive (0%, 10%, 20% and 30%) and curing time (0, 7 and 28 days) were used to evaluate the UCS performance of untreated and treated Çatalağzı soil. CBR tests were carried out for all mixtures cured for 28 days following 4 days full soaking (28 + 4i). MCV tests were also carried out. Detailed experiment program and codes for mixtures are given in Table 3.

Table 3. Experiment Program and Mixture Codes

Material	Code	Test
Çatalağzı Soil	S	UCS (0, 7, 28 days) MCV, CBR (28+4i)
Fly Ash	FA	...
Soil + 10% FA	S10FA	UCS (0, 7, 28 days) MCV, CBR (28+4i)
Soil + 20% FA	S20FA	UCS (0, 7, 28 days) MCV, CBR (28+4i)
Soil + 30% FA	S30FA	UCS (0, 7, 28 days) MCV, CBR (28+4i)

#### 2.2.1. Unconfined Compressive Strength Test

This test was carried out according to ASTM D2166/D2166M-16 standard [14]. Samples of unconfined compressive strength (UCS) tests were prepared with Harvard mini compactor equipment having a 33 mm diameter and 71 mm height. All samples exposed to UCS tests were compacted in a 5 layer with 10 blows to give same energy with standard compaction test. Three identical samples (having same curing time and additive ratio) were used. Samples having 7 and 28 days of curing were stored at desiccators. After that, samples ready for tests were placed on the test device. Semi-automatic GDS test device was used to get data. Rate of loading was approximately 0.71 mm/min which is equal to 10% displacement in 10 minutes. Axial stress-axial strain graphs were plotted. Maximum stress determined from that graph is defined as the unconfined compressive strength.

2.2.2. Moisture Condition Value Test

The test was performed with regarding to BS EN 13286-46 (2003) standard [15]. Moisture condition value (MCV) test was developed by British Highways. Aim of this test is to check the suitability of embankments in highways. It is not a time-consuming test that it is the main advantage. This test ensures the evaluation of compactive effort in terms of blow numbers (B). In this test, approximately 1.5 kg soil specimen were mixed thoroughly with optimum water. Hammer of 97 mm diameter and 7 kg weight were dropped from 25 cm vertical distance on the compacted specimen. Blow numbers were used as 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 and 256. Penetration numbers (n) were recorded after per blows. Steepest straight line is drawn and extended till it intercepts 5 mm of penetration difference. X axis of interception point gives the “B” value that is used for MCV calculation. Moisture condition value (MCV) is equal to 10 times logarithm of B ( $MCV = 10\log B$ ). Fig. 1 is the number of blows-penetration difference curve of Çatalağzı clay which is a typical example of soil.

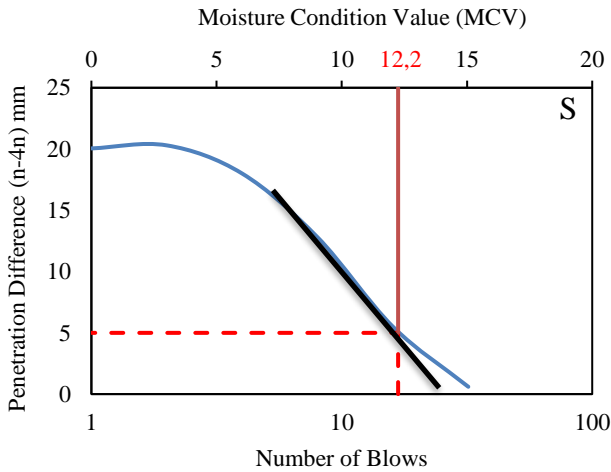


Fig. 1 Penetration difference-blow curve for soil

2.2.3. California Bearing Ratio Test

California bearing ratio (CBR) tests were performed according to BS EN 13286-47 (2012) standard [16]. Samples were prepared with an optimum water content of soil. Compaction were performed with an automatic compactor equipment by applying 61 blows per 3 layers. Samples tested are all exposed to 28 days of air curing time following 4 days of full soaking. Load-penetration data were recorded to find the CBR value

3. Results and Discussion

3.1. Results

Axial stress versus axial strain curves obtained from UCS tests are shown in Fig. 2, 3 and 4. Numbers written in the figure indicates the ith of 3 identical sample.

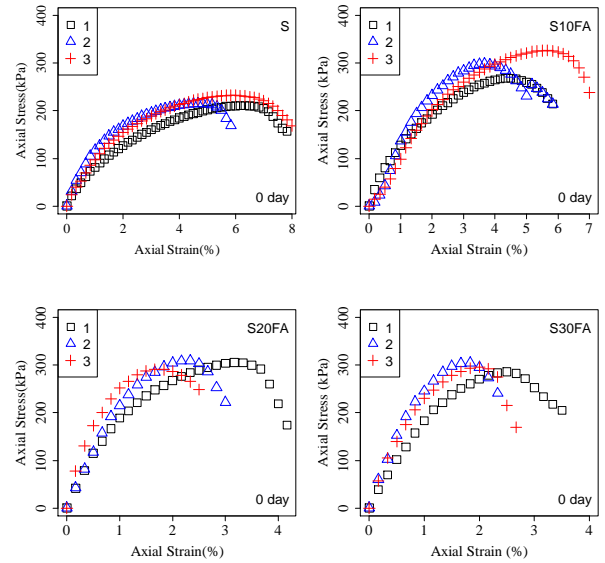


Fig. 2 Stress-strain curves of all mixtures for no curing

Fig 2 indicates that, axial strain value of maximum stress for untreated soil is approximately between 5% and 6%. Fly ash addition has a decreasing effect of Axial Strain Occurring at Maximum Stress (ASOAMS) as clearly seen. ASOAMS decreases 3.5% for S10FA and minimum value of it is 1.5% for S30FA.

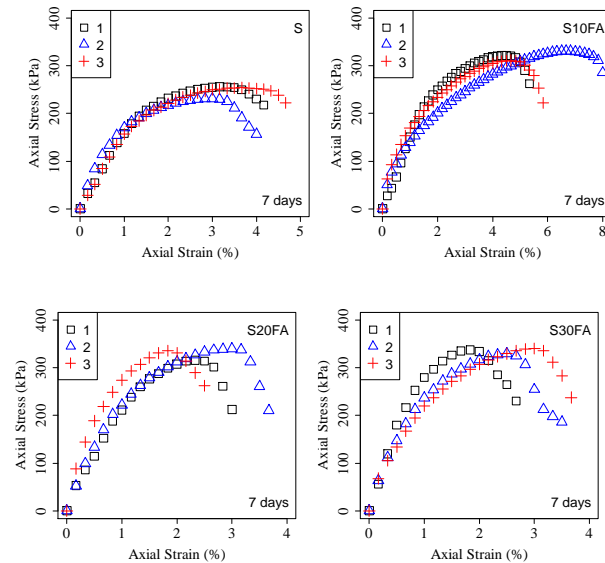


Fig. 3 Stress-strain curves of all mixtures for 7 days curing

Similar stress- strain behaviour is shown in Fig 3. Distinct difference is observed for untreated clay that ASOAMS reduces to 3% which can be attributed to curing time and reactions occurred. S10FA, S20FA and S30FA mixtures tend to behave similar for 7 days curing and ASOAMS is between 2% and 3%.

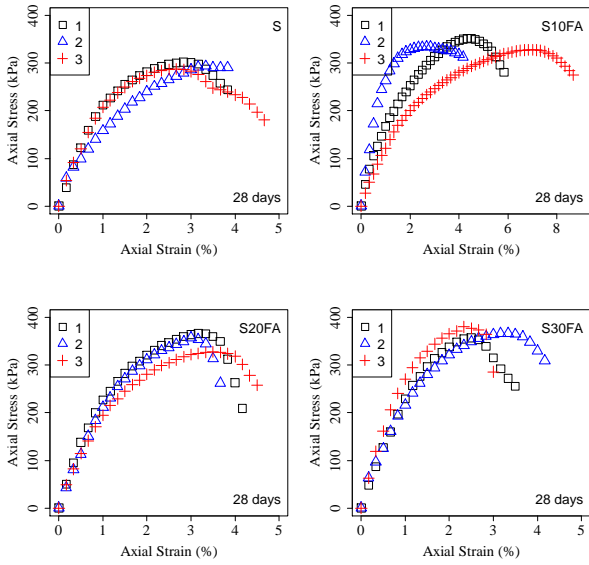


Fig. 4 Stress-strain curves of all mixtures for 28 days curing

Stress-strain behaviour of mixtures cured for 28 days are almost same with same curves of Fig 2. Main reasons for that is F type of fly ash having low cementing agent (especially CaO) did not change the failure behaviour from ductile to brittle for S10FA, S20FA and S30FA. Furthermore, hydration and cementing reactions are still in progress after 28 days

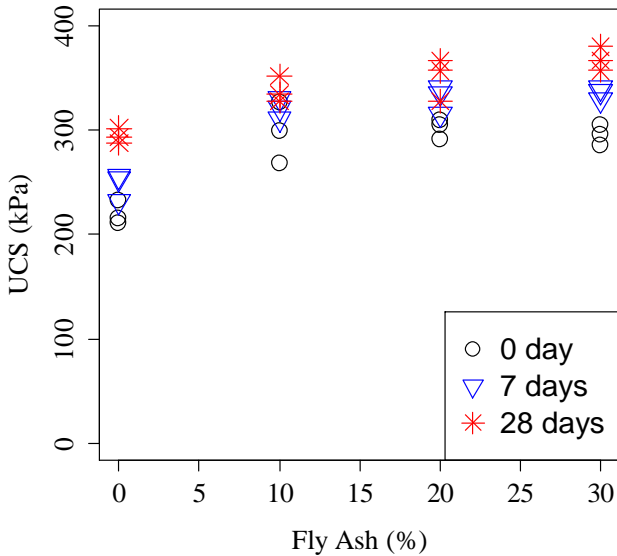


Fig. 5 Effect of fly ash and curing time on UCS of soil

Results of various fly ash additive and curing time of unconfined compressive strength tests are presented in Figure 5. This figure shows that fly ash tends to increase slightly the UCS of Çatalağzı clay. UCS of S10FA, S20FA and S30FA for 7-day of curing are 1.46, 1.51 and 1.53 times of untreated clay of 0 day curing respectively. These values of S10FA, S20FA and S30FA reaches 1.54, 1.60 and 1.68 times for 28-day of curing.

UCS results of the test indicate that increasing fly ash content to 10% and 20% enhance UCS value apparently. However, after 20% fly ash, UCS value seems nearly same even a little increase. Increasing rate of UCS after 7 days is distinctly slower than first 7 days. Similar results are also obtained from the literature [3,5,7,18]. Since fly ash used in this study is F type, its hydration and cementation reactions are not as effective as C type fly ash. This make no distinct change in UCS after 7 days curing.

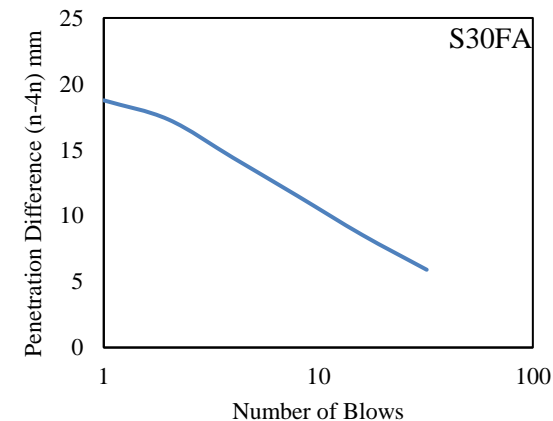
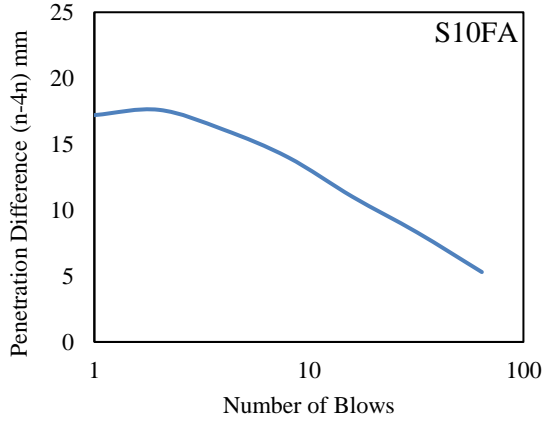
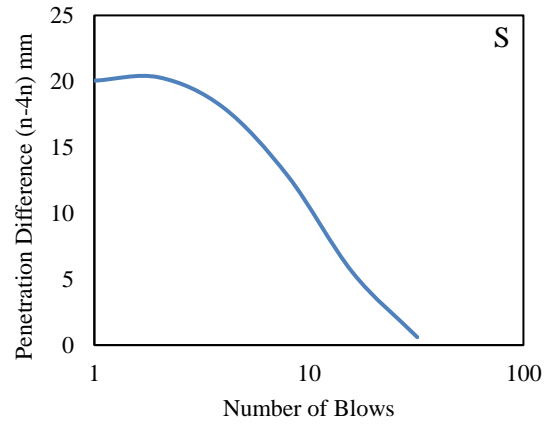


Fig. 6 Penetration-blow curves of MCV for all mixtures



Fig 6, shows the penetration difference-number of blows graphs of all mixtures (S, S10FA, S20FA and S30FA). Increase in the blow number enhance slightly (nearly same) the penetration difference and sharp decrease is occurred after 4 blows. Different behaviour of fly ash stabilized mixtures and untreated clay are seen especially for the first 4 blows. Penetration difference-number of blows graph of S30FA mixture is decreasing monotonic while others have no behaviour like that.

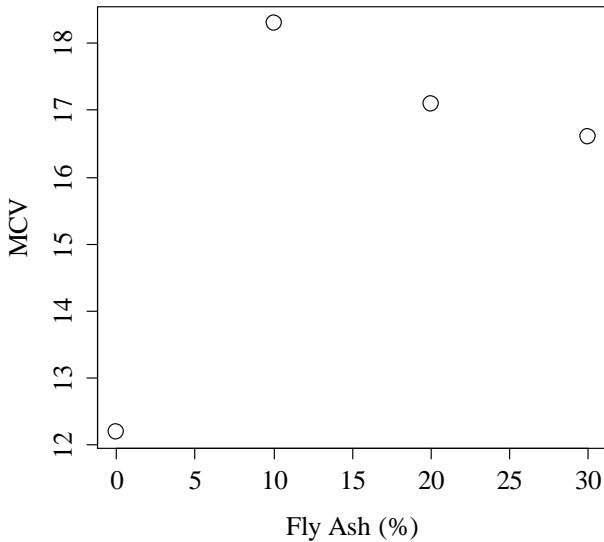


Fig. 7 Effect of fly ash on MCV of soil

Fly ash effect on MCV of soil is shown in Figure 7. Increasing fly ash additive from 0 to 10% increase the MCV of soil approximately 50% and it is the top value. MCV of S20FA and S30FA mixtures are 17.1 and 16.6 respectively which is lower than S10FA

MCV results of all mixtures including clay is higher than the lower limit of MCV value of 8.5 accepted [19]. MCV test contains no curing time and thus make the results of S10FA, S20FA and S30FA mixtures close to each other. By comparing MCV values with an exception of clay, minimum MCV of treated mixtures of S30FA is 0.91 times of S10FA.

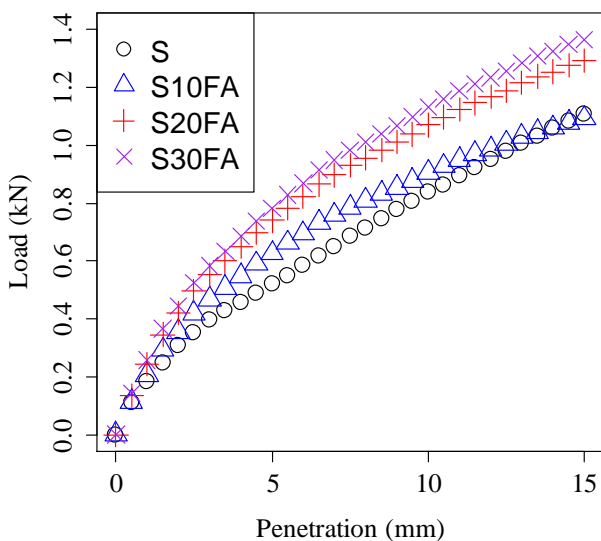


Fig. 8 Penetration-load curves of CBR for all mixtures

Load-penetration curves of all mixtures seems to be typical as shown in Figure 8. Approximate CBR values of all mixtures can be clearly understood that they are very close to each other.

For the first 2.5 mm penetration, load increase for all samples are fast compared to other 12.5 mm penetration. Curves of S20FA and S30FA mixtures separate from S and S10FA after 3 mm penetration. However, CBR values of them is not far away even it seems that some increase occurs when observed for Figure 9.

CBR values are increased with an increase in fly ash content as seen in Fig 9. CBR of untreated clay is 2.66%. Fly ash addition of 10% enhance the CBR value to 3.18%. After 20% fly ash addition, there is no significant change in CBR. Maximum CBR value is obtained for S30FA mixtures and it is 3.97%. This increase has no sense even it seems 50% from untreated clay to S30FA. According to Turkish Highway Technical Specification (KGM, 2013) [17], soil has minimum of 15% of CBR value to be used as a subgrade in highways. There is no mixture of this study that satisfying this condition.

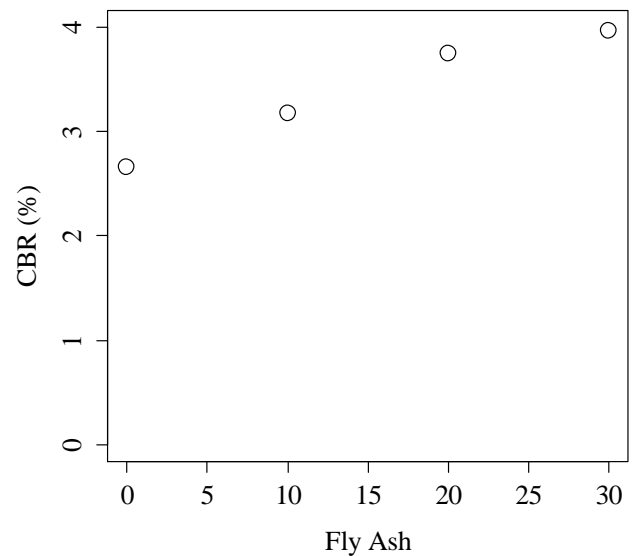


Fig. 9 Effect of fly ash on CBR of soil

CBR results of all mixtures are close to values of published literature. Pandian et al. (2001) [2] evaluated the maximum CBR value of 4.85 value for the mixture containing 20% fly ash. Brooks et al. (2011) [4] also found CBR value of 4.00 for 25% and 2.50 for untreated soil. Similar results are obtained by other studies [8,20].

#### 4. Conclusions and Recommendations

This study is performed to investigate the effect of fly ash additive on engineering properties of clay soil. F type of fly ash was used. UCS tests were conducted for the various curing time (0, 7 and 28 day) and fly ash additive ratios (0%, 10%, 20% and 30%). MCV tests were also performed for same fly ash additive ratios but with no curing time. CBR tests were carried out for all mixtures for curing time defined above. The conclusions written below are obtained.

- 1) Çatalağzı clay is a typical low plasticity clayey soil and engineering properties of it are in line of expectations.
- 2) Addition on fly ash increased the UCS of clay soil. However, after 20%, fly ash has no prominent effect on UCS.
- 3) Increasing curing time enhanced the UCS of all mixtures including clay. On the other hand, UCS of the samples having 7 and 28 days curing are close to each other since the usage of low cementing fly ash.

4) MCV results of fly ash stabilized mixtures are not far away from each other. One of the reasons of that there is no curing time. MCV of S10FA, S20FA and S30FA mixtures are higher than untreated clay.

5) CBR results indicates that, fly ash addition on clay increases CBR value but it is not acceptable to be a highway subgrade material. Low CaO fly ash (F type) has no sufficient effect to increase the CBR value at least 15%.

## References

- [1] Türker, P., Erdoğan, B, Katnaş, F., & Yeğınobalı, A. (2009). Classification and properties of fly ash in turkey” Turkish Cement Manufacturers Association, Tech. Rep. TÇMB /ARGE / Y03.03. (in Turkish).
- [2] Pandian, N. S., Krishna, K. C., & Sridharan A. (2001). California bearing ratio of soil/fly ash mixtures. *Journal of Testing and Evaluation*, 29(2), 220-226.
- [3] Altun S., Sezer, A., & Erol A. (2009). The effect of additives on the mechanical behavior of a silty soil. *Cold Regions Science and Technology*, 56, 135–140.
- [4] Brooks, R., Udeyo, F. F., & Takkalapelvi, K. V. (2011). Geotechnical properties of problem soils stabilized with fly ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(5), 711-716.
- [5] Mccarthy, M. J., Csetenyi, L. J., Sachdeva, A., & Dir, R. K. (2014). Engineering and durability properties of fly ash. *Engineering Geology*, 174, 139-148.
- [6] Yao, Z. T., Ji, X. S., Sarker, P. K., Tang, J. H., Ge, L. Q., Xia, M. S., & Xi, Y. Q. (2015). A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*, 141, 105-121.
- [7] Dayıoğlu, M., Çetin, B., & Nam, S. (2017). Stabilization of expansive belle fourche shale clay with different chemical. *Applied Clay Science*, 146, 56–69.
- [8] Priyadarshree, A., Kumar, A., Gupta, D., & Pushkarna, P. (2018). Compaction and strength behavior of tire crumbles-fly ashed mixed with clay. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(4), 1-9.
- [9] Miricioiu, M. G., & Niculescu V. C. (2020). Fly ash, from recycling to potential raw material for mesoporous silica synthesis. *Nano Materials*, 10(3), 474.
- [10] ASTM D7928-17 (2017), Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (hydrometer analysis)<sup>1</sup>, *ASTM Standard*.
- [11] ASTM D2487-17<sup>e1</sup> (2017). Standard practice for classification of soils for engineering purpose (unified soil classification system)<sup>1</sup>, *ASTM Standard*.
- [12] ASTM D698-12<sup>e2</sup> (2012). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))<sup>1</sup>, *ASTM Standard*.
- [13] ASTM C618 (2019). Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete<sup>1</sup>, *ASTM Standard*.
- [14] ASTM D2166/D2166M-16 (2016). Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil, *ASTM Standard*.
- [15] BS EN 13286-46 (2003). Unbound and hydraulically bound mixtures part 46: test method for the determination of the moisture condition value, *BSI Standard Publications, British Standard*.
- [16] BS EN 13286-47 (2012). Unbound and hydraulically bound mixtures part 47: test method for the determination of california bearing ratio, immediate bearing index, and linear swelling, *BSI Standard Publications, British Standard*.
- [17] KGM (2013). Highway technical specification (infrastructures, engineering structures, bridges and tunnels, pavement and miscellaneous constructions), *General Directorate of Highways*.
- [18] Mahedi, M., Çetin, B., & White D. J. (2020). Cement, lime and fly ashes in stabilizing expansive soils: Performance evaluation and comparison. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(7). 04020177.
- [19] Matheson, G. D., & Winter, M. G. (1997). Use and application of the mca with particular reference to glacial tills, *Transport Research Laboratory*, TRL Rep. 273.
- [20] Sharma, N. K., Swain, S. K., & Sahoo U. C. (2012). Stabilization of a clayey soil with fly ash and lime: A micro level investigation” *Geotechnical and Geological Engineering*, 30, 1197-1205.



# Using Machine Learning Methods to Predict the Effect of Alternative Fuel Mixtures on Exhaust Emissions

Samet Bilban<sup>1\*</sup>, Hasan Aydoğan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering, Konya, Turkey (ORCID:0000-0002-9035-0690), [sametbilban@hotmail.com](mailto:sametbilban@hotmail.com)

<sup>2</sup> Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey (ORCID:0000-0003-1404-6352), [haydogan@selcuk.edu.tr](mailto:haydogan@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081539)

**ATIF/REFERENCE:** Bilban, S. & Aydoğan, H. (2022). Using Machine Learning Methods to Predict the Effect of Alternative Fuel Mixtures on Exhaust Emissions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 273-279.

## Abstract

Machine learning is a science that deals with the design and development processes of algorithms that enable data-based learning. Machine learning methods try to find the most suitable model for new data prediction processes by using the past data. In this study, the data obtained from the engine trials with fuel mixtures of 5%, 10%, 15% by volume using 1-Propanol, 2-Propanol, AVGAS and gasoline fuel were used. Obtained data were compared with 100% gasoline values. In the study, a 4-cylinder engine with direct injection and turbocharging was used. With the obtained measurement results, a database was created to be used in machine learning. With the created database, estimation processes were carried out on ANN, GBA, SVM and AB machine learning models. At the end of the study, it was found that the most suitable model for the estimation of CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> values was ANN with an R<sup>2</sup> value of 0.9999. For the NO value, it was determined that the AB method was used with an R<sup>2</sup> value of 0.9996. In the estimation process of the CO value, GBA and AB methods are other machine learning methods that can be used as they have a higher value than 0.99 R<sup>2</sup>. CO<sub>2</sub>, HC and O<sub>2</sub>, and in the output value estimation process, GBA and AB are other methods that can be used instead of ANN as they have a higher value than 0.99 R<sup>2</sup>. It has been found that there is another machine learning method that can be used for NO value estimation, with an AB 0.99 R<sup>2</sup> value.

**Keywords:** Internal combustion engine, Machine learning, Artificial Neural Networks, Engine emissions, Gradient Boosting.

## Alternatif Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisini Öngörmek İçin Makine Öğrenme Yöntemlerinin Kullanılması

### Öz

Makine öğrenimi, veriye dayalı öğrenmeyi sağlayan algoritmaların tasarım ve geliştirme süreçleriyle ilgilenen bir bilimdir. Makine öğrenmesi yöntemleri, geçmiş verileri kullanarak yeni veri tahmin süreçleri için en uygun modeli bulmaya çalışır. Bu çalışmada, 1-Propanol, 2-Propanol, AVGAS ve benzin yakıtı kullanılarak hacimce %5, %10, %15 yakıt karışımları ile motor denemelerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Elde edilen veriler %100 benzin değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada direkt enjeksiyonlu ve turboşarjlı 4 silindirli bir motor kullanıldı. Elde edilen ölçüm sonuçları ile makine öğrenmesinde kullanılmak üzere bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı ile ANN, GBA, SVM ve AB makine öğrenmesi modelleri üzerinde tahmin işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> değerlerinin tahmini için en uygun modelin R<sup>2</sup> değeri 0,99999 olan YSA olduğu bulunmuştur. NO değeri için R<sup>2</sup> değeri 0,9996 ile AB yönteminin kullanıldığı belirlendi. CO değerinin tahmin sürecinde GBA ve AB yöntemleri 0,99 R<sup>2</sup>'den daha yüksek bir değere sahip oldukları için kullanılabilir diğer makine öğrenmesi yöntemleridir. CO<sub>2</sub>, HC ve O<sub>2</sub> ve çıkış değeri tahmin sürecinde GBA ve AB 0,99 R<sup>2</sup>'den daha yüksek bir değere sahip oldukları için YSA yerine kullanılabilir diğer yöntemlerdir. AB 0,99 R<sup>2</sup> değeri ile NO değeri tahmini için kullanılabilir başka bir makine öğrenmesi yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İçten yanmalı motor, Makine öğrenimi, Yapay Sinir Ağları, Motor emisyonları, Gradyan Artırma.

\*Corresponding Author: [sametbilban@hotmail.com](mailto:sametbilban@hotmail.com)

## 1. Introduction

It is seen that the use of internal combustion engines is increasing day by day and the use of individual vehicles increases the use of fossil fuels. It is known that this causes pollution on the atmosphere and global climate changes. For this reason, it becomes very important to reduce the gases released into the atmosphere and the emission values.

In order to reduce the negative effects of internal combustion engines on the world, the search for alternative fuels is being studied. Experiments and tests on alternative fuels and fuel mixtures are of great importance in the world.

While alternative fuels are used in a special way in systems that burn a single fuel, gasoline, which is used as current fuel, can be used as a mixture with other fuels, including LPG or diesel. Oxygen content of gasoline fuel can be increased by using 1-Propanol in order to provide better combustion and lower emission values [1], [2]. 1-Propanol contains three carbons in its structure and is defined by the formula  $CH_3H_7OH$  [2], [3]. OH groups in its structure increase the oxygen content of gasoline [4]. At the same time, it increases the knock resistance of gasoline with its high octane number. 1-Propanol, which is widely used as a solvent and anti-icing agent in the industry, contributes to the cleaning of the fuel system [5].

2-Propanol is a colorless flammable and organic compound. 2-Propanol mixes well with many solvents, including water. It is a volatile chemical.

Vapors are heavier than air. It can have a mild irritating effect on the eyes, nose and throat. Its boiling point is  $83^\circ\text{C}$ . Its melting point is  $-89.5^\circ\text{C}$ . It is miscible with alcohol, ether and chloroform in solubility, but it is a chemical that does not dissolve in salt solution. 2-Propanol density is known as  $0.875\text{ g/ml}$  at  $25^\circ\text{C}$  [6].

AVGAS is an aviation fuel used in spark-ignited internal combustion engines to propel aircraft [7]. It is a fuel obtained by formulating gasoline in aircraft piston engines and called aviation gasoline.

In order to analyze the effects of gasoline additive fuel mixtures on engine performance values, complex mathematical operations and long-term experimental studies are needed. Extra statistical methods are used to reveal the relationship between the features that affect the motor performance values. Measurements can be made in a specific engine speed range and using a specific test setup. Machine learning methods can be used to overcome all these problems.

By using 1-Propanol, 2-Propanol AVGAS gasoline fuel, additive-gasoline mixtures at 5%, 10%, 15% by volume were obtained. These mixtures were tested in the engine and compared with 100% gasoline values. The obtained data set was used in machine learning algorithms. Thus, exhaust emission values could be estimated at different rates and for intermediate turnover values without testing in the laboratory environment.

In this study, machine learning methods such as Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machines (SVM), Gradient Boosting algorithm (GBA) and Adaboost (AB) were used. The estimation of the parameters affecting the emission values ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_2$ ) of alternative fuel mixtures has been carried out. The results of each machine learning methods

are discussed comparatively and their effects on the result are given.

## 2. Material and Method

In this section, the use and application of parameters affecting the emission values of alternative fuel mixtures on estimation processes are discussed in detail by using ANN, SVM, AB and GBA methods from machine learning methods.

ML consists of methods used to extract information from data. ML methods cover a field of study that combines statistics, artificial intelligence and computer science. Also known as predictive analytics or statistical learning. Many websites and devices are based on ML algorithms [8].

ML methods require a comprehensive data set to predict relationships between data. Machine learning techniques are divided into three subgroups as unsupervised machine learning (training with unclassified or unlabelled data), supervised machine learning (training with classified or labelled data), and reinforced machine learning (includes reward or experience-based methods) as seen in Figure 1 [9].

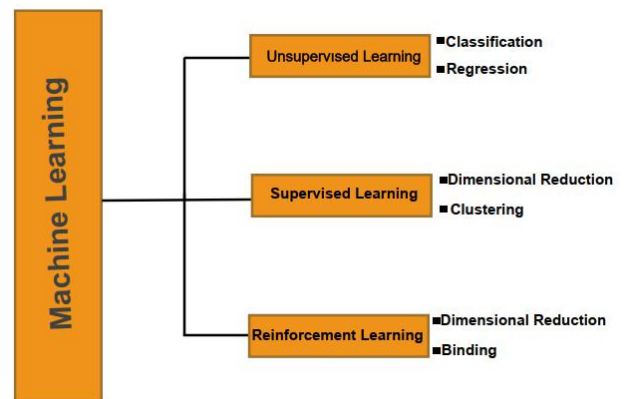


Figure 1. Classification of machine learning approaches

**Supervised Learning:** In a system where supervised learning method is used, inputs and corresponding outputs are given in ML algorithms and the system tries to establish a relationship between input and output data. The purpose of the established relationship is to estimate the output of unused data. Supervised learning methods can be used to classify data and perform regression operations depending on whether the data is quantitative or qualitative. Machine learning methods that apply qualitative data are used for classification operations. Machine learning methods for quantitative data perform regression operations.

**Unsupervised Learning:** In unsupervised learning, when a data set is given to the system without input-output information, the system tries to discover whether there is a possible relationship in this data. The main purpose of unsupervised learning is to analyse data by segmenting and clustering the data.

**Reinforcement Learning:** In reinforcement learning, the system interacts with an environment and learns according to the results of actions, that is, it refers to the learning process based on experience.

### 2.1. Gradient Boosting Algorithm

The gradient boosting algorithm is known as one of the decision tree ensembles [10]. GBA is one of the machine learning methods used for classification and regression problems. An iterative training process is applied to minimize the value of the lost function. The data set used for training the model is used to estimate the output label value of each data. The dataset is relabelled and errors are eliminated in the estimation process to give more importance to training data with poor results. GBA is used in datasets where prediction results with high accuracy are needed [11]. The use of GBA in multi-parameter problems is increasing day by day due to its high performance values in nonlinear problems [12]. GBA pseudocode is given in Table 1 [12].

Table 1. GBA pseudocode representation

---

**Input:** The model training dataset  $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$ ,  $L(y, F(x))$  is defined as the missing function and the maximum number of iterations M.

---

- The model is initially initialized with a fixed value:
 
$$F_0(x) = \underset{\gamma}{\operatorname{arg\,min}} \sum_{i=1}^N L(y_i, \gamma_i)$$
- For  $m = 1$  from up to M:
 
$$r_{im} = -\left[ \frac{\partial L(y_i, F(x_i))}{\partial F(x_i)} \right]_{F(x)=F_{m-1}(x)}$$

= 1, 2, 3 ... .., n

$p_m(x)$  represents the model prediction value.

$$\gamma = \underset{\gamma}{\operatorname{arg\,min}} \sum_{i=1}^N L(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma p_m(x_i))$$

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + \gamma_m p_m(x)$$
- Output value:**  $F_m(x)$

---

### 2.2. AdaBoost

Adaboost is defined as one of the ensemble regression methods, also known as Adaptive Boost. It is also one of the machine learning methods used in regression and classification processes. Each node on the Adaboost regression tree holds a feature in the dataset, and each branch represents the output from the model testing process.

In the Adaboost regression method, the estimation result is obtained by summing the estimations obtained or by the principle of majority vote. Each boosting operation is performed by applying the weights  $w_1, w_2, \dots, w_n$  to the model training data one by one. In the first step, all of the weights are determined as  $w_i=1/N$ , so the model training process is started on the real data.

As a result of each increment, the weights are updated and the learning algorithm is reapplied. After repeated operations, the

boosted model increased the weights of the training data that could not be predicted correctly and decreased the weight of the data that could not be predicted correctly. The larger the number of increments, the more difficult-to-predict samples will have an increasing effect on the model. The pseudocode containing all these operations is given in Table 2 [12],[13].

Table 2. Adaboost pseudocode representation

---

**Logic:** Training dataset  $T = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ ,  $x_i \in X$  and starting weights  $w_i^1 = \frac{1}{N}, i = 1, \dots, N$  is defined as.  $N$  represents the number of sample data sets.  $ca_i$  value of data  $i$ . corresponds to the value of the example in the real category.  $K$  represents the total number of samples in the same category.  $\Pi(\cdot)$  pointer function and  $Z_t$  is called the normalization factor.

---

**for**  $t=1 \dots T$ :

With the SAMME.R algorithm,  $w^t$  weights are assigned to the samples and placed in the  $h^t(x)$  function. As a result of the regression process of the  $h^t(x)$  function, the error value is calculated and the training **error**<sup>t</sup> is calculated as error.

$$\mathbf{error}^t = \sum_{i=1}^N w_i^t \Pi(ca_i \neq h^t(x_i))$$

In the regression process, the weights are calculated and kept in the variable  $a^t$ .

$$a^t = \ln \frac{1 - \mathbf{error}^t}{\mathbf{error}^t} + \ln(K - 1)$$

Thus, the weights of the samples are recalculated as  $w_i^t$  and the update process is repeated.

$$w_i^{t+1} = \frac{w_i^t}{Z_t} \cdot \exp(a^t \Pi(ca_i \neq h^t(x_i)))$$


---

### 2.3. Support Vector Machine

A support vector regression method has been developed in order to use the SVM classification method in regression problems. As Vapnik suggested that SVM be used in regression analysis, many researchers started to use it frequently in regression (SVR) processes [14]. While linear regression models try to keep the error in the minimum range, SVR tries to keep the error rate within a certain limit value range. It can be more advantageous than many other machine learning methods because it has good generalization ability on small data sets [15].

While the structure of the SVR and the hyperparameters used determine the support vectors, the kernel functions are used to determine the feature areas. Input parameters,  $x_i$  and  $y_i$  If we define it as a vector consisting of  $n$ , including the total number of data,  $\{(x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n)\}_{i=1,2,..,n}$  is defined as.

SVR generates an output function using the equation given in equation 1 [16].

The  $\phi(x)$  given in equation 1 is defined as an area with a large dimension.

$$y = w \cdot \phi(x) + b \tag{1}$$

**2.4. Artificial Neural Networks**

ANN, one of the application areas of artificial intelligence, is one of the machine learning methods used to model complex systems. ANNs provide convenience in solving many problems with their ability to interpret nonlinear relationships between independent and dependent variables. The ANN structure consists of an input layer, an output layer, and one or more hidden layers.

ANN is the representation of the human nervous system, which consists of neurons that communicate with each other through connections called axons. Neurons consist of one or more connections. Each link is assigned a weight value. The output link is responsible for carrying the incoming signals to other neurons. Signals are aggregated according to the activation threshold level of each neuron. The output signal is determined by passing all collected signals through an activation function. As shown in Equation 2,  $X$  is an input vector and  $y$  is a perceptron that produces a single output [18].  $w$  is the value of the input weights, the  $b$  bias value and  $\Phi$  a value corresponding to the nonlinear activation function.

$$y = \Phi(\sum w_i x_i + b) \tag{2}$$

The activation function is used to solve nonlinear problems with ANN. Activation function ensures that the output signal is not a linear value [19].

The three most frequently used activation functions in the literature are hyperbolic tangent, ReLU and sigmoid. Let  $l$  represent the number of inputs,  $m$  the number of hidden units, and  $n$  the number of output units. The formula for each hidden layer is defined in equation 3.

$$h_j = f(\sum_{i \rightarrow j} w_{ij}^{(1)} x_i + w_{0j}^{(1)}) \tag{3}$$

When the values obtained in the output layer are compared with the actual values, deviations/errors may occur. Weights, bias value and parameters should be adjusted to reduce the error in the output layer. The error value is calculated as given in equation 4.

$$\Delta_w = e_k * x_{jk} * a \tag{4}$$

$e_k$  represents the error of the output unit,  $x_{jk}$  and  $k$  values are the input values causing the error and  $a$  value is defined as the learning rate, which determines how much the weights need to be changed to correct the error. After the error is calculated, the variation of the weights in the hidden layer is calculated as in equation 5.

$$e_j = w_j * e_k * t(y_k) \tag{5}$$

The weight updates are made by adding the  $e_j$  values obtained to the weights of the network determined at the beginning. Thus, this process is repeated by going forward and backward until an optimum and generalized ANN is obtained.

**2.5. CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO, O<sub>2</sub> Hyperparameters Used to Estimate Values**

Hyper Parameter optimization is the optimum parameter selection process for machine learning algorithms. Hyperparameters are the values that affect the learning process of the model. A machine learning model training process involves choosing the optimal parameters for which the learning algorithm will be used to learn the optimal parameters that accurately map to the input values (independent variable) or target value (dependent variable).

Table 3. Hyperparameters used for all machine learning methods

Model Name	Hyperparameters
AB	<ul style="list-style-type: none"> <li>It is a basic predictive tree.</li> <li>The number of estimators was set to 50.</li> <li>Learning rate fixed at 1.0.</li> <li>The SAMME.R algorithm was used as the boosting method (which achieves a lower test error rate with faster convergence and fewer boost iterations).</li> <li>For the regression process, the missing function was determined as exponential.</li> </ul>
SVM	<ul style="list-style-type: none"> <li>The v-SVM parameter is selected as the SVM type.</li> <li><math>C</math> (regression cost) parameter 4.</li> <li><math>\nu</math> (Determining an upper and lower limit for regression tasks) was determined as 0.5.</li> <li>Kernel function is assigned as Linear.</li> <li>Numerical deviation optimization value (permissible deviation from expected value) value <math>10^{-4}</math>.</li> </ul>
ANN	<ul style="list-style-type: none"> <li>The number of neurons in each hidden layer is set to 10.</li> <li>Activation function Logistic is selected.</li> <li>The weight dissolving function was determined as L-BFGS-B.</li> <li><math>\alpha = 10^{-4}</math> (L2 punishment arrangement term)</li> <li>The maximum iteration is set at 200.</li> </ul>
GBA	<ul style="list-style-type: none"> <li>The number of trees to be included is determined as 100.</li> <li>The learning rate is set at 0.1.</li> <li>The maximum depth of the tree is determined as 3.</li> <li>The smallest number of subsets that can be divided was determined as 2.</li> <li>The number of training samples to be placed on the tree was determined as 1.0.</li> </ul>

### 3. Result and Discussion

Fuel type, engine speed, engine torque, engine power, exhaust gas temperature, noise value and specific fuel consumption were used as input parameters of the machine learning model. Model output parameters, exhaust emissions CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO and O<sub>2</sub> were determined. The correlation coefficient (R<sup>2</sup>) value was used from the comparison between the experimental data and the predicted results. For each output value, machine learning models are trained with 80% training and 20% testing of all data. R<sup>2</sup>, MSE and MAE values were calculated over the predicted values of the models.

ANN was determined as the most suitable model for estimating the CO output value. ANN was obtained as a generalized model for CO output value with 0.0001 MSE, 0.0006 MAE and 0.9999 R<sup>2</sup> value. If the model fitness value is considered as 90% and above, GBA and AB values are other methods with high accuracy in estimating the CO output value. ANN was chosen because it has lower MAE and higher R<sup>2</sup> value than GBA and AB methods. The ANN-CO predicted-actual value graph is given in Figure 2.

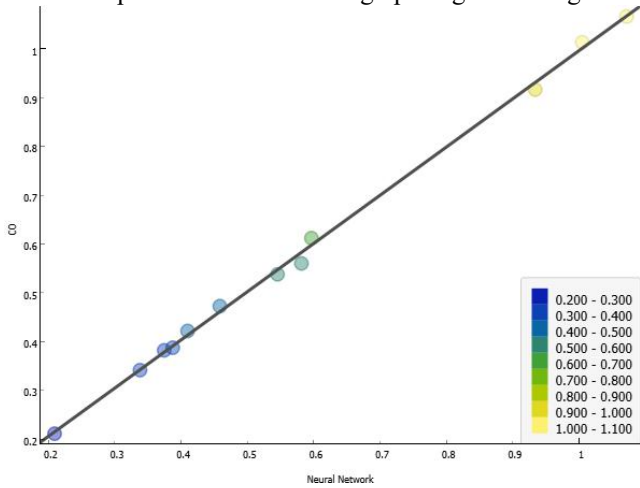


Figure 2. ANN-CO predicted-actual graph

In estimating the CO<sub>2</sub> value, ANN was obtained as a more generalized model compared to other methods, with 0.001 MSE, 0.0024 MAE and 0.9999 R<sup>2</sup> values. 0.9996 R<sup>2</sup> GBA and 0.9987 AB values are other machine learning models that follow the ANN model with high accuracy values. ANN-CO<sub>2</sub> predicted-actual value graph is given in Figure 3.

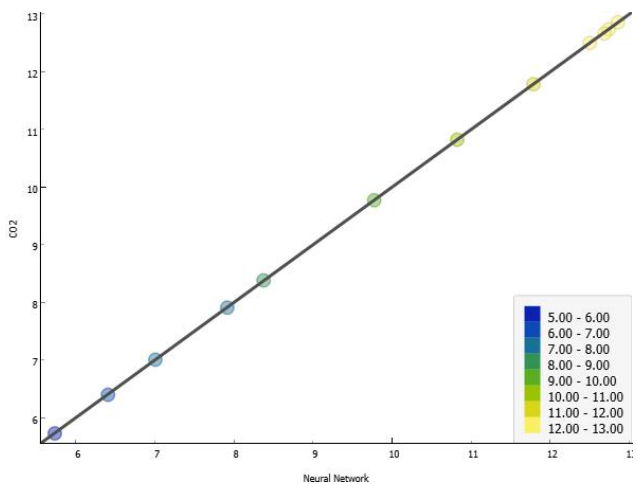


Figure 3. ANN- CO<sub>2</sub> predicted-actual graph

For the HC value estimation process, ANN was found to be the most suitable model with 0.2368 MSE, 0.0001 MAE and 0.9999 R<sup>2</sup> values. GBA, AB and SVM are other machine learning methods with model fitness values over 90% accuracy. Since ANN has lower model error values and high R<sup>2</sup> value, it helped to determine it as a more suitable model than other methods. The ANN-HC predicted-actual value graph is given in Figure 4.

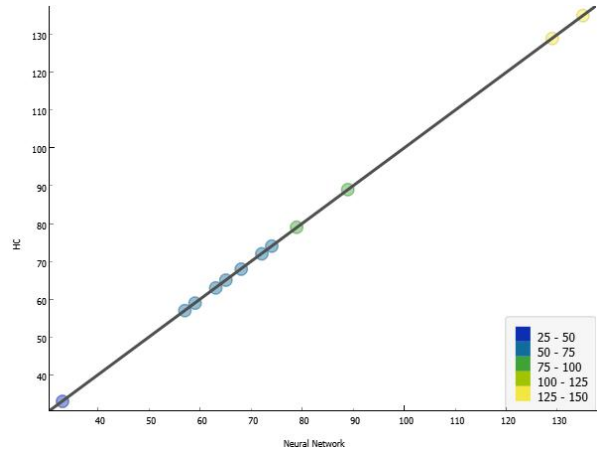


Figure 4. ANN- HC predicted-actual graph

For the estimation of the O<sub>2</sub> model output value, the ANN method is a model with higher accuracy than other methods with 0.008 MSE, 0.0158 MAE and 0.9999 R<sup>2</sup> values. GBA 0.9997 and AB 0.9989 are other methods that can be used with R<sup>2</sup> values for the estimation of the O<sub>2</sub> value. ANN-O<sub>2</sub> predicted-actual value graph is given in Figure 5.

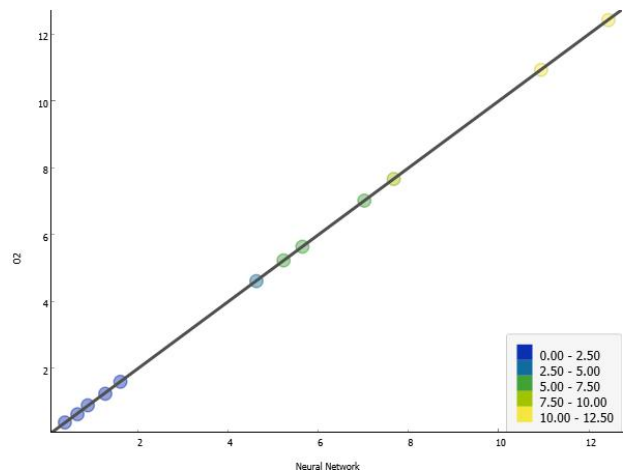


Figure 5. ANN- O<sub>2</sub> predicted-actual graph

The AB method was determined to be the most suitable method for estimating the NO value with 173.5416 MSE, 3.1251 MAE and 0.9996 R<sup>2</sup> values. It was seen that the most suitable model was the GBA method with 322.3016 MSE, 14.5745 MAE and 0.9994 R<sup>2</sup> values. It has been determined that the ANN and SVM methods cannot be used in NO estimation since the accuracy value is below 90%. It has been shown that tree-based AB and GBA methods can be used more appropriately than ANN and SVM methods. In the estimation process of the NO value, the MSE and MAE error values were high because the actual values of the NO value vary between approximately 1000-3250 when looking at the database. Therefore, MSE and MAE values were high in NO estimation. The AB-NO predicted-actual value graph is given in Figure 6.

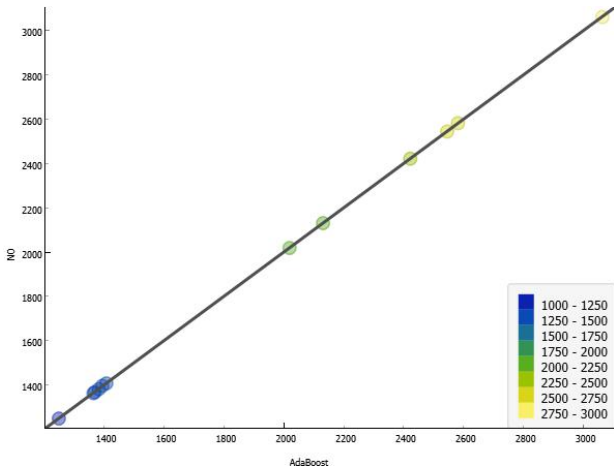


Figure 6. AB-NO predicted-actual graph

Today, it has been determined that there are very few studies conducted in our country and internationally on different fuel mixtures in an engine with TSI technology. In this respect, the experiments and research on the TSI engine, which is a new and up-to-date engine technology, will guide researchers and students who will work in this field.

It has been demonstrated that researchers who will work with machine learning and alternative fuel mixtures can create their own datasets and how to predict and improve prediction processes with high accuracy values without continuous experimental studies in the real test environment.

#### 4. CONCLUSION

In this study, a test process was carried out on a 1.2 TSI engine using 1-Propanol, 2-Propanol and AVGAS-added gasoline blends. In the test processes on the engine, each fuel mixture with additives was tested separately. As a result of each test process, engine speed, engine power, engine torque, exhaust gas temperature, noise, CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO, O<sub>2</sub> and specific fuel consumption values were taken. After all the testing procedures were completed, the database was created. This database was used to create models in ANN, SVM, GBA and AB machine learning methods. Table 4 shows which generalized model is for each output value.

Table 4. Optimal model representation for all machine learning prediction values

Tahmin	Model	MSE	MAE	R <sup>2</sup>
CO	ANN	0.0001	0.0006	0.9999
CO <sub>2</sub>	ANN	0.0001	0.0024	0.9999
HC	ANN	0.2368	0.0001	0.9999
O <sub>2</sub>	ANN	0.0008	0.0158	0.9999
NO	AB	173.5416	3.1251	0.9996

As seen in Table 4, ANN was found to be the most suitable model for the estimation of CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> values. It was found to be AB for the NO prediction value.

It has been seen that using 1-Propanol, 2-Propanol and AVGAS-added gasoline blends, intermediate value estimations can be made without performing real test operations.

#### References

- [1] Y. Qian, J. Guo, Y. Zhang, W. Tao, and X. Lu, (2018). "Combustion and emission behavior of N-propanol as partially alternative fuel in a direct injection spark ignition engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 144, pp. 126–136, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.08.044.
- [2] M. S. Gökmen, İ. Doğan, and H. Aydoğan, (2021). "Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması," *Eur. J. Sci. Technol.*, no. 24, pp. 67–74, doi: 10.31590/ejosat.898563.
- [3] G. R. Gawale and G. Naga Srinivasulu, (2020). "Experimental investigation of propanol dual fuel HCCI engine performance: Optimization of propanol mass flow rate, impact of butanol blends (B10/B20/B30) as fuel substitute for diesel," *Fuel*, vol. 279, p. 118535, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.118535.
- [4] M. Mourad and K. R. M. Mahmoud, (2018). "Performance investigation of passenger vehicle fueled by propanol/gasoline blend according to a city driving cycle," *Energy*, vol. 149, pp. 741–749, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.02.099.
- [5] X. Liu, H. Wang, Z. Zheng, J. Liu, R. D. Reitz, and M. Yao, (2016). "Development of a combined reduced primary reference fuel-alcohols (methanol/ethanol/propanols/butanols/n-pentanol) mechanism for engine applications," *Energy*, vol. 114, pp. 542–558, doi: 10.1016/J.ENERGY.2016.08.001.
- [6] A. Kimya, "Ataman Kimya," (2019). <https://atamankimya.com>.
- [7] Shell, "Shell," (2010). <https://www.shell.com/business->
- [8] A. C. Müller and S. Guido, (2020). *Introduction to Machine Learning with Python*.
- [9] A. U. Osarogiagbon, F. Khan, R. Venkatesan, and P. Gillard, (2021). "Review and analysis of supervised machine learning algorithms for hazardous events in drilling operations," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 147, pp. 367–384, doi: 10.1016/J.PSEP.2020.09.038.
- [10] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, (2008). *The Elements of Statistical Learning*.
- [11] S. Raschka, D. Julian, and J. Hearty, (2016). *Python : deeper insights into machine learning : leverage benefits of machine learning techniques using Python : a course in three modules*.
- [12] U. Ozkaya and L. Seyfi, (2015). "Dimension optimization of microstrip patch antenna in X/Ku band via artificial neural network" *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, pp. 2520-2526.
- [13] Q. Liu, X. Wang, X. Huang, and X. Yin, (2020). "Prediction model of rock mass class using classification and regression tree integrated AdaBoost algorithm based on TBM driving data," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 106, no. August, p. 103595, doi: 10.1016/j.tust.2020.103595.
- [14] V. Vapnik, S. E. Golowich, and A. Smola, (1997). "Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 281–287.
- [15] H. Zhong, J. Wang, H. Jia, Y. Mu, and S. Lv, (2019). "Vector field-based support vector regression for building energy



- consumption prediction,” *Appl. Energy*, vol. 242, no. September 2018, pp. 403–414, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.078.
- [16] B. Dong, C. Cao, and S. E. Lee, (2005). “Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region,” *Energy Build.*, vol. 37, no. 5, pp. 545–553, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2004.09.009.
- [17] J. Lin, C. Cheng, and K.-W. Chau, (2006). “Using support vector machines for long-term discharge prediction,” *Hydrol. Sci. J.*, vol. 51, no. 4, pp. 599–612, doi: 10.1623/hysj.51.4.599.
- [18] P. Golbayani, I. Florescu, and R. Chatterjee, (2020). “A comparative study of forecasting corporate credit ratings using neural networks, support vector machines, and decision trees,” *North Am. J. Econ. Financ.*, vol. 54, p. 101251, doi: 10.1016/J.NAJEF.2020.101251.
- [19] A. Domínguez-Sáez, G. A. Rattá, and C. C. Barrios, (2018). “Prediction of exhaust emission in transient conditions of a diesel engine fueled with animal fat using Artificial Neural Network and Symbolic Regression,” *Energy*, vol. 149, pp. 675–683, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.02.080.



# Prediction of Cumulative Installed Power of Geothermal Power Plants in Turkey by Using Artificial Neural Network and Bidirectional Long Short-Term Memory

Mehmet Hakan Özdemir<sup>1\*</sup>, Batin Latif Aylak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Turkish-German University, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Department of Business Administration, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7174-9807), [hakan.ozdemir@tau.edu.tr](mailto:hakan.ozdemir@tau.edu.tr)

<sup>2</sup> Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0067-1835), [batin.latif@tau.edu.tr](mailto:batin.latif@tau.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080608)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, M. H. & Aylak, B. L. (2022). Prediction of Cumulative Installed Power of Geothermal Power Plants in Turkey by Using Artificial Neural Network and Bidirectional Long Short-Term Memory. *European Journal of Science and Technology*, (34), 280-284.

## Abstract

Turkey has a great potential for renewable energies. The number of power plants (PP) producing electricity from renewable energy sources and accordingly the installed power has risen over the years. As of the end of December 2021, the cumulative installed power of Turkey reached 99819.6 MW and the share of the total installed power of the PPs generating electricity from renewable energy sources was 53.72%. Although the installed power has increased, the percentage of PPs using renewable energy sources in total electricity generation is not yet at the desired level. However, geothermal energy is being used more and more in electricity generation alongside the other most well-known types of renewable energy. It can be observed that the installed power of geothermal power plants (GPP) in Turkey started to increase gradually after 2007, and as of the end of December 2021, the cumulative installed power reached 1676.2 MW. In this study, with the data for the cumulative installed power of GPPs in Turkey in the 2007-2021 period, the cumulative installed power of GPPs in Turkey for 2022 was predicted by using Artificial Neural Network (ANN) and Bidirectional Long Short-Term Memory (BLSTM) methods, and the results were compared and interpreted.

**Keywords:** Installed power, Geothermal energy, Prediction, Artificial neural network.

## Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Kümülatif Kurulu Gücünün Yapay Sinir Ağı ve İki Yönlü Uzun-Kısa Vadeli Bellek Kullanılarak Tahmini

### Öz

Türkiye büyük bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten santrallerin sayısı ve buna bağlı olarak kurulu güç yıllar içinde artış göstermiştir. Aralık 2021 sonu itibarıyla Türkiye'nin kümülatif kurulu gücü 99819,6 MW'a ulaşmıştır ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten enerji santrallerinin toplam kurulu güç içindeki payı %53,72 olmuştur. Kurulu güç artmasına rağmen toplam elektrik üretiminde, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan enerji santrallerinin oranı henüz istenen düzeyde değildir. Bununla birlikte, jeotermal enerji, en çok bilinen diğer yenilenebilir enerji türlerinin yanı sıra elektrik üretiminde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Türkiye'de jeotermal enerji santrallerinin (JES) kurulu gücünün 2007 yılından sonra yavaş yavaş artmaya başladığı ve Aralık 2021 sonunda kümülatif kurulu gücün 1676,2 MW'a ulaştığı görülmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'deki JES'lerin 2007-2021 dönemindeki kümülatif kurulu gücü verileriyle, Yapay Sinir Ağı ve İki Yönlü Uzun-Kısa Vadeli Bellek kullanılarak Türkiye'deki JES'lerin 2022 yılı kümülatif kurulu gücü tahmin edilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kurulu güç, Jeotermal enerji, Tahmin, Yapay sinir ağı.

\* Corresponding Author: [hakan.ozdemir@tau.edu.tr](mailto:hakan.ozdemir@tau.edu.tr)

## 1. Introduction

The rapidly increasing world population, industrialization and widespread use of electronic devices in daily life increase the demand for energy [1]. However, in order to make a certain quality of life sustainable, it is necessary to create a sustainable energy production system [2]. Although fossil energy sources, which are exhaustible and harmful to the environment, are still widely used today, the mentioned necessity has brought renewable energy sources to the agenda [3].

The installed power of PPs generating electricity from renewable energy sources in Turkey is increasing rapidly. According to the data by the end of December 2021, the total installed power of the PPs in Turkey is 99819.6 MW, and the total installed power of the PPs generating electricity from renewable energy sources is 53626.8 MW. Accordingly, the share of PPs generating electricity from renewable energy sources in the total installed power is 53.72%. However, the share of electricity produced from fossil energy sources in total production is still very high. When the data for December 2021 are analyzed, it is seen that the share of PPs generating energy from renewable energy sources in electricity generation is 33.2% [4, 5].

Geothermal energy is being used more and more in electricity generation alongside the other most well-known types of renewable energy. The number of GPPs has been increasing in recent years and as of the end of December 2021, the cumulative installed power of GPPs in Turkey has reached 1676.2 MW [5]. In Table 1, the cumulative installed power of GPPs in Turkey by years since 2007 is given.

Table 1. Cumulative installed power of GPPs in Turkey [5, 6]

Year	Cumulative installed power in MW
2007	23.0
2008	29.8
2009	77.2
2010	94.2
2011	114.2
2012	162.2
2013	310.8
2014	404.9
2015	623.9
2016	820.9
2017	1063.7
2018	1282.5
2019	1514.7
2020	1613.2
2021	1676.2

In this study, with the data for the cumulative installed power of GPPs in Turkey in the 2007-2021 period, the cumulative installed power of GPPs in Turkey for 2022 was predicted by using ANN and BLSTM methods.

The rest of the study is structured as follows: A literature review is given in the second section. In the following section, the methods used in the study are explained. This is followed by the application in the fourth section, and the results are discussed in the fifth section. The conclusion is included in the sixth section.

## 2. Literature Review

The global issue of climate change and declining indigenous fossil fuels reserves have pushed the world to opt for renewable and clean energy resources. Geothermal energy is increasing its importance day by day. Various studies exist that made predictions related to geothermal energy. Shi et al. [7] effectively predicted the geothermal productivity using LSTM and Multi-Layer Perceptron (MLP) combined ANN. In this, MLP was utilized to learn the nonlinear relationship between the constraint conditions and productivity of geothermal resource, whereas the LSTM system was utilized to memorize the sequential relation for the production data. They claimed their method was inexpensive as compared to numerical simulations. Moreover, they advocated that the combined model of LSTM and MLP provided better accuracy, generalization ability and stability, precision and forecasting efficiency as compared to original LSTM, MLP, Recurrent Neural Networks (RNN). The following claim was also supported by Gudmundsdottir and Horne [8]. They utilized standard feedforward neural network and RNN model for predicting geothermal reservoir through deep learning. Their study supported that feedforward neural network performed better than the complex RNN model and it should be implemented in prediction modeling for geothermal reservoirs. Similarly, Jiang et al. [9] also used RNN as Machine Learning (ML) architecture for the prediction of dynamic or sequential data in order to predict the long-term geothermal energy production. In addition to this, they utilized multiscale RNN to improve the generalization power (as simple RNN is challenged where extrapolation beyond the training range is needed) of the model and learning capability to predict both short-term and long-term trends in geothermal fields.

Diaz and Kim [10] opted ANN to predict and improve the rate of penetration (ROP) by training the system from data collected from an adjacent well in the geothermal project. They claimed that this method led to mean percentage error of 18.5%. ROP was also predicted using ANN model for the nearby well in a geothermal field and this methodology was found to be quite accurate [11, 12]. Pérez-Zárate et al. [13] also utilized three-layer ANN to predict the geothermal reservoir temperatures and ultimately predict the potential energy extraction from that geothermal reservoir. They found out that the ANN model predicted the reservoir temperature with quite an accuracy with mean percentage error to be ranging from 2% to 11% between simulated and measured data. Similarly, Haklıdır and Haklıdır [14] also utilized ML approach to predict the reservoir temperature using hydrogeochemical data set for western Anatolia geothermal system in Turkey. Their study advocated that Deep Neural Network (DNN) showed the least root mean square error and mean absolute error and predicted the reservoir temperature most accurately. Contrary to the methodology utilized by Shi et al. [7], Jalilinasrabad et al. [15] used numerical simulation for assessing and predicting production for Takigami geothermal reservoir under two scenarios: 25 MW and 36 MW power production.

Coro and Trumpy [16] worked on predicting geographical feasibility of geothermal-based PPs through Maximum Entropy ML model. They claimed that their work would increase the transparency in the assessment of geothermal sites and help in saving time and money. Mao and Zhang [17] designed a transient temperature prediction model for analyzing the distribution of temperature in horizontal-wells during the drilling process for geothermal energy and shale gas. They modeled the transient

temperature prediction system depending upon un-steady, two-dimensional convection-diffusion equation and utilized finite volume method to solve the iteration model. Baruque et al. [18] developed a geothermal heat exchanger prediction model based on times series and optimization of monitoring sensors. In their study, they utilized statistical regression training tools (Ridge Regression ARIMA and Decision Tree) and ANN training tools (MLP, Time Delay Neural Network - TDNN). They found out that TDNN provided the best results in term of accuracy and predicted the state of installation up to 6h in advance. Zhang et al. [19] designed a prediction model based on scaling deposition kinetics (utilizing Ramey model and inorganic scaling model) to accurately predict scale layer thickness and assess the blockage risk in the reinjection wellbore at different conditions.

### 3. Methodology

In this section, the methods used in the study will be briefly introduced.

#### 3.1. Artificial Neural Network (ANN)

ANNs are a learning method that uses artificial intelligence and machines together to work exactly like nerve cells [20]. They usually contain the input layer, followed by single or more layers which are hidden, and then layer for the output, all of which are covered in neurons and weights. With this method, prediction and classification can be made with the aid of existing data. After training the system with real-life data, it may be possible to obtain outputs suitable for testing the complete system. There is a large number of application areas for ANNs, i. e. skin cancer level determination [21], detection of automobile engine faults [22], drug classification [23], electric load estimation [24], stock market forecast [25], wind speed estimation [26] and electricity energy demand forecasting [27].

#### 3.2. Bidirectional Long Short-Term Memory (BLSTM)

ANNs give inspiration for several algorithms, including deep learning. Deep learning is used in many areas such as processing languages, processing images, and, classification work [28]. Its network differs from a classical ANN in many ways, for example, the number of layers [29]. The most popularly used algorithms for deep learning are CNN and RNN. A particular version of the regular RNN is Long Short-Term Memory (LSTM). One-way normal LSTMs tend to fail time series and other sequential operations as they are programmed for just one operation [30]. Bidirectional LSTMs run two LSTMs on the same input data in time series problems. The initial LSTM runs on the input data from backward to forward, and the next LSTM runs on the same data from forward to back [31]. In this way, by running two LSTMs on the same input data, the system is provided to be faster and the learning deficiencies in one-way LSTM are completed.

### 4. Application and Results

In this study, with the data in Table 1 for the cumulative installed power of GPPs in Turkey in the 2007-2021 period, the cumulative installed power of GPPs in Turkey for 2022 was predicted by using ANN and BLSTM methods. No Ethics Committee Permission is required because the data were gathered from the website of TEİAŞ (Turkish Electricity Transmission Corporation).

First, the data were converted into a series with three inputs and one output. Then ANN and BLSTM methods were applied.

For both ANN and BLSTM, the values of cumulative installed power of GPPs in Turkey from three successive years in Table 1 were used as input 1 (I1), input 2 (I2) and input 3 (I3). The value of cumulative installed power of GPPs in Turkey after these successive years was used as the only output O in Table 2. The I1, I2, I3 and O values in the first row of Table 2 are the cumulative installed power values of the GPPs in Turkey for the years 2007, 2008, 2009 and 2010, respectively. Those in second row are from the years 2008, 2009, 2010 and 2011. This is continued until the year 2021.

Table 2. Data set values from cumulative installed power of GPPs in Turkey

I1	I2	I3	O
23	29.8	77.2	94.2
29.8	77.2	94.2	114.2
77.2	94.2	114.2	162.2
94.2	114.2	162.2	310.8
114.2	162.2	310.8	404.9
162.2	310.8	404.9	623.9
310.8	404.9	623.9	820.9
404.9	623.9	820.9	1063.7
623.9	820.9	1063.7	1282.5
820.9	1063.7	1282.5	1514.7
1063.7	1282.5	1514.7	1613.2
1282.5	1514.7	1613.2	1676.2

Different number of layers and neurons were tested in the training phase to obtain the best prediction with the ANN method. In order to form a network structure of 3-10-5-1, three inputs, one output and two hidden layers with 10 and 5 neurons respectively were used. Learning rate was adjusted as 0.5 and the sigmoid was used as activation function. The ANN training was executed with 200 epochs, and a value of 1642.8749608 was predicted for the actual value of 1676.2 in 2021 with a relative error of -1.99%.

Then BLSTM method was trained with 50 epochs. A value of 1672.2921 was predicted for the actual value of 1676.2 with a relative error of -0.23%.

Table 3. Predictions in MW for the value of cumulative installed power in 2021 (Two decimal places were used.)

2021 Actual Value	2021 Predictions			
	ANN	Relative error	BLSTM	Relative error
1676.2	1642.87	-1.99%	1672.29	-0.23%

Table 3 shows that BLSTM yields a better prediction than ANN. To predict the value of cumulative installed power in 2022 given in Table 4, ANN and BLSTM methods were applied with the training and optimization parameters obtained before.

Table 4. Predictions in MW for the value of cumulative installed power in 2022

2022 Predictions	
ANN	BLSTM
1705.69077345	1756.3717

## 5. Discussion

In this study, with the data for the cumulative installed power of GPPs in Turkey in the 2007-2021 period, the cumulative installed power of GPPs in Turkey for 2022 was predicted by using ANN and BLSTM methods.

The cumulative installed power of GPPs in Turkey will increase by approximately 29.49 MW according to ANN method and by approximately 80.17 MW according to BLSTM method in 2022.

## 6. Conclusion

Geothermal energy is a renewable, sustainable and inexhaustible type of energy. It is an important natural resource for Turkey. It is clean and environmentally friendly as it is not used in combustion technology and has close to zero emissions. Geothermal energy is also ideal for multipurpose heating applications. Therefore, it is used in housing, agriculture, industry and greenhouse heating. In addition, being independent of meteorological conditions makes it different from other renewable energy sources. It is a ready-made energy type and GPPs are base load PPs in electricity generation. It is cheaper than fossil and other alternative energy sources. It is also a reliable form of energy. There is no risk of explosion and poisoning in fire. Unlike hydro and solar energy, it requires minimal space. GPPs can be commissioned easily and quickly and have a long life span. Since geothermal energy is a domestic energy, it is not imported or exported and has no international price. Moreover, it does not cause international problems.

The importance of renewable energy is better understood with each passing day. Turkey has a great potential for renewable energies. The number PPs producing electricity from renewable energy sources and accordingly the installed power has increased over the years but the percentage of PPs using renewable energy sources in total electricity generation is not yet at the desired level. However, geothermal energy is being used more and more in electricity generation alongside the other most well-known types of renewable energy such as wind energy and solar energy. The results obtained in this study show that the installed power of geothermal power plants would increase in 2022, which gives rise to hope that the share of PPs using renewable energy sources in total electricity generation will increase in the future.

## References

- [1] K. Kaya, M. C. Şenel and E. Koç, "Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi", *Technological Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, pp. 219-234, Jul. 2018.
- [2] Y. Akça and A. Kamacı, "TR81 Bölgesinin Yenilenebilir Enerji Durumu", *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol 12, no. 24, pp. 400-412, 2021.
- [3] D. G. Demir and M. Canbaz, "Türkiye'de 2001-2020 Yılları Arasında Devlet Teşviklerinin Yenilenebilir Enerji Sektörü

Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye'de 2001-2020 Yılları Arasında Devlet Teşviklerinin Yenilenebilir Enerji Sektörü Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi," *Türk Kamu Yönetimi Dergisi*, vol. 2, no. 2, 2021.

- [4] C. Hakyemez (2022) Available: TSKB Ekonomik Araştırmalar Aylık Enerji Bülteni Aralık 2021. Available: <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-bulteni-aralik-2021.pdf>.
- [5] TEİAŞ (2021a). Aralık 2021 Kurulu güç raporu. Available: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>.
- [6] TEİAŞ (2021b). Türkiye'nin Yenilenebilir Kaynaklarına Ait Kurulu Gücünün Toplam Kurulu Güç İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi (2000-2020). Available: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- [7] Y. Shi, X. Song, and G. Song, "Productivity prediction of a multilateral-well geothermal system based on a long short-term memory and multi-layer perceptron combinational neural network," *Applied Energy*, vol. 282, p. 116046, Jan. 2021.
- [8] H. Gudmundsdottir and R. N. Horne (2020, February). "Prediction modeling for geothermal reservoirs using deep learning" In *45th workshop on geothermal reservoir engineering*. Stanford, California: Stanford University, 2020, pp. 1-12.
- [9] A. Jiang, Z. Qin, T. T. Cladouhos, D. Faulder, and B. Jafarpour, "A Multiscale Recurrent Neural Network Model for Long-Term Prediction of Geothermal Energy Production", In *47th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* Stanford University, Stanford, California, 2022, pp. 1-8.
- [10] M. B. Diaz and K. Y. Kim, "Improving rate of penetration prediction by combining data from an adjacent well in a geothermal project," *Renewable Energy*, vol. 155, pp. 1394–1400, Aug. 2020.
- [11] A. Yuswandari, A. Prayoga, and D. Purba, "Rate of penetration (ROP) prediction using artificial neural network to predict ROP for nearby well in a geothermal field," *Proc. 44th Work. Geotherm. Reserv. Eng. Stanford Univ. Stanford, California, Febr. 11*, vol. 13, no. 2019, pp. 1–5.
- [12] M. Diaz, K. Y. Kim, J. Lee, and H.-S. Shin, "Prediction of rate of penetration with data from adjacent well using artificial neural network," in *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, Springer, 2020, pp. 517–522.
- [13] D. Pérez-Zárate, E. Santoyo, A. Acevedo-Anicasio, L. Díaz-González, and C. García-López, "Evaluation of artificial neural networks for the prediction of deep reservoir temperatures using the gas-phase composition of geothermal fluids," *Computers & Geosciences*, vol. 129, pp. 49–68, 2019.
- [14] F. S. Tut Haklıdır and M. Haklıdır, "Prediction of reservoir temperatures using hydrogeochemical data, Western Anatolia geothermal systems (Turkey): a machine learning approach," *Natural Resources Research*, vol. 29, no. 4, pp. 2333–2346, 2020.
- [15] S. Jalilinasrabad, T. Tanaka, R. Itoi, and H. Goto, "Numerical simulation and production prediction assessment of Takigami geothermal reservoir," *Energy*, vol. 236, p. 121503, 2021.
- [16] G. Coro and E. Trumpy, "Predicting geographical suitability of geothermal power plants," *Journal of Cleaner Production*, vol. 267, p. 121874, Sep. 2020.

- [17]L. Mao and Z. Zhang, "Transient temperature prediction model of horizontal wells during drilling shale gas and geothermal energy," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 169, pp. 610–622, 2018.
- [18]B. Baroque, S. Porras, E. Jove, and J. L. Calvo-Rolle, "Geothermal heat exchanger energy prediction based on time series and monitoring sensors optimization," *Energy*, vol. 171, pp. 49–60, 2019.
- [19]L. Zhang, S. Geng, J. Chao, L. Yang, Z. Zhao, G. Qin, and S. Ren, "Scaling and blockage risk in geothermal reinjection wellbore: Experiment assessment and model prediction based on scaling deposition kinetics," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 209, p. 109867, 2022.
- [20]M. Hemmat Esfe, S. Saedodin, N. Sina, M. Afrand, and S. Rostami, "Designing an artificial neural network to predict thermal conductivity and dynamic viscosity of ferromagnetic nanofluid," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 68, pp. 50–57, Nov. 2015.
- [21]Ş. Öztürk and U. Özkaya, "Skin lesion segmentation with improved convolutional neural network." *Journal of digital imaging*, 33(4), 958-970, 2020.
- [22]R. Ahmed, M. El Sayed, S. A. Gadsden, J. Tjong, and S. Habibi, "Automotive internal-combustion-engine fault detection and classification using artificial neural network techniques," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 64, no. 1, pp. 21–33, 2014.
- [23]E. Byvatov, U. Fechner, J. Sadowski, and G. Schneider, "Comparison of support vector machine and artificial neural network systems for drug/non-drug classification," *Journal of chemical information and computer sciences*, vol. 43, no. 6, pp. 1882–1889, 2003.
- [24]D. C. Park, M. A. El-Sharkawi, R. J. Marks, L. E. Atlas, and M. J. Damborg, "Electric load forecasting using an artificial neural network," *IEEE transactions on Power Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 442–449, 1991.
- [25]J. L. Ticknor, "A Bayesian regularized artificial neural network for stock market forecasting," *Expert systems with applications*, vol. 40, no. 14, pp. 5501–5506, 2013.
- [26]A. Khosravi, R. N. N. Koury, L. Machado, and J. J. G. Pabon, "Prediction of wind speed and wind direction using artificial neural network, support vector regression and adaptive neuro-fuzzy inference system," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 25, pp. 146–160, 2018.
- [27]S. Özden and A. Öztürk, "Yapay sinir ağları ve zaman serileri yöntemi ile bir endüstri alanının (ivedik OSB) elektrik enerjisi ihtiyaç tahmini," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 11, no. 3, pp. 255–261, 2018.
- [28]L. Deng and D. Yu, "Deep learning: methods and applications," *Foundations and trends in signal processing*, vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014.
- [29]Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.
- [30]A. Graves and J. Schmidhuber, "Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures," *Neural networks*, vol. 18, no. 5–6, pp. 602–610, 2005.
- [31]E. Kiperwasser and Y. Goldberg, "Simple and accurate dependency parsing using bidirectional LSTM feature representations," *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, vol. 4, pp. 313–327, 2016.



# Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Treyler Ön Panellerine Uygulanabilirliğinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelemesi

Miraç Mutlu<sup>1\*</sup>, Ayşegül Akdoğan Eker<sup>2</sup>, Emin Emre Göktepe<sup>3</sup>,

<sup>1\*</sup> Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0048-0361), mirac.mutlu@tirsan.com

<sup>2</sup> Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0212-9230), aysegul@yildiz.edu.tr

<sup>3</sup> Tirsan Treyler San. ve Tic. A.Ş, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0292-578X), emre.goktepe@kaessbohrer.com

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081516)

**ATIF/REFERENCE:** Mutlu, M., Akdoğan, Eker, A., Göktepe, E. E., (2022). Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Treyler Ön Panellerine Uygulanabilirliğinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelemesi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 285-291.

## Öz

Bu çalışmada, tenteli perdeli treyler ön panellerine balpeteği sandviç kompozitlerin uygulanabilirliği sonlu elemanlar analizi (FEA) ile incelenmiştir. Balpeteği sandviç yapılı kompozitlerden; polipropilen (PP) balpeteği, S320 çelik levha ve 3005 H19 alüminyum alaşımı balpeteği, 5457 H22 alüminyum levhalardan imal edilmiş iki farklı kompozit bu çalışmanın kapsamında değerlendirilmiştir. TS EN 12642 normunda belirtilen test standartları göz önüne alınarak statik analizler gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelere uygulanan analizlerde gerilme dağılımı, toplam deformasyon ve gerinim enerjisi çıktıları değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, PP balpeteği kompozit ön panelde en yüksek gerilme değeri 2439 MPa, deplasman 68mm ve gerinim enerjisi 3108 mJ olarak elde edilmiştir. Alüminyum balpeteği kompozit ön panelde ise en yüksek gerilme değeri 391 MPa, deplasman değeri 29 mm ve gerinim enerjisi 286 mJ olarak bulunmuştur. Elde edilen veriler göz önüne alındığında, polipropilen balpeteği yapılı kompozit ön panel için gerekli özellikleri sağlamadığı, alüminyum balpeteği yapılı kompozitlerin ise uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Treyler, Kompozit, Balpeteği, Ön Panel, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA).

## Investigation of the Applicability of Honeycomb Sandwich Composites to Trailer Front Panels by Finite Element Analysis

### Abstract

In this study, the feasibility of honeycomb sandwich composites to curtainsider trailer bulkhead was investigated by finite element analysis (FEA). Honeycomb sandwich composites: two different composites made of polypropylene (PP) honeycomb, S320 steel skin and 3005 H19 aluminum alloy honeycomb, 5457 H22 aluminum skin were evaluated within the scope of this study. Static analyzes were carried out considering the test standards specified in the TS EN 12642 norm. Stress distribution, total deformation and strain energy outputs were evaluated in the analyzes applied to composite materials. As a result of the analysis, the highest stress value was obtained as 2439 MPa, displacement 68mm and strain energy 3108 mJ in the PP honeycomb composite front panel. In the aluminum honeycomb composite front panel, the highest stress value was found to be 391 MPa, the displacement value was 29 mm, and the strain energy was 286 mJ. Considering the data obtained, it was concluded that polypropylene honeycomb composite front panel could not provide the necessary properties, while aluminum honeycomb composites were applicable

**Keywords:** Trailer, Composite, Honeycomb, Bulkhead, Finite Element Analysis (FEA).

\* Corresponding Author: [mirac.mutlu@tirsan.com](mailto:mirac.mutlu@tirsan.com)

## 1. Giriş

Günümüzde taşımacılık sektörü her geçen gün yapılan yatırımlar ve araştırmalar sayesinde büyümektedir. İnsan hayatı için önem arz eden bir yerde bulunan bu sektörünün %75'lik kısmını ise karayolları taşımacılığı oluşturmaktadır. (Schellens) Kara yolları taşımacılığı hızlı operasyonlar sağlayabilmesi, finansal açıdan uygunluğu gibi pek çok avanta sahiptir. Kara yolları taşımacılığında en yaygın kullanılan taşıma araçları ise yarı römorklar olarak da adlandırılan treylerlerdir. Treyler, bir kısmı motorlu taşıt veya araç üzerine oturan, taşıdığı yükün ve kendi ağırlığının bir kısmı motorlu araç tarafından taşınan römorklardır. (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2022) Taşıdıkları yükün niteliğine bağlı olarak pek çok çeşidi bulunan treylerler akaryakıt, gıda, kuru yük, tekstil endüstrisi gibi pek çok alanın ihtiyaçlarını karşılayabilmektedirler. Treylerler taşıdıkları yüklerin cinslerine ve konstrüksiyonlarına bağlı olarak kendi içlerinde özel isimlendirilmişlerdir. Örnek olarak Şekil 1'de gösterilen tenteli perdeli treylerler üstyapıları; ön panel ve arka kapıdan oluşan, aracın yan ve üst kısmının perde ile kapatılmış olan bir treyler tipidir. Tenteli perdeli araçlar genellikle kuru yük taşımacılığında tercih edilmesine karşın depolanmış sıvılar (ör. şişe suları vb.) taşıyabilmesi yönünden geniş ürün yelpazesine hitap etmektedirler. Bu avantajları sayesinde de kendisini treyler pazarındaki en büyük paya sahip treyler çeşidi yapmaktadır.

Treylerlerin, çeşitli uluslararası ve yurt içi yönetmeliklerin denetimleri altında karayollarında kullanılmalarına izin verilmektedir. Karayolları Trafik Yönetmeliği'nin 128.maddesine göre araçların boyu, ağırlıkları ve aynı yönetmeliğin 134.maddesinde yer alan yüklenme koşulları vb. çeşitli tasarımsal, yükleme vb. sınırlandırmalarına ve gereksinimlere tabii tutulmaktadır.

Treyler üreticileri, taşımacılık yönetmelikleri gereksinimlerine uyarak pazarda kendilerine pay bulabilmek adına müşteriler için en uygun treyleri üretilmesine çalışmaktadırlar.

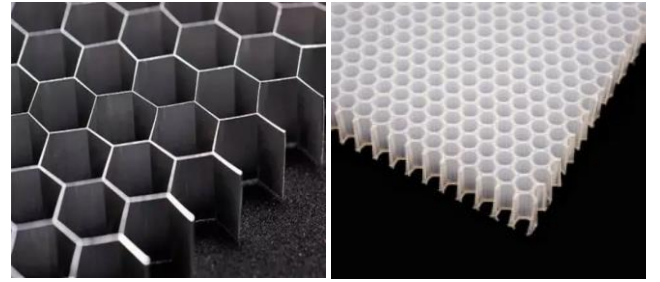


Şekil 1. Tenteli Perdeli Treyler (Tirsan, 2022)

Çalışma kapsamında incelenen tenteli perdeli treylerler ön panelleri için çeşitli yük emniyeti sertifikasyonları bulunmaktadır. Ülkemizde ve Avrupa'da kabul görülen TS EN 12642 (Türk Standartlar Enstitüsü, 2016) treyler sertifikasyonları arasında gövde yapılarını kapsamaktadır TS EN 12642 sertifikasyonu treylerlerin tüm gövde yapılarının asgari koşullarını ve sertifikasyon için uygulanması gereken test parametrelerini belirtmektedir. Temel olarak ön panellere uygulanan testler statik ve dinamik olarak iki başlık altında gerçekleştirilmektedir. Ön panellerin sertifikasyonunun tamamlanması için her iki testten de başarılı olmaları gerekmektedir.

Rekabetin yüksek olduğu treyler pazarında; minimum net araç ağırlığı, maksimum iç hacim ve birden fazla fonksiyona sahip bir araç olma özelliğinin gerçekleştirilebilmesi (Schellens) araçların diğer alternatiflerinden ayrılmasını sağlamaktadır. Otomotiv sektöründe malzeme açısından kompozitlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Kompozitler yüksek dayanım-ağırlık oranı, termal izolasyon olarak kullanılabilmeleri, yüksek enerji sönüm kapasiteleri ve yüksek çeşitliliğe sahip olmaları gibi özelliklerinden dolayı konvansiyonel malzemelerin yerine otomotiv sektöründe yaygın kullanılmaya başlanmış ve üzerine pek çok akademik çalışma yapılmıştır. (Zinno, 2011), (Gao, 2020) H. Schellens arkadaşları (Schellens) yaptıkları çalışmada, sandviç kompozit paneller ile treyler tasarımı üzerine çalışmış, maliyette ciddi artışlara sebebiyet vermeden, aracın taşıma yükünün ve fonksiyonelliğinin artırılabilceği sonucuna varmıştır. J. Galos, (Hou, 2022) treyler tabanlarında genellikle ahşap olarak tercih edilen döşemelerin sandviç kompozit alternatiflerini değerlendirmiştir.



Şekil 2. Sol Alüminyum (Pentour Honeycomb Online Store, 2022), Sağ Poliptopilen (Made-in-China, 2022) Balpeteği

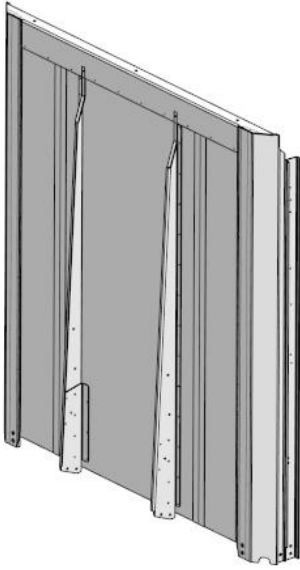
Yapılan literatür çalışmasında balpeteği sandviç kompozitler akademik ve sektörel çevrede üzerine yoğunlaşılacak, önemli bir alan olduğu görülmektedir. Balpeteğinin yapısı ve malzemesindeki çeşitlilik, levha olarak hem konvansiyonel hem ileri teknoloji malzemelerinin kullanılabilmesi, hafiflik ve bu özelliğe bağlı CO2 emisyonunda azalması, bu tip kompozitlerde istenilen özelliklerin bir arada bulunmasını sağlamaktadır. Otomotivde kullanılan balpeteği kompozitler üzerine çokça çalışmıştır: 2011 yılında A. Zinno, (Zinno, 2011) ulaşım araçları için fenolik emdirilmiş balpeteği sandviç yapıların deneysel karakterizasyonu gerçekleştirmiş, çevresel faktör etkileri ve dezavantajları en aza dindirebilmek üzere tasarım parametrelerine değinmiştir. 2020 yılında X. Gao, (Gao, 2020) otomotiv ve inşaat sektörlerinde kullanılan termoplastik balpeteği sandviç kompozitlerin eğilme yükü altında deneysel, sonlu elemanlar analizi verilerini karşılaştırmıştır. W. Hou, (Hou, 2022) karbon fiber balpeteği kompozitlerin motor kaputu tasarımında uygulanması üzerine çalışmış referans alınan alüminyum alaşım motor kaputu yapısı ile karşılaştırıldığında, daha iyi sertlik performansı koşuluyla optimal yapının ağırlığı %61,8 azaltılmasını sağlamıştır.

Balpeteği yapıları üretildikleri malzemelerin özelliklerini taşıyıcılar dahi yapısal tasarımları gereğince izotropik olan malzemelere ortotropik özellikleri kazandırmaktadırlar. Temelde ortotropik malzemelerin dokuz adet elastiklik sabiti bulunmaktadır. Çeşitli çalışmalarda mühendislik sabitleri olarak da adlandırılan Elastiklik Modülü (E), Poisson Oran (ν) Kayma Modülü (G) kullanılmakta olup bu sabitler uzaydaki koordinatlarına bağlı olarak değişiklik gösterdiklerinden dolayı kendi içerlerinde varyasyonlara sahiptirler. Bu sabitler:  $E_1, E_2, E_3, \nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}, G_{12}, G_{13}, G_{23}$  olarak simgesel olarak



nitelendirilmektedirler. Mühendislik sabitlerinin sayısal hesaplanmasını araştıran pek çok çalışmalar vardır, ancak bir balpeteği malzemesi için dokuz elastik sabitin tamamını veren bir çalışma bulmak zordur. (Andrew, 2022) Literatürde konuyla ilgili çok farklı çalışmalar bulunmasına karşın, malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi adına yapılan hesaplamalar benzer teorilere dayanmaktadır. Bu analitik hesaplamalarda sürekli formülasyonlar ve malzemenin mukavemetine dayalı çeşitli giriş teorileri içeren modeller esas alınarak yapılmaktadır. (Aydıncak, 2007) Ortotropik malzemelerin mühendislik sabitlerinin analitik hesaplanması üzerine; Kelsey (Kelsey, 1958), Master ve Evans (Masters ve Evans, 1996), Zhang ve Ashby (Zhang ve Ashby, 1992), Qunli Liu (Liu, 2007) Jones and Burgess (Jones and Burgess, 1979) ve E. Nast (Nast, 1997) araştırmacıların çalışmaları bulunmaktadır.

Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Treyler Ön Panellerine Uygulanabilirliğinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelemesi adlı çalışmamızda, ön panellerde mevcut durumda kullanılan konvansiyonel alüminyum malzemenin yerine, mukavemeti daha yüksek, gelen yükleri absorbe edip plastik deformasyona uğramayan, daha hafif bir balpeteği kompozit uygulanması hedeflenmektedir. Bu istenilen geliştirmeler sayesinde komponentin genel yapısında mukavimlik, darbe dayanımı yüksek, hafif, yakıt tüketimini ve CO2 vb. zehirli gaz salınımının azalmasını sağlamış olacaktır.



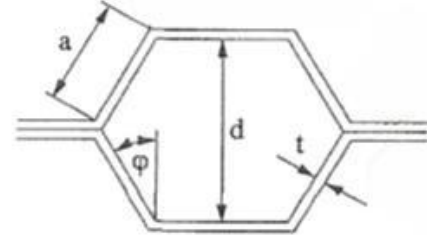
Şekil 3. 3D Modellenmiş Kompozit Ön Panel Komitesi

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada, iki farklı çekirdek ve levha yapısına sahip balpeteği sandviç kompozitinin treyler ön panellerine uygulanabilirliği incelenmiştir. Balpeteği yapılarının elastiklik davranışlarının belirlenmesi için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Aynı özellikler ANSYS programının “Material Designer” modülünden de hesaplanarak doğrulanmıştır. Malzemelerin treyler ön paneline basitleştirilmiş Şekil 3’de gösterilen 3D modelleri Creo Parametrik uygulamasında gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise elde edilen tüm veriler kullanılarak ANSYS programının “Static Structural” modülünde statik analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 2.1. Balpeteği Sandviç Kompozit

İncelenen farklı iki kompozit, polipropilen balpeteği, S320 çelik levhadan ve 3005 H19 alüminyum 0,005 mm folyodan üretilmiş balpeteği, 5457 H22 alüminyum sac levhadan imal edilmişlerdir. Şekil 4’te balpeteklerinin geometrik özellikleri; hücre kenar uzunluğu a, hücre genişliğine d, hücre kalınlığı t, ve balpeteği içi açısı  $\phi$  açısı gösterilmiş ve çalışmada incelenen balpeteklerinin geometrik değerleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 4. Altıgen Balpeteği Geometrik Yapısı (Andrew, 2022)

Tablo 1. Polipropilen ve Alüminyum Balpeteklerin Geometrik Ölçüleri

Balpeteği	a (mm)	d (mm)	t (mm)	$\phi$ (°)
Polipropilen	5,77	9,8	0,4	30
Alüminyum	5,65	10,39	0,05	30

## 2.2. Ortotropik Malzemelerin Elastiklik Sabitlerinin Sayısal Hesaplanması

Kompozit bileşenlerinden yüzeylerin izotropik özellikler gösterdiklerinden ötürü modellenmeleri malzemenin elastiklik sabitlerine bağlıdır. Balpeteği yapılar ise ortotropik özellikler göstermektedirler. Bu özelliklerinden ötürü balpeteklerinin gösterdiği tepki sadece malzemenin özelliklerine değil aynı zamanda çekirdek yoğunluğunun, çekirdeği oluşturan malzemenin yoğunluğuna olan oranına (Zinno, 2011) da bağlıdır. Çalışmada;  $E_1, E_2, E_3, \nu_{12}, G_{12}$  hesaplamaları için Master ve Evans’ın (Masters ve Evans, 1996),  $\nu_{23}, \nu_{13}, G_{23}$  hesaplamaları için Zhang and Ashby (Zhang ve Ashby, 1992), ve  $G_{13}$  hesaplaması için Quinli’nin (Liu, 2007) geliştirmiş oldukları sayısal hesaplama formülleri kullanılmıştır ve geliştirilen denklemler aşağıda verilmiştir.

$$E_1 = \frac{E}{\frac{\cos\phi}{(1+\sin\phi)} * \left[ \frac{\cos^2\phi * a^3}{t^3} + \frac{(2+\sin^2\phi) * t}{a} \right]} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{E}{\frac{(1+\sin\phi)}{\cos\phi} * \left[ \frac{\sin^2\phi * a^3}{t^3} + \frac{\cos^2\phi * t}{a} \right]} \quad (2)$$

$$E_3 = E * \frac{t}{a} \quad (3)$$

$$v_{12} = \frac{\sin\varphi * (1 + \sin\varphi)}{\cos^2\varphi} \quad (4)$$

$$G_{12} = \frac{G}{\frac{3+\cos\varphi}{(1+\sin\varphi)} * \frac{a^3}{t^2} + [\cos\varphi + a * \tan\varphi * (1 + \sin\varphi)] * \frac{a}{t}} \quad (5)$$

$$G_{23} = \frac{\cos\varphi}{(1 + \sin\varphi)} * \frac{t}{a} * G \quad (6)$$

$$G_{13} = \frac{(1 + \sin\varphi)}{2 * \cos\varphi} * \frac{t}{a} * G \quad (7)$$

### 2.3. Ototropik Malzemelerin Elastiklik Sabitlerinin Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) ile Hesaplanması

Balpeteği çekirdek yapısına sahip olan kompozitlerin bilgisayar analizlerinde modellenmesi oldukça karmaşık yapılar oluşturduklarından dolayı, kompozitlerin sürekli modelleme tercih edilmektedir. Bu tip modellemelerde tek tabakadan oluşan, yekpare bir yapı olarak gözüken model kullanılmaktadır. Yani başka bir deyişle, karmaşık hücresel geometriyi bir dizi etkili süreklilik özelliğine dönüştürür. Oluşturulan model direkt olarak balpeteği yapının yerini alacağından yapılan hesaplamalar analiz sonuçlarının deneysel değerlerle eş olabilmesi adına kritik önem taşımaktadırlar.

Bu çalışmada ortotropik malzemelerin elastiklik sabitlerinin elde edilebilmesi için ANSYS programının “Material Designer” modülü kullanılmıştır. Material Designer modülünde temsili hacim ögesi (RVE) bulunmaktadır. Modül oluşturulan modele atanan izotropik malzemenin çeşitli yüklemeler altında gösterdiği tepkileri sonlu elemanlar yöntemi ile analiz eder. Elde ettiği sonuçlardan oluşturulan modelin malzemesini temsil eden, ortotropik elastik sabitlerinin hesaplanmasını sağlar. Ayrıca, bu elde edilen verilerle program içerisinde özel bir malzeme atanması da sağlanabilmektedir.

Material Designer modülü içerisinde balpeteği model için girdi olarak; balpeteğini oluşturan malzemenin izotropik özellikleri, balpeteği hücre kalınlığı t, hücre kenar uzunluğu a, hücre iç açısı  $\varphi$ , ve hücre boyu girilmesi gerekmektedir. Tüm değerler girildikten sonra program tarafından gerçekleştirilen sonlu elemanlar yöntemi analizi ile değerler elde edilmektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

Çalışmada incelenen alüminyum ve polipropilen balpeteği için B. Ortotropik Malzemelerin Elastiklik Sabitlerinin Sayısal Hesaplanması bölümünde verilen formülleri yardımıyla elastiklik sabitleri hesaplanmıştır. Elde edilen elastiklik modülleri Tablo 2’de, poisson oranı değerleri Tablo 3’te ve kayma modülü değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 2. Alüminyum ve Polipropilen Balpeteklerinin Sayısal Hesaplanan Elastiklik Modülleri

Balpeteği	$E_1$ [MPa]	$E_2$ [MPa]	$E_3$ [MPa]
Polipropilen	0,70	0,70	63,1
Alüminyum	0,11	0,12	610

Tablo 3. Alüminyum ve Polipropilen Balpeteklerinin Sayısal Hesaplanan Poisson Oranları

Balpeteği	$\nu_{12}$	$\nu_{23}$	$\nu_{13}$
Polipropilen	1	0	0
Alüminyum	1	0	0

Tablo 4. Alüminyum ve Polipropilen Balpeteklerinin Sayısal Hesaplanan Kayma Modülleri

Balpeteği	$G_{12}$ [MPa]	$G_{23}$ [MPa]	$G_{13}$ [MPa]
Polipropilen	0,43	15,4	19
Alüminyum	0,20	132	119,2

ANSYS programının Material Design modülü kullanılarak elde edilmiş mühendislik sabitleri, elastiklik modülleri değerleri Tablo 5’te, poisson oranı değerleri Tablo 6’da, kayma modülü değerleri Tablo 7’de bulunmaktadır.

Tablo 5. Alüminyum ve Polipropilen Balpeteklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplanan Elastiklik Modülleri

Balpeteği	$E_1$ [MPa]	$E_2$ [MPa]	$E_3$ [MPa]
Polipropilen	0,87	0,87	71,4
Alüminyum	0,12	0,12	703,2

Tablo 6. Alüminyum ve Polipropilen Balpeteklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplanan Poisson Oranları

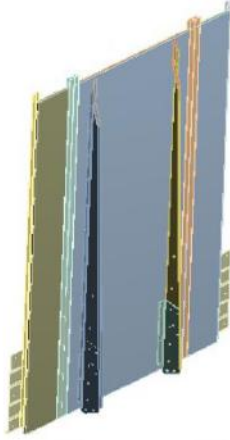
Balpeteği	$\nu_{12}$	$\nu_{23}$	$\nu_{13}$
Polipropilen	0,977	0,0052	0,0052
Alüminyum	0,999	0,0006	0,0006

Tablo 7. Alüminyum ve Polipropilen Balpeteklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplanan Kayma Modülleri

Balpeteği	$G_{12}$ [MPa]	$G_{23}$ [MPa]	$G_{13}$ [MPa]
Polipropilen	0,22	13,02	13,02
Alüminyum	0,31	133	133

Sayısal ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile elde edilen balpeteklerinin ortotropik malzeme sabitleri ile balpeteği yapısının sürekli modeli Creo programında oluşturulmuştur. Hazırlanan model ile kompozitin yüzeyi de modellenerek nihai kompozit modellenmesi yapılmıştır. Modellenen her iki kompozit de Şekil 3’te gösterilen treyler ön panelinin 3D modeline uygulanmıştır.

Elde edilen model, ANSYS programına aktarılarak analiz için bazı komponentler Şekil 5'te gösterildiği şekilde montajdan çıkarılmıştır. Static Structural modülünde ön panelin statik analizler gerçekleştirilmiştir.

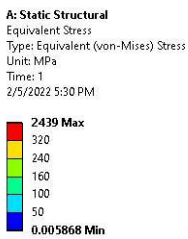


Şekil 5. Ön Panelin FEA İçin Basitleştirilmiş 3D Modeli

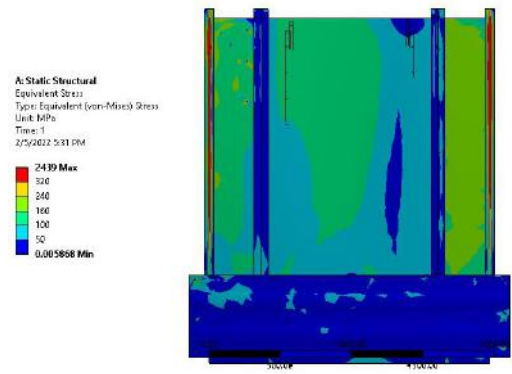
Treyler ön panellerini de kapsayan bir regülasyon olan TS EN 12642'de (Türk Standartlar Enstitüsü, 2016) statik yük altındaki dayanım değerleri belirtilmiştir. Bu regülasyon gereğince toplam yükün, tenteli perdeli araçlar için 30 ton, yarısı panel yüzeyinin ¾ uygulanması gerekmektedir. Çalışmada TS EN 12642 regülasyonu gereksinimleri göz önüne alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.1. Gerilme Dağılımı

Polipropilen balpeteği ve S320 yüzeye sahip kompozitin ön panele uygulanması ile en yüksek gerilme 2439 MPa ile panelin orta kısmında takviye krosu ile bağlanan kısımda meydana gelmiştir. Panelin alt ve orta kısımlarında kompozit levha malzemesinin gerilmesin S320 malzemesinin akma gerilmesine yakın olmasına karşın üst kısımlarında okunan değerlerin hayli üzerinde olduğu Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.

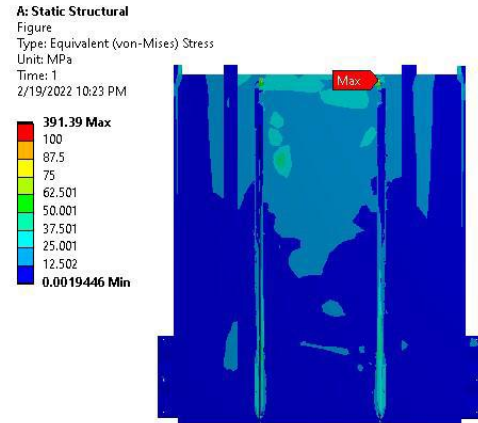


Şekil 6. Polipropilen Balpeteği Kompozit Ön Panel Ön Yüzeyindeki Gerilme Dağılımı

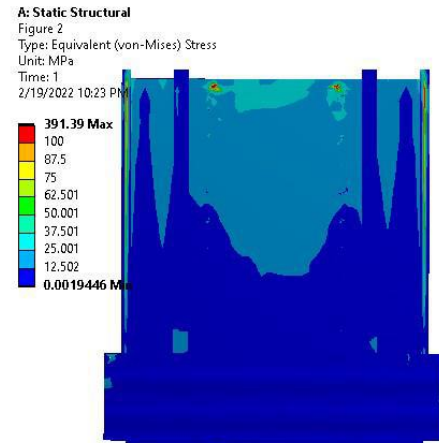


Şekil 7. Polipropilen Balpeteği Kompozit Ön Panel Arka Yüzeyindeki Gerilme Dağılımı

Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen alüminyum balpeteği kompozit ön panele yapılan analiz ile panel üzerindeki en yüksek gerilme 391,4MPa ile panelin orta kısmında takviye krosu ile bağlanan kısımda meydana gelmiştir. Panel yüzeyinde stres dağılımı 40 ile 120 MPa arasında değişiklik göstermektedir.



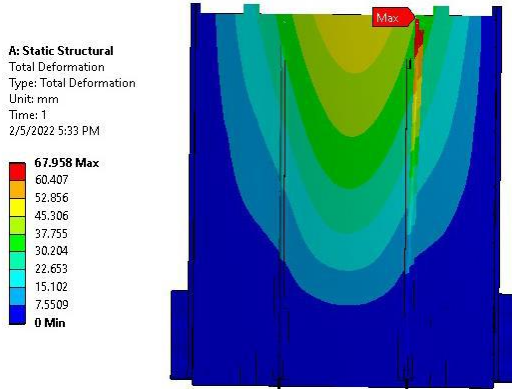
Şekil 8. Alüminyum Balpeteği Kompozit ile Modellenen Ön Paneldeki Arka Yüzeyindeki Gerilim Dağılımı



Şekil 9. Alüminyum Balpeteği Kompozit ile Modellenen Ön Paneldeki Ön Yüzeyindeki Gerilim Dağılımı

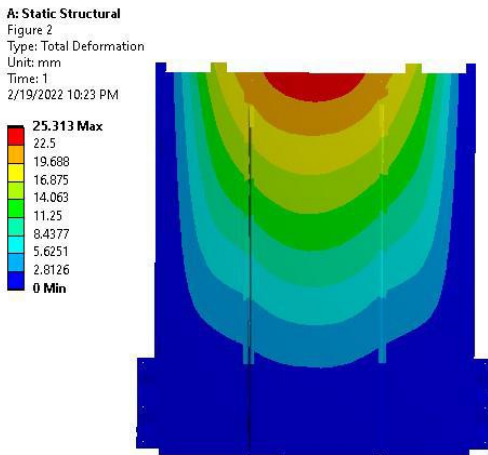
### 3.1.2. Deplasman Değeri

Analizin bir diğer çıktısı olarak deplasmana bakılmıştır. Şekil 10'da polipropilen balpeteği kompozit panelde en yüksek deplasman takviye krosunun üzerinde gözlemlenmiş ve bu değer 68mm olarak bulunmuştur.



Şekil 10. Polipropilen Balpeteği Kompozit Ön Paneldeki Deplasman Değerleri

Alüminyum balpeteği kompozit ön panelde Şekil 11'de görüldüğü gibi en yüksek deplasman, panelin kritik orta üst kısmında meydana gelmiş olup 29,31mm değeridir.

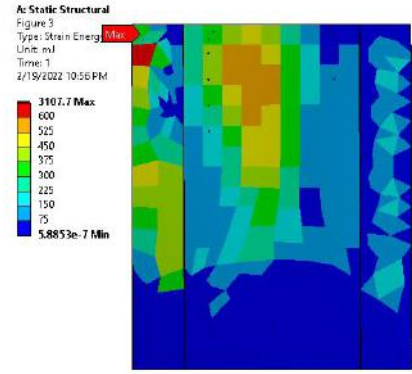


Şekil 11. Alüminyum Balpeteği Kompozit Ön Paneldeki Deplasman Değerleri

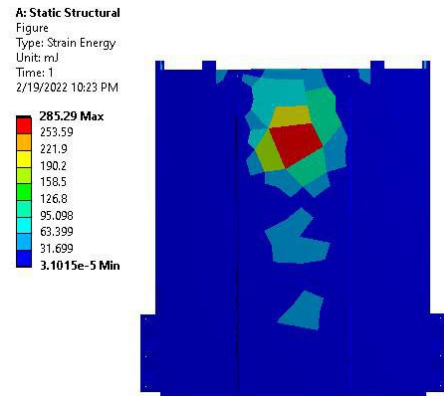
### 3.1.3. Gerinim Enerjisi

Analiz sonucunda gerinim enerjisi de çıktı olarak incelenmiştir. Polipropilen balpeteği kompozit ön panelde elde edilen verilerde en yüksek değer olarak 3107.7 mJ Şekil 12'de gözlemlenmiştir. Panelin kritik olarak değerlendirilen orta üst kısmında ise değer 500 ile 650 mJ değerlerinde olduğu hesaplanmıştır.

Şekil 13'te gösterilen alüminyum balpeteği kompozite ise en yüksek değer olarak 285,29 mJ gözlemlenmiştir. Panelde depolanan en yüksek enerjinin panelin üst orta kısmında olduğu ve panelin gerilme enerjisinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 12. Polipropilen Balpeteği Kompozit ile Modellenen Ön Paneldeki Gerinim Enerjisi



Şekil 13. Alüminyum Balpeteği Kompozit ile Modellenen Ön Paneldeki Gerinim Enerjisi

## 3.2. Tartışma

Sonlu Elemanlar yöntemi ile elde edilen ortotropik malzeme sabitleri verileri ve sayısal hesaplama verileri karşılaştırıldıklarında kendi içerlerinde tutarlılık sağladıkları gözlemlenmiştir. Bu durumda elde edilen verilerin uygulanabilir olduğuna karar verilmiş, yapılan analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen veriler ile devam edilmiştir.

Polipropilen balpeteğinin E1 ve E2 yönlerindeki elastiklik modülleri, malzemenin kendi izotropik elastiklik modülü alüminyumdan düşük olmalarına rağmen yüksek çıkmıştır. Bunun başlıca sebebi polipropilen balpeteği kalınlığının alüminyuma göre daha yüksek olmasından dolayıdır. E3 G23 ve G13 değerine baktığımızda ise alüminyumun polipropilene karşı üstün olduğu gözükmektedir. Treylelerin yapısı ve kompozitlerin konumlandırılmalarından kaynaklı olarak yük ve darbe direkt olarak 3 yönünden gelmektedir. Alüminyumun 3 yönündeki elastiklik ve kesme sabitlerinin daha yüksek olmasından dolayı alüminyum balpeteği daha uygulanabilir bir yapıya sahip olduğuna kanaat getirilmiştir.

Polipropilen balpeteğine sahip kompozitin uygulandığı ön panelin analizleri incelendiğinde, gerilme değerleri kompozitin yüzeyini oluşturan S320 çeliğinin akma gerilmesi değerlerinin oldukça üzerinde olduğu saptanmıştır, bu durumda kesinlikle panelin üzerinde plastik deformasyon gözlemlenecektir. Elde edilen analiz sonuçlarında deformasyon değerleri en yüksek 68mm olarak bulunmuştur. Bu değer her ne kadar TS EN 12642 regülasyonunda verilen deformasyon aralığında olsa dahi gerilme değerlerinde görülen 2500 MPa değerinde deformasyonun bu

seviyelerde kalamayacağı, daha önce bahsedildiği gibi plastik deformasyonla panelde kırılmanın gerçekleşeceği ön görülmektedir. Panellerin absorbe ettiği gerinim enerjisi incelendiğinde alüminyum balpeteğine göre oldukça yüksek değerler elde edilmiştir.

Alüminyum balpeteği sandviç kompozit ile yapılan ön panelin analiz sonuçlarına bakıldığında elde edilen veriler uygulanabilirlik açısından olumlu olduğu değerlendirilmiştir. Diğer bir değişle, ön panelde yük sonrası oluşan gerilmeler alüminyum balpeteği ve levhalarının dayanım gösterebileceği değerler oldukları ifade edilmiştir. Elde edilen maksimum gerilme değeri, panel ile takviye krosu bağlantısında gerçekleşmektedir. Krosun bağlantı tipi veya krosun kendi yapısında tasarimsal değişiklikler yapılarak bu gerilmenin bölgede dağıtılabilmesi ön görülmektedir. Panelin genelinde 10 ile 50 Mpa arasında değişiklik gösterdiğinden gerilme değerleri kullanılan alüminyum plakanın akma gerilmesi değeri altında değerler olduğundan bu yapının uygulanabilir olduğunun bir göstergesidir. Analiz sonucu elde edilen maksimum deformasyona bakıldığında ise oldukça küçük bir değer elde edildiği görülmekte olup TS EN 12462 test değerleri deformasyon aralığında bulunduğu deformasyon açısından malzemenin panele uygulanabilirliği üzerine bir olumsuzluğu olmadığı saptanmıştır. Panelin gerilme enerjisi değerlerine bakıldığında metal malzemeden üretilen balpeteklerinden beklenildiği üzere enerji absorbe değeri düşük olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuç

İki farklı balpeteği kompozit panellere uygulanan analizler sonucunda; polipropilen balpeteği sandviç kompozitin treyler ön panellerine uygulanabilir olmadığı saptanmıştır. Polipropilen balpetekli kompozitlerin uygulanabilmesi için yüzey ve kompozitin genel kalınlıkları artırılması gerekmektedir. Bu durumda, ön panelin treylerin iç kısmına sarkmasından ötürü araç içi hacmin azalmasına, panelin toplam ağırlığında artış gibi dezavantajları oluşturmaktadır.

Alüminyum balpeteği sandviç kompozitlerin treyler ön panellerine dayanıklılıkları ve hafiflikleri sayesinde uygulanabileceği analizlerle ortaya konmuştur.

#### 5. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada vermiş oldukları desteklerinden dolayı Tırsan Treyler San ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerini sunar.

#### Kaynakça

- Schellens, H., Peijs, T. Design of A Multi-Functional Semitrailer Using Structural Sandwich Panels, Eindhoven University of Technology, Hollanda.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, (2022), Karayolları Trafik Yönetmeliği, Erişim adresi <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=8182&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Tırsan Treyler, Tenteli Perdeli, Erişim adresi <https://tirsan.com.tr/perdeli-ve-tenteli-13-c/mega-25-c>
- Türk Standartlar Enstitüsü, (2016), Karayolu Taşıtlarında Yük Emniyeti-Ticari Araçların Gövde Yapısı-Asgari Gereklere, (TS EN 12642), ICS 43.080.10.
- Zinno, A., Prota, A., Di Maio, E., Bakis, C. E., (2011) Experimental Characterization of Phenolic-Impregnated

- Honeycomb Sandwichstructures for Transportation Vehicles, Department of Structural Engineering, University of Naples, İtalya.
- Gao, X., Zhang, M., Huang, Y., Sang L., Hou, W., (2020) Experimental and Numerical Investigation of Thermoplastic Honeycomb Sandwich Structures Under Bending Loading, School of Automotive Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, 116024, Çin.
- Galos, J., Sutcliffe, M., Newaz, G., (2016), Design, Fabrication and Testing of Sandwich Panel Decking For Use In Road Freight Trailers, Department of Engineering, University of Cambridge, Journal of Sandwich Structures and Materials, Trumpington Street, Cambridge CB2 1PZ, BK.
- Hou, W., Shen, Y., Jiang, K., Wang, C., (2022), Study On Mechanical Properties Of Carbon Fiber Honeycomb Curved Sandwich Structure And Its Application In Engine Hood, School of Automotive Engineering, State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Çin.
- Pentour Honeycomb Online Store, Erişim adresi <https://www.furrental.com/product/aluminium-honeycomb-core/>
- Made-in-China, Erişim adresi <https://cngwit.en.made-in-china.com/product/SXanUxNkYhpW/China-Environment-Friendly-Polypropylene-Honeycomb-Core-with-Non-Woven-Fabric.html>
- Andrew, J., Schneider, J., Schiffer, A., Hafeez, F., (2022), Dynamic Crushing of Tailored Honeycombs Realized Via Additive Manufacturing, Department of Mechanical Engineering, Khalifa University of Science and Technology, Abu Dhabi.
- Aydıncak, İ., (2007) Investigation of Design and Analyses Principles of Honeycomb Structures, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University. Türkiye.
- Kelsey S., Gellatly R. A., Clark B. W., (1958) The Shear Modulus of Foil Honeycomb Cores, Aircraft Engineering., Vol. 30.
- Masters I. G., Evans K. E., (1996), Models for the Elastic Deformation of Honeycombs, Composite Structures, Vol. 35.
- Zhang J., Ashby M. F., (1992), The Out-of-Plane Properties of Honeycombs Int. J. Mech. Sci., Vol. 34, No. 6.
- Liu Q, Zhao Y., (2007), Effect of Soft Honeycomb Core on Flexural Vibration of Sandwich Panel using Low Order and High Order Shear Deformation Models, Journal of Sandwich Structures and Materials, Vol. 9.
- Abd-el-Sayed F., Burgess I.W., Jones R., (1979), A Theoretical Approach to the Deformation of Honeycomb-Based Composite Materials, Composites.
- Nast E., (1997), On Honeycomb-Type Core Moduli, AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Forum, Kissimmee, FL, Apr. 7-10.



# İnsansız Hava Araçlarında Gömülü Sistem Üzerinden Derin Öğrenme ile Nesne Tespiti

Ziya Saygılı<sup>1\*</sup>, Güzin Özmen<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3282-0946), [ziyasaygili@gmail.com](mailto:ziyasaygili@gmail.com)

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3007-5807), [gozmen@selcuk.edu.tr](mailto:gozmen@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081713)

**ATIF/REFERENCE:** Saygılı, Z. & Özmen, G. (2022). İnsansız Hava Araçlarında Gömülü Sistem Üzerinden Derin Öğrenme ile Nesne Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 292-298.

## Öz

Hava robotiği olarak adlandırılan insansız hava araçları (İHA), afet yönetimi, trafik yoğunluğu ve sınır güvenliği gibi sivil ve askeri alanlarda veri ve görüntü toplamak için son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Kamera görüş açısının değişkenliğinden dolayı İHA ile yüksek irtifada alınan görüntüler üzerinden anlık nesne tespiti yapmanın zorlukları vardır. Bu çalışma İHA'ya CSI (Camera Serial Interface) modülü ile bağlanmış bir kameradan, farklı açı ve koşullarda alınan görseller ile Evrişimli Sinir Ağı tabanlı SSD MobileNet kütüphanesi kullanılarak nesne tespit etmeyi amaçlamaktadır. İHA üzerinden kamera ile elde edilen görüntüler NVIDIA Jetson Nano gömülü sistem bilgisayarı ile işlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Gerçek zamanlı hedef tespitinde karşılaşılan problemlerin başında, değişken hava koşulları ve aydınlatma sebebiyle düşük çözünürlüklü elde edilen hareketli nesnelerin sınıflandırılması yer almaktadır. Bu duruma derin öğrenme kütüphanesinde yer alan öğrenilmiş görsellerle, kameradan alınan görseller arasındaki yakın özellikli veriler eşleştirilerek çözüm aranmaktadır. Bu çalışmada gömülü sistem içerisinde bir algoritma oluşturularak elde edilen görüntüler üzerinde düzenleme yapılmış, derin öğrenme kütüphanesi ile özellik karşılaştırma işleminin ardından elde edilen çıktılar nesne sınırı ve mAP (mean Average Precision) ortalama hassasiyet yüzdesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, İHA üzerinden alınmış gerçek zamanlı görsel verilerden insan tespiti için %95.5 mAP son kesinlik ve %69.45 mAP ortalama hassasiyet, araç tespiti için %83.4 mAP son kesinlik ve %64.5 mAP ortalama hassasiyet elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İHA, Nesne Tespiti, Derin Öğrenme, Gömülü Sistem, SSD MobileNet

## Object Detection with Deep Learning using Embedded System in Unmanned Aerial Vehicles

### Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs), called aerial robotics, have been frequently used recently to collect data and images in civilian and military areas such as disaster management, traffic density and border security. Due to the variability of the camera view angle, there are difficulties in making instant object detection on the images taken at high altitude with the UAV. This study aims to detect objects from a camera connected to the UAV with the CSI (Camera Serial Interface) module using images taken at different angles and conditions and a Convolutional Neural Network-based SSD MobileNet library. The images obtained with the camera via the UAV were processed and classified with the NVIDIA Jetson Nano embedded system computer. One of the problems encountered in real-time target detection is the classification of moving objects with low resolution due to variable weather conditions and lighting. A solution to this situation is sought by matching the close-featured data between the learned images contained in the deep learning library and the images from the camera. In this study, the images obtained by creating an algorithm in the embedded system were edited, and the outputs obtained after the feature comparison process with the deep learning library were evaluated using the object boundary and mAP (mean Average Precision) average precision percentage. As a result, 95.5% mAP final accuracy and 69.45% Map average accuracy for human detection, 83.4% mAP final accuracy and 64.5% mAP average accuracy for vehicle detection were obtained from real-time visual data received from the UAV.

**Keywords:** UAV, Object Detection, Deep Learning, Embedded System, SSD MobileNet

\* Sorumlu Yazar: [ziyasaygili@gmail.com](mailto:ziyasaygili@gmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzde derin öğrenme tabanlı nesne tespiti çalışmaları büyük ilgi görmektedir. Sabit kameralar ile kısıtlı açılarda görüntü almanın yetersiz kaldığı durumlarda, birden fazla nesnenin tespit edilmesi gerektiğinde ve büyük ölçekli görüntü verilerinin toplanmasına ihtiyaç duyulduğunda İnsansız hava araçları (İHA) tercih edilmektedir. İHA endüstrisinin hem askeri hem de sivil operasyonlarda geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır [1]. Pistisiz kalkış ve iniş, hedefe yönelik operasyon ve geniş çalışma alanı gibi etkinlik avantajları ile en yaygın kullanılan İHA tipi olan çok rotorlu İHA' lar [2], askeri görevler, afet kurtarma, eğimli fotoğraf görüntüleme, tarımsal uygulamalar, lojistik ulaşım, keşif [3], şehirdeki araçların belirlenmesi [4], orman yangınlarının belirlenmesi [5], sınır güvenliği [6], kaçakçılıkla mücadele [7], tehlike tespiti [8], hassas tarım [9] gibi alanlarda fayda sağlamaktadır.

Günümüzde görüntü tabanlı sistemler, ortam modellemesi, insan eylemine bağlı olay tanıma, hedef ve nesne algılama üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Aynı zamanda İHA' lara dayalı sivil ve askeri faaliyetlerin desteklenmesiyle birlikte insan-drone iş birliğinde yeni bir dönem başlamaktadır [10].

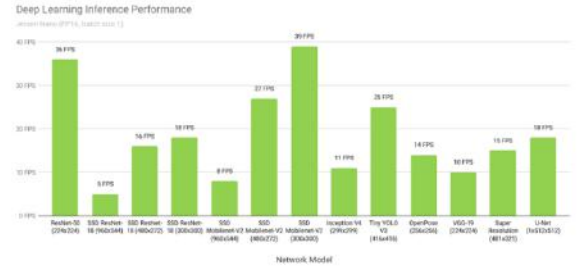
Nesne tanıma, video veya fotoğraflardaki verilerin tanımlanmasına yarayan bilgisayarla görme olarak da anılan bir uygulamadır. Kameralar ile elde edilen görsel verilerdeki nesnelerin varlığını belirlemek ve sınıflandırmak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları YOLO (You Only Look Once), Dense MobileNet, RetinaNet, SSD-MobileNet (Single Shot Detector), R-CNN (Region with Convolutional Neural Networks), Faster R-CNN ve TensorFlow olarak bilinmektedir.

Yapılan literatür araştırmasına göre, Piao ve arkadaşları (2020) çalışmalarında İHA üzerinden almış oldukları video görüntüleriyle YOLO (You Only Look Once) yöntemini kullanarak insan tespiti işlemi yapmışlardır. Sonuçlarını ortalama hassasiyet birimi olan mAP (mean Average Precision) ile değerlendirmişler ve insan için %68.86 mAP elde etmişlerdir [11]. Yu ve ark. (2021) çalışmalarında, VisionDrone ile araçların dağılımını gösteren yoğunluk haritası oluşturmuşlardır. Böylece araçların o bölgeye dahil olup olmadığını DMNet veri seti ile tespit etmişlerdir. Sonuç olarak araçlarda %51.7 ortalama hassasiyet (mAP) elde etmişlerdir[12]. Donahue ve ark. (2014) DeCAF (Deep Convolutional Activation Feature) yöntemi ile sabit bir görsel üzerinden hayvan tanıma işlemi yapmış, hayvanların nesne etiketli veri tabanından faydalanarak % 40.94 ortalama hassasiyet (mAP) elde etmişlerdir [13]. Ngiam ve ark. (2019) LİDAR teknolojisine katkı sağlamak için LİDAR' ın görsel haritalarından aldıkları yaya görüntülerini StarNet kütüphanesinde değerlendirmişlerdir. Kullandıkları bu kütüphane ile yaya tespitinde %66.8 ortalama hassasiyet (mAP) sonucunu ortaya koymuşlardır [14]. Ouyang ve ark. (2015) ise almış oldukları görsellerdeki dairesel nesnelerin görüntü işlemeden sonra kayıplara ve deformasyonlara uğradığını fark etmişlerdir. Önermiş oldukları DeepID-Net kütüphanesi ile nesne tespit analizlerinde golf topu ve teker gibi dairesel nesnelere %50.7 ortalama hassasiyet (mAP) elde etmişlerdir [15].

Bu çalışmada nesne tespiti gerçekleştirmek için yüksek mobilite eğilimi ve coğrafi kısıtlama olmaksızın video verilerinin biriktirebilmesi özelliklerinden dolayı İHA tercih edilmiş ve kamera ile elde edilen anlık görsellerden gömülü sistem üzerinden Evrişimli Sinir Ağları (CNN) yöntemi ile sınır belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gömülü sistem ve kütüphanelerinde

CNN'nin yeterli katman ve düğüm noktasının olmaması derin öğrenme yöntemlerinde hareketli hedef/nesne tanıma için yetersiz kalmaktadır [16]. Bu amaçla, bu çalışmada CNN katman ve düğüm noktasının düzenlenebileceği Nvidia Jetson gömülü sistem bilgisayarı kullanılmış, içerisine nesne tespiti ve sınıflandırmada başarılı olan SSD MobileNet Kütüphanesi eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar mAP (mean Average Precision) ortalama hassasiyet ile değerlendirilmiştir.

Şekil 1'de Jetson Nano Derin Öğrenme Kütüphane Performanslarının kıyaslanması görülmektedir.



Şekil 1. Jetson Nano Derin Öğrenme Kütüphane Performansları [17]

Şekil 1'de görüldüğü gibi SSD MobileNET 39 fps görüntü performansı ile diğerlerinden avantajlı olması sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. İnsansız Hava Aracı

İHA üzerinden nesne tespiti yapılmasının en büyük avantajı, sabit kameraların aksine yüksek hareket kabiliyetine sahip olması ve geniş gözetim yapabilesidir.

Bu çalışmada kullanılan ve Şekil 2' de görülen İHA' da uçuş kontrolünü sağlayan 6 eksenli bir gyro, manometre ve IMU (Atalet Ölçüm Birimi) sensörleri yer almaktadır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan İHA

### 2.2. Gömülü Sistem

İHA üzerinde çalıştırılabilen gömülü sistemlerin geniş bir yelpazesi bulunmaktadır. Tercih edilecek gömülü sistemde derin öğrenme tekniği kullanılırken süreç boyunca verimliliğe ve planlamaya dikkat edilmelidir. Özellikle görüntü işleme kısmının optimize edilmesi ve çeşitli koşullar altında çalışan gömülü sistemde tek birimden görüntü işleme performansının sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla İHA' lar için genellikle Raspberry, TinkerBoard ve Nvidia gömülü sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler içerisinde Nvidia'nın grafik işlem biriminin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada segmentasyon işlemlerini hızlandıran 4 çekirdekli ARM işlemcisine ve Maxwell görüntü kartına sahip olmasından dolayı Nvidia Jetson Nano gömülü sistem birimi tercih edilmiştir (Şekil 3). Bu gömülü sistem küçük yapısı gereği İHA' lara sabitlenebilmektedir.

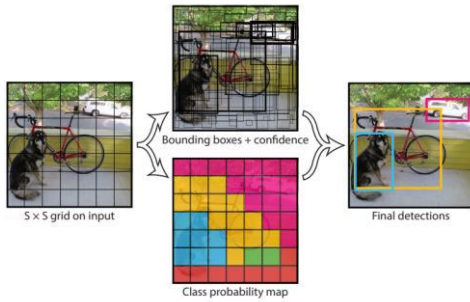


Şekil 3. Nvidia Jetson Nano [18]

NVIDIA'nın Jetson Nano geliştirme kiti platformu, bilgisayarlı görü modellerini verimli bir şekilde uygulamak için sinir ağı kütüphanelerini desteklemektedir. Bu sinir ağlarının kullanımını ise Grafik İşlem Biriminde (GPU) gerçekleştirmektedir [19]. Buna bağlı JetPack SDK yazılım ile uyumlu olması performans ve güç tüketimine katkı sağlamaktadır. Kart, özellikle 10 watt ve 5 watt olmak üzere iki güç modunu desteklemekte, her iki modda çeşitli CPU frekansları ve çekirdek sayısı için yapılandırılabilir özellikleri bulunmaktadır [20].

### 2.3. Evrişimli Sinir Ağları

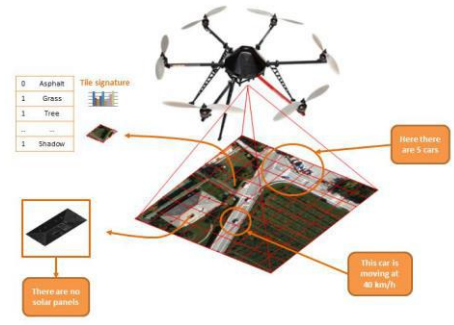
Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network, CNN), canlıların doğal görsel algılama mekanizmasından esinlenerek ortaya çıkarılmış derin öğrenme mimarisidir. 1990 yılında Le-Cun ve arkadaşları el yazısıyla rakamları sınıflandırabilen ve CNN'yi oluşturan bir sinir ağı geliştirmiştir [21]. Evrişimli sinir ağlarındaki temel mantık görüntüyü ölçeklendirmek ve görselde nesnenin olup olmadığını denetlemektir. Şekil 4' te yer alan görselde, nesne denetimi gerçekleştirildikten sonra eğitilmiş bir kütüphane ile sınıflandırma işlemi görülmektedir [22].



Şekil 3. Nesne Denetimi [23]

İHA içerisinde yer alan gömülü sistemler, yapay sinir ağlarını gerçek zamanlı çalıştırmaktadır. Buna bağlı olarak derin öğrenme yöntemlerinden hızlı sonuçlar alınmaktadır. Yakın zamana kadar, sinir ağlarındaki GPU gücüyle gerçek zamanlı çalışmanın mümkün olmadığı bilinmektedir.

Şekil 4'te İHA üzerinden alınan girdi örneğinin, kütüphanede bulunan eğitilmiş görsel veriler ile eşleştirilerek görüntüde sınıflandırma yapıldığı görülmektedir. Görüntü girdisindeki veriler gömülü sistem üzerinden işlenmektedir.



Şekil 4. İHA girdi örneği [24]

Genel olarak, derin öğrenme tabanlı nesne algılama algoritmaları iki aşamalı ve tek aşamalı nesne tespiti olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Tek aşamalı nesne tespitinde, nesne sınırlarını belirlemek için bir nesneden öznitelik çıkarılmaktadır. İki aşamalı nesne tespitinde ise, ağ her nesneden öznitelikler çıkarır, sınıflandırır ve sınır çizme işlemini gerçekleştirir. Bu amaçla çeşitli kütüphaneler kullanılarak yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bu yöntemler yüksek doğruluk gösterse de, genellikle yüksek işlem gücü oluşturmaktadır.

Gömülü sistemde kullanılmak üzere AttentionNet, SSD, YOLO, DarkNet gibi çeşitli kütüphaneler bulunmaktadır. Bu yöntemler, gerçek zamanlı nesne algılama işlemlerinde hem işlemde zaman kazancı hem de ortalama hassasiyet doğruluğu (mAP - mean Average Precision) sağlamaktadır. Bu kütüphaneler CNN' ler ile kullanıldığında işlem hızını artırmaktadır.

Şekil 3'te verilen nesne denetimini formülize edecek olursak, nesne tespit çizgileri  $d$ 'yi, yakalanan nesnedeki kabul edilen gerçek doğruluk  $g$ 'yi ve nesne sayısı  $K$ 'yı belirtmektedir. Birden fazla nesne tespiti olması durumunda vektör kümesi ( $y$ ), Eşitlik (1) ile ifade edilmektedir;

$$y \in \{1, \dots, K\} \quad (1)$$

Nesnenin tespit edildiği sınır çizgilerindeki sınıflandırılma ( $\varphi$ ) işlemi ise Eşitlik (2) ile formülize edilmektedir;

$$\varphi(gd; d) \quad (2)$$

Tespit olmaması durumunda  $d$  negatif değer almaktadır. Bu durumda  $d$  sınır kutusu Eşitlik (3) 'te gösterilmiştir ( $\theta$  nesne parametrelerini temsil etmektedir). Sınıflandırma ise Eşitlik (4) ile gerçekleştirilmektedir.

$$floc(I; d, \theta) \quad (3)$$

$$fcls(I; d, \theta) \quad (4)$$

Buna göre sınıflandırma formülündeki kayıplar Eşitlik (5)' de verilmiş olan formül üzerinden hesaplanabilmektedir.

$$L(d, I; \theta) = \alpha \log(\varphi(gd; d) - floc(I; d, \theta)) + \beta \text{fcls}(y, fcls(I; d, \theta)) \quad (5)$$

Burada konum ( $\alpha$ ) ve sınıflandırma ( $\beta$ ) kayıpları ayarlanmaktadır. Bu kayıplar eklenerek nesnenin tespit edildiği verilerin ortalaması alınır ve model eğitilmek için  $\theta$  (nesne parametreleri) en aza indirilmektedir [25].

### 2.4. SSD MobileNet

MobileNet SSD (Single Shot Multi Box Detector) modeli, içerisinde görsellerle öğretilmiş nesne sınıflandırmalarının

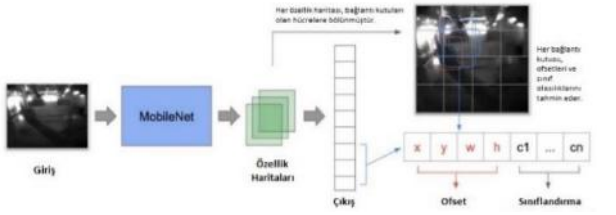


bulunduğu modellerden biridir. SSD nesne detektörü olarak kullanılan popüler bir kütüphanedir. SSD MobileNet modelinin mimarisi, mobil ve gömülü tabanlı görsel uygulamalar için daha uygundur [26]. Yapılan araştırma sonucunda literatürde yaygın olarak kullanılan PASCAL VOC testleri Tablo 1’de paylaşılmıştır. Burada nesne tespiti metotları ve mAP (ortalama hassasiyet) birimi sonuçları verilmiştir [27].

Tablo 1. PASCAL VOC testleri [27]

Metot	Data Test	Ortalama Hassasiyet > %50 (mAP)
FAST R-CNN	VOC (07++12)	%68,4
FASTER R-CNN	VOC (07++12++COCO)	%75,9
YOLO	VOC (07)	%57,9
SSD	VOC (07++12++COCO)	%80

Tablo 1’ e göre mAP ortalama hassasiyet verilerinde %80 başarı ile SSD metodunun önde olduğu görülmektedir. Şekil 5’te SSD MobileNet’in kavramsal olarak iki bölümden oluştuğu görülmektedir. İlk bölümde özellik haritaları üretmek nesne özellikleri oluşturulmakta, ikinci bölümde ise nesne tespitindeki sınırlayıcı çizgilerden, nesnenin konumu ve hareketi tahmin edilmektedir [26].



Şekil 5. SSD MobileNet [26]

Bu çalışmada SSD MobileNet’in görüntü boyutu parçalara bölünüp küçültülerek verinin tespitindeki hesaplama gücü azaltılmıştır. Önceden eğitilmiş bir ağda, küçük görüntü veri kümelerinin kullanılması derin öğrenme tekniği için çok yaygın ve güçlü bir yöntemdir.

## 2.5. Uygulama

İHA üzerinden nesne algılama işlemi, yüksek irtifadan alınan anlık görüntüler ile kütüphanede eşleşen görseller arasındaki benzerlik oranının belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamada nesnenin konumunun bulunması ve sınıflandırmasında Şekil 6’ da verilen sabit odak modülüne sahip 1080p/30fps CSI Kamera kullanılmıştır.



Şekil 6. CSI Kamera

Bu uygulamanın işleyişinde aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

- 1.Kameradan görüntü alma işlemi
- 2.Görüntü gürültüleri giderme

- 3.Nesne belirleme ve sınır çizgisi oluşturma
- 4.Tespit edilen nesnenin sınırlayıcı çizgi ile takibi
- 5.Verilerin kaydedilmesi

Kameradan alınan görüntüler CSI bant aracılığı ile gömülü sisteme aktarılmıştır. Alınan görüntülerde uçuştaki titreşimden kaynaklanan parazitler gömülü sistem üzerinden ayrıştırılmıştır daha sonra nesne belirleme ve sınır çizgisi işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından SSD MobileNet aracılığı ile tespit edilen nesne hareketi sınırlayıcı çizgi ile takip edilmiş ve son olarak işlenmiş veriler kaydedilmiştir.

Gerçekleştirilen uygulamada tespit edilen nesnelere, oluşturulan kare sınır çizgilerinde her nesne kategorisinin varlığı için yüzde cinsinden puanlar üretilmektedir. Ek olarak, farklı çözünürlüklerdeki çok özellikli görüntülerden gelen tahminleri birleştirerek nesnelere doğal olarak işlenmesini sağlamaktadır.

İHA’ lar ile elde edilen görüntülerdeki zorluklardan biri bakış açısı varyasyonlarıdır. Gömülü Sistem, nesnenin farklı açılardan öğretilmiş özelliklerini kullanarak başarılı bir şekilde kütüphane karşılaştırması gerçekleştirmekte, Şekil 6’ da görüldüğü gibi sınıflandırma işlemi yapmaktadır.

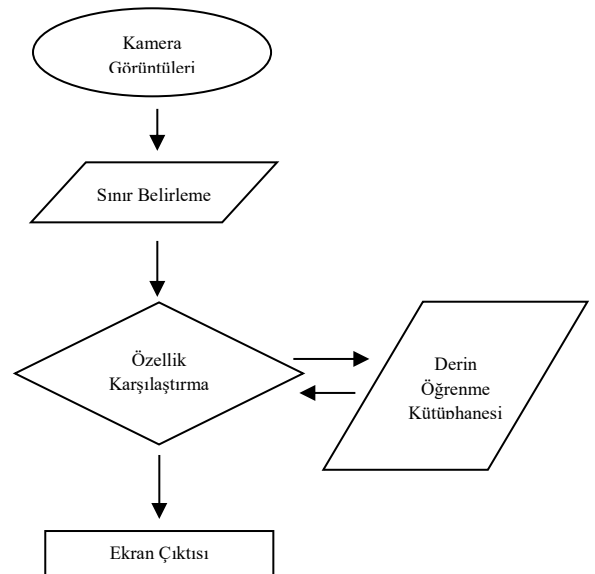


Şekil 6. Nesne Sınıflandırma [28]

Bu çalışmada kullanılan algoritmadaki derin öğrenme modelinde;

- İHA üzerinden alınmış gerçek zamanlı görüntüler, doğrudan öğrenilmiş veriler ile sentezlenmektedir.
- Veri kütüphanesinde bulunan görsel arşiv ile sonuç üretmektedir.
- Sınıflandırma işlemi çeşitli kütüphaneler ile yapılabilmektedir.

Algoritmanın gömülü sistem üzerinde işleyişi Şekil 7’ de gösterilmektedir. Kameradan alınmış görüntülerin gömülü sistem üzerinden sınır belirleme işlemi ile renkli sınır kutucukları oluşturulmaktadır. Belirlenen sınırlar içerisindeki özellikler, derin öğrenme kütüphanesindeki nesnelere kıyaslanarak elde edilen değerler ekrana aktarılmaktadır.



Şekil 7. Gömülü Sistem Algoritma Süreci

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, İHA' larda Gömülü Sistem ile nesne belirleme işleminin yapılması amaçlanmıştır. Gömülü sistem seçilmesinde grafik işlem biriminin (GPU) olması sıradan mikroişlemcilere göre tercih sebebi olmuştur.

Algoritma tasarım öğeleri en aza indirilerek görüntülerin daha hızlı tepki vermesi sağlanmış, bunun yanında gömülü sistem tarafından yönlendirilen algoritmaların çalışma ağırlığını en aza indirmek, CPU kullanımını azaltmak, paralel işlemlerle işlem hızını artırmak için GPGPU (General Purpose Computation on Graphic Processing Units) tekniği kullanılmış ve grafik birimi üzerinden işlem yapılarak bellek yönetimi amaçlanmıştır. Böylece sistemin durmasının veya yavaşlamasının önüne geçilmiştir.

Çalışmada görüntüye giren nesnelerin ilk aldığı değerlere ilk kesinlik, nesnenin görüntüden çıktığı duruma ise son kesinlik denilmektedir. Şekil 8' de nesnenin görüntüden ayrıldığı görülmektedir. Burada değerlendirmeler mAP birimi üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 8. İnsan tespitinde son kesinlik sonucu %95.5 (mAP)

#### 3.1. İHA' dan Alınmış Görsel Veriler Üzerinden İnceleme

Dört rotorlu İnsansız Hava Aracı üzerinden alınan görüntüler Nvidia Jetson Nano'ya bağlı kamera ile elde edilmiş ve anlık olarak işlenmiştir. Farklı ortamlardan alınan örnekler Şekil 9' da ve Şekil 10' da görülmektedir.



Şekil 9. İHA üzerinden alınan görüntü -1



Şekil 10. İHA üzerinden alınan görüntü -2

Şekil 9 ve Şekil 10' da İHA üzerinde anlık olarak alınan verilerin işlenmesi sonucu nesne tespitinin sınıflandırma değerleri görülmektedir. Alınan verilerde irtifaya bağlı olarak farklı sonuçlar görülmektedir. Şekil 10' da %75.2 mAP son kesinlik ile insan (person) sınıflandırıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen kayıtlar için, eşik değeri %50' den büyük olan ortalama hassasiyet (mAP) ölçütleri ile görüntüye giren nesnenin ilk algıladığı kesinlik değerleri, hareketli nesnenin görüntüden çıktığı son kesinlik değerleri ve başarı durumları Tablo 2' de verilmiştir. Sonuç olarak, %69.45 mAP ortalama hassasiyet ile insan, %64.5 mAP ortalama hassasiyet ile araç tespiti yapıldığı görülmektedir. Ortalama değerlerin böyle olmasına rağmen görüntüden çıkıncaya kadarki süreçte tespit edilen nesnelerin kesinliği önem arz etmektedir. Bu durum sınıflandırmaların (araç, insan, otobüs vb.) kesinliğinden daha emin olmamızı sağlamaktadır. Almış olduğumuz değerler ise insan için %95.5 mAP son kesinlik ve araç için %83.4 mAP son kesinliktir.

Tablo 2. Sınıflandırma ve başarı durum tablosu

Object (Nesne)	İlk Kesinlik (mAP)	Son Kesinlik (mAP)	Ortalama Hassasiyet > %50 (mAP)	Başarı
Car	%45.6	<b>%83.4</b>	%64.5	√
Person	%43.4	<b>%95.5</b>	%69.45	√
Bus	%51.3	%81.6	%66.45	√
Track	%49.9	%75.3	%62.6	√

## 4. Sonuç

Hareketli nesne algılama, acil müdahale, kişi yoğunluğu, trafik yoğunlu ve sınır güvenliği gibi birçok uygulama tarafından tercih edilen önemli bir araştırma alanıdır. Bu çalışmada bir İHA ile geniş bir perspektiften derin öğrenme tabanlı SSD MobileNet incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Literatürde yapılan bazı çalışmaların yöntem ve sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Literatürde yer alan nesne tespiti sonuçları

Çalışma	Yöntem	Sonuç (mAP)
(Piao, 2020)	YOLO	%68.86
(Yu, 2021)	DMNet	%57.1
(Donahue, 2014)	DeCAF	%40.94
(Ngiam, 2019)	StarNet	%66.88
(Ouyang, 2015)	DNNs	%50.7
<b>Bu Çalışmada</b>	<b>SSD MobileNet</b>	<b>%69.45</b>

Tablo 3'de verilen sonuçlara göre ile literatürde yapılan çeşitli nesne tespiti uygulamalarına göre bu çalışmada daha yüksek ortalama mAP değeri elde edildiği görülmektedir.

## Kaynakça

- [1] Mukhamediev, R. I., Symagulov, A., Kuchin, Y., Zaitseva, E., Bekbotayeva, A., Yakunin, K., ... & Tabynbaeva, L. (2021). Review of Some Applications of Unmanned Aerial Vehicles Technology in the Resource-Rich Country. *Applied Sciences*, 11(21), 10171.
- [2] Liu, Y., Zhang, F., Huang, P., & Zhang, X. (2021). Analysis, planning and control for cooperative transportation of tethered multi-rotor UAVs. *Aerospace Science and Technology*, 113, 106673.
- [3] Hassler, S. C., & Baysal-Gurel, F. (2019). Unmanned aircraft system (UAS) technology and applications in agriculture. *Agronomy*, 9(10), 618.
- [4] Ong, G. Y. G. (2008, May). Electronic vehicle identification in the intelligent city. In *IET Road Transport Information and Control-RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference* (pp. 1-6). IET.
- [5] Volkova, L., Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., Imanuddin, R., Qirom, M. A., Santosa, P. B., ... & Weston, C. J. (2021). Identifying and addressing knowledge gaps for improving greenhouse gas emissions estimates from tropical peat forest fires. *Science of the Total Environment*, 763, 142933.
- [6] Berrahal, S., Kim, J. H., Rekhis, S., Boudriga, N., Wilkins, D., & Acevedo, J. (2016). Border surveillance monitoring using quadcopter UAV-aided wireless sensor networks. *Journal of Communications Software and Systems*, 12(1), 67-82.
- [7] Tindall, J. A. (2006). Deconvolution of plant type (s) for homeland security enforcement using remote sensing on a uav collection platform. *GEOLOGICAL SURVEY DENVER CO*.
- [8] SALUR, M. U., AYDIN, İ., & Karaköse, M. (2019). gömülü derin öğrenme ile tehdit içeren nesnelere gerçek zamanda tespiti. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 497-509.
- [9] Rokhmana, C. A. (2015). The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 245-253.
- [10] Demirhan, M., & Premachandra, C. (2020). Development of an automated camera-based drone landing system. *IEEE Access*, 8, 202111-202121.
- [11] Liu, M., Wang, X., Zhou, A., Fu, X., Ma, Y., & Piao, C. (2020). Uav-yolo: Small object detection on unmanned aerial vehicle perspective. *Sensors*, 20(8), 2238.
- [12] Yu, W., Yang, T., & Chen, C. (2021). Towards resolving the challenge of long-tail distribution in UAV images for object detection. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision* (pp. 3258-3267).
- [13] Donahue, J., Jia, Y., Vinyals, O., Hoffman, J., Zhang, N., Tzeng, E., & Darrell, T. (2014, January). Decaf: A deep convolutional activation feature for generic visual recognition. In *International conference on machine learning* (pp. 647-655). PMLR.
- [14] Ngiam, J., Caine, B., Han, W., Yang, B., Chai, Y., Sun, P., ... & Vasudevan, V. (2019). Starnet: Targeted computation for object detection in point clouds. *arXiv preprint arXiv:1908.11069*.
- [15] Ouyang, W., Wang, X., Zeng, X., Qiu, S., Luo, P., Tian, Y., ... & Tang, X. (2015). Deepid-net: Deformable deep convolutional neural networks for object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2403-2412).
- [16] Petrova, T., & Petrov, Z. (2020). Long Term Development Perspectives for UAV Potential. *International E-Journal of Advances in Social Sciences*, 6(16), 45-53.
- [17] <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-dl-inference-benchmarks>, Jetson Nano: Deep Learning Inference. 03 Ocak 2022.
- [18] <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-developer-kits>, Jetson Nano. 03 Ocak 2022.
- [19] Basulto-Lantsova, A., Padilla-Medina, J. A., Perez-Pinal, F. J., & Barranco-Gutierrez, A. I. (2020, January). Performance comparative of OpenCV Template Matching method on Jetson TX2 and Jetson Nano developer kits. In *2020 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 0812-0816). IEEE.
- [20] Wang, X., & Jia, K. (2020, July). Human fall detection algorithm based on YOLOv3. In *2020 IEEE 5th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)* (pp. 50-54). IEEE.
- [21] LeCun, Y., Boser, B., Denker, J., Henderson, D., Howard, R., Hubbard, W., & Jackel, L. (1989). Handwritten digit recognition with a back-propagation network. *Advances in neural information processing systems*, 2.
- [22] Pastor Quiles, Y. (2018). Object detection and tracking using an UAV.

- [23] Singh, S., Suri, A., Singh, J. N., Singh, M., & Yadav, D. K. (2021). Object Identification and Tracking Using YOLO Model: A CNN-Based Approach. In *Machine Learning and Information Processing* (pp. 153-160). Springer, Singapore.
- [24] Moranduzzo, T. (2015). Detection and analysis methods for unmanned aerial vehicle images (Doctoral dissertation, University of Trento).
- [25] Sun, C., Zhan, W., She, J., & Zhang, Y. (2020). Object detection from the video taken by drone via convolutional neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- [26] Pandey, R., White, M., Pidlypenskyi, P., Wang, X., & Kaeser-Chen, C. (2017). Real-time egocentric gesture recognition on mobile head mounted displays. arXiv preprint arXiv:1712.04961.
- [27] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016, October). Ssd: Single shot multibox detector. In *European conference on computer vision* (pp. 21-37). Springer, Cham.
- [28] <https://www.mathworks.com/discovery/convolutional-neural-network-matlab.html>. 03 Ocak 2022.



# Akımsız Kaplama Yöntemi ile Üretilen Ni-W-P Çoklu Alaşımların Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Sodyum Tungsten İçeriğinin Etkisi

İbrahim Usta<sup>1\*</sup>, Harun Gül<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7557-9617), [y205012020@subu.edu.tr](mailto:y205012020@subu.edu.tr)

<sup>2</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4589-3506), [harungul@subu.edu.tr](mailto:harungul@subu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081743)

**ATIF/REFERENCE:** Usta, I., GUL, H., (2022). Akımsız Kaplama Yöntemi ile Üretilen Ni-W-P Çoklu Alaşımların Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Sodyum Tungsten İçeriğinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 299-304.

## Öz

Akımsız Nikel esaslı kaplamalar malzemelerin aşınma, sertlik ve korozyon gibi yüzey özelliklerini iyileştirmek için otomotiv, havacılık, savunma ve kimya gibi birçok üretim alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Akımsız kaplamalar birçok sektörde ikili Ni-P ve Ni-B kaplamalar olarak anılmaktadır. Birçok sektördeki bu yaygın kullanım, yüzey mühendisliği alanında çoklu alaşımların ve kompozitlerin üretilmesini ve araştırılmasını popüler hale getirmektedir. Alüminyum ise uygun maliyeti, mükemmel ısı iletkenliği, yüksek mukavemet/ağırlık oranı özelliklerine sahip, geri dönüştürülebilir bir malzeme olması nedeniyle endüstride demirden sonra en çok kullanılan malzemelerden biri olmuştur. Alüminyum alaşımlarının bu iyi özelliklerinin yanında düşük aşınma dayanımları ve düşük sertlikleri endüstrideki bazı kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, alüminyum altlık üzerine kimyasal indirgeme yöntemi ile Ni-P kaplama banyosuna farklı oranlarda sodyum tungsten içerikleri eklenerek Ni-W-P kaplamalar üretilmiştir. Yapılan çalışmada tungsten oranının kaplamanın mikro yapısına, kaplama kalınlığına, sertliğine ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla alüminyum alaşımlarının yüzey özelliklerini geliştirmek için bazik hipofosfit banyosu kullanılarak 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeren Nikel esaslı çoklu alaşım kaplamalar alüminyum altlık yüzeyine indirgenmiştir. Optimum sodyum tungsten oranı yapılan karakterizasyonlar sonunda tespit edilmiştir. Üretilen kaplamaların mikro yapı görüntülerinin incelenmesi için Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopu (FE-SEM), faz yapılarını belirlemek için X-ışını kırınım (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaplamaların sertliklerini tespit etmek için mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilirken, aşınma dayanımı ve sürtünme özelliklerini incelemek için ise lineer (reciprocating) aşınma testi gerçekleştirilmiştir. Akımsız kaplama yöntemi ile elde edilen çoklu alaşım kaplamaların karakterizasyon işlemleri sonrası sertlik değerlerinin 525 HV'den 645 HV'ye kadar arttığı görülmüştür. Sürtünme katsayısı ise 40 g/L sodyum tungsten içeren kaplamalarda 0,45  $\mu$  değerindeyken, 60 g/L'de bu değer 0,15  $\mu$ 'a kadar düşmüştür. Ayrıca, aşınma oranı değerleri karşılaştırıldığında ise aşınma dayanımında ise yaklaşık 1.25 katlık bir artış söz konusu olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Akımsız Kaplama, Çoklu Alaşım, Sodyum Tungsten, Ni-P, Aşınma, Sertlik

## The Effect of Sodium Tungsten Content on Hardness and Wear Properties of Ni-W-P Multiple Alloys Produced by Electroless Coating Method

### Abstract

Electroless Nickel-based coatings are frequently used in many production areas such as automotive, aerospace, defence, and chemistry to improve the surface properties of materials such as wear, hardness, and corrosion. Electroless coatings are known as Ni-P and Ni-B coatings in many industries. This widespread use in many industries makes the production and research of multiple alloys and composites popular in the surface engineering field. On the other hand, aluminium has become one of the most used materials in the industry after iron due to its affordable cost, excellent thermal conductivity, high strength/weight rate properties, and being a recyclable

\* İbrahim USTA: [y205012020@subu.edu.tr](mailto:y205012020@subu.edu.tr)

material. In addition to these good properties of aluminium alloys, their low wear resistance and low hardness limit some usage areas in the industry. This study produced Ni-W-P coatings by adding different amounts of sodium tungsten contents to the Ni-P coating bath by chemical reduction method on the aluminium substrate. In the study, the effect of the tungsten ratio on the microstructure of the coating, coating thickness, hardness, and wear properties were investigated. For this purpose, Nickel-based multi-alloy coatings containing 40, 60, 80 g/L sodium tungsten were reduced to the aluminium substrate surface by using a basic hypophosphite bath to improve the surface properties of aluminium alloys. The optimum sodium tungsten ratio was determined at the end of the characterizations. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM) was used to examine the microstructure images of the produced coatings, and X-ray diffraction (XRD) analysis was performed to determine the phase structures. While microhardness measurements were carried out to determine the hardness of the produced coatings, a linear (reciprocating) wear test was carried out to examine the wear and friction properties. It was observed that the hardness values of the multi-alloy coatings obtained by the electroless coating method increased from 525 HV to 645 HV after the characterization processes. While the coefficient of friction was 0.45  $\mu$  in coatings containing 40 g/L sodium tungsten, this value decreased to 0.15  $\mu$  at 60 g/L. In addition, when the wear rate values were compared, there was an increase of approximately 1.25 times in the wear resistance.

**Keywords:** Electroless Coating, Multi-Alloy, Sodium Tungsten, Ni-P, Wear, Hardness.

## 1. Giriş

Akımsız kaplama, çözeltideki metalik iyonların dahili bir akım sağlayan indirgeme maddesinin vasıtasıyla altlık yüzeyine indirgenmesini sağlayan bir kaplama yöntemidir (Brenner & Riddell, 1998). Akımsız kaplama işlemi, kaplamaların mükemmel korozyon ve aşınma direnci özellikleri nedeniyle çoğu sektörde geniş kabul görmüştür.

Akımsız kaplamanın, elektrokaplama tekniğine göre banyonun ömrü dışında, kaplama kalitesi, homojenliği, fiziksel ve mekanik özellikleri gibi birçok avantajı vardır. Bu işlemde, altlığın geometrisine bakılmaksızın aynı kalınlıkta homojen bir kaplama sağlar. İstenilen özellikler, banyonun farklı pH'ı, sıcaklığı ve bileşimi seçilerek değiştirilebilir (Sudagar et al., 2013).

Akımsız çoklu alaşım Ni-W-P kaplama ilk olarak Pearlstein ve diğerleri tarafından bildirilmiştir (F. Pearlstein, 1963). Tungsten, termal stabiliteyi arttırmak için akımsız Ni-P kaplamalarına eklenen refrakter ve indirgenmesi zor bir metaldir. Akımsız kaplama banyosunda, indirgemeyi kolaylaştırmak için sodyum tungsten olarak eklenmektedir (Talal et al., 2009). Ni-P kaplama banyosuna dahil edilen sodyum tungsten kaplama oranını artırır. Kaplamanın W ve P içeriğini ayarlamak için en önemli kaplama parametresi pH 'tır: pH seviyesinin yükselmesi P içeriğinde bir azalmaya, W içeriğinde ise bir artışa neden olur (K. Chen et al., 2006). Ni-W-P kaplamaların morfolojisi, tipik karnabahar yapısına sahiptir ve kaplamalar nispeten sınırlı kalınlıkta bile gözeneksizdir (X. M. Chen et al., 2008).

Akımsız Ni-P kaplamaların sertliği tungsten ilavesi ile artırılabilirdi önceki çalışmalarda bildirilmiştir (H. Liu et al., 2015). Ayrıca çoğu yazar tarafından Ni-W-P kaplamanın Ni-P'den daha iyi bir korozyon direncine sahip olduğu bildirilmektedir. 18  $\mu$ m kalınlığa sahip Ni-W-P kaplamaların, herhangi bir korozyon belirtisi göstermeden yaklaşık 3 saat boyunca %10 HCl içinde kalmayı sürdürebildiği gözlenmiştir (X. M. Chen et al., 2008).

Alüminyum alaşımları, düşük ağırlıkları ve iyi şekillendirilmeleri gibi üstün özelliklerinden dolayı havacılık, uçak ve otomotiv gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, literatüre göre, düşük sertlikleri ve zayıf tribolojik özellikleri, yüksek sürtünme katsayısı birçok sektör için istenmeyen bir durumdur. Alüminyum ve alaşımlarının zorlu koşullarda çalışması amacıyla sertliği, aşınma ve korozyon direnci gibi özelliklerinin artırılması için bazı kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle gerek dekoratif gerekse mühendislik

için alüminyum yüzeyin akımsız yöntemle kaplanması yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada farklı sodyum tungsten (40, 60, 80 g/L) konsantrasyonları Ni-P akımsız kaplama banyosuna dahil edilerek üretilen kaplamaların yüzey ve kesit görüntüleri FE-SEM analizi ile elde edilerek mikro yapıları incelenmiştir. Ayrıca kaplama tabakalarının faz yapıları belirlemek amacıyla X-ışını kırınım (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaplamaların sertliklerinin belirlenmesi için mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Elde edilen kaplamaların aşınma performanslarını tespit edebilmek içinde lineer (reciprocating) aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

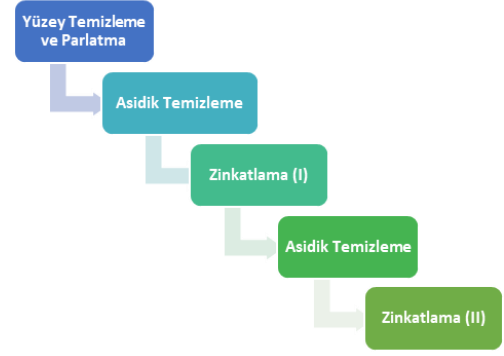
Deneysel çalışma için, 30x30x5 mm boyutlarında 6000 serisi alüminyum alaşımı altlık olarak kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler, akımsız kaplama banyosuna daldırılmadan önce zımparalanmış, parlatılmış ve zinkatlama ön işlemleri uygulanmıştır. Ön işlemler şematik olarak şekil 1'de gösterilmiştir. Gerekli yüzey hazırlıklarından sonra farklı oranlarda (40, 60, 80 g/L) sodyum tungsten içeren Ni-W-P akımsız kaplamalar alüminyum yüzeyine biriktirilmiş ve kaplama sonrası aşınma ve sertlik özellikleri belirlemek amacıyla çeşitli karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum yüzeyinde katalitik olmayan bölgelerin veya eser miktardaki oksitlerin varlığı, akımsız kaplamaların oluşumunu engeller, çünkü kaplama ile altlık arasında metalik bağlar oluşmaz, bu nedenle zayıf bir kaplama yapışması oluşturur (Court et al., 2000). Oksit tabakası ve silisyum parçacıkları alüminyum alaşımlı yüzeylerden temizledikten sonra, yüzeyde tekrar oluşabilecek oksit katmanlarının oluşması engellenmelidir. Bunu engellemenin en iyi yolu zinkatlama prosedürüdür. Zinkatlama, alüminyum yüzeyini oksitlerden tamamen arındırmayı amaçlayan bir işlem olup akımsız kaplama ile gerçekleştirilen üretimlerden önce şekil 1'de gösterilen sıra ile iki kademeli zinkatlama prosedürü uygulanmıştır (Takács et al., 2007).

Tüm alüminyum altlıklar, sırasıyla 400, 600, 800, 1200 ve 2500'lük SiC zımpara kağıtları ile zımparalanmış, parlatılmış ve sonrasında %10 HCl içeren seyreltik asit içerisine daldırılarak ardından zinkatlama işlemlerine geçilmiştir. Zinkatlama adımı

için temelde çinko oksit ve sodyum hidroksit içeren bir alkali çözeltisi kullanılmıştır. Her bir zinkatlama işlemi iki adımda; ilk zinkat tabakası çözündürülerek yapılmıştır. Tüm bu hazırlık işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup, hazırlık sonrası numuneler gerekli pH ve sıcaklık şartları sağlandıktan sonra 1 saat boyunca akımsız kaplama banyosuna daldırılmıştır.

Konu ile ilgili birçok literatür araştırması yapılmış, incelenmiş ve bu değerlendirmeler sonrası tablo 4.1'de bileşen ve parametreleri sunulan bazik hipofosfit banyosu akımsız kaplama işlemlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Kaplamalar ısıtma ve karıştırma kontrollü manyetik karıştırıcıda gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık 90 °C, pH 8-9 arasında sabit tutulmuş ve 350 rpm karıştırma hızı ile kaplamalar alüminyum yüzeyine indirgenmiştir.



Şekil 1. Akımsız Kaplama öncesi numune ön-hazırlığı.

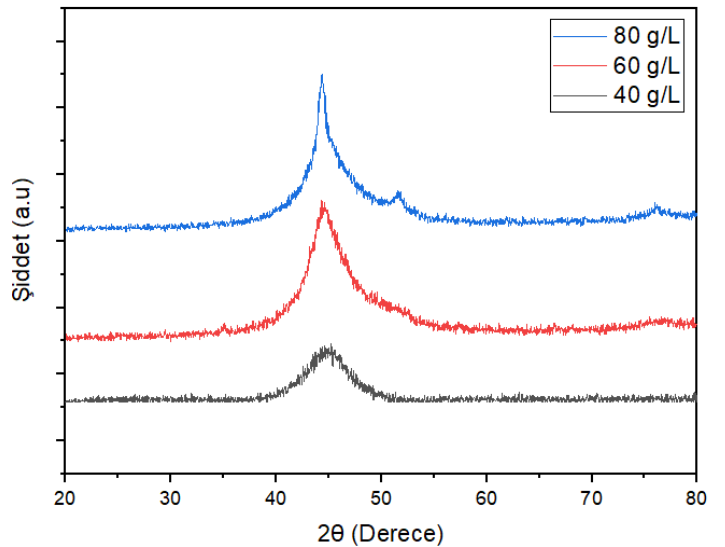
Tablo 1. Akımsız Kaplama Banyo Konsantrasyonu ve Parametreler

BANYO BİLEŞENLERİ	BİLEŞEN TÜRÜ	KONSANTRASYON (g/L)
Nikel Sülfat	Nikel Kaynağı	20 g/L
Sodyum Hipofosfit	İndirgeyici ve P kaynağı	40 g/L
Sodyum Tungsten	Tungsten Kaynağı	<b>40, 60, 80 g/L</b>
Amonyum Klorür	Hızlandırıcı	14 g/L
Sodyum Sitrat	Kompleks Ajanı	16 g/L
Sitrik Asit	Kompleks Yapıcı	8 g/L
<b>PARAMETRELER</b>		
pH		8-9
Banyo Sıcaklığı		90 °C
Kaplama Süresi		1 saat
Karıştırma Hızı		350 rpm

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

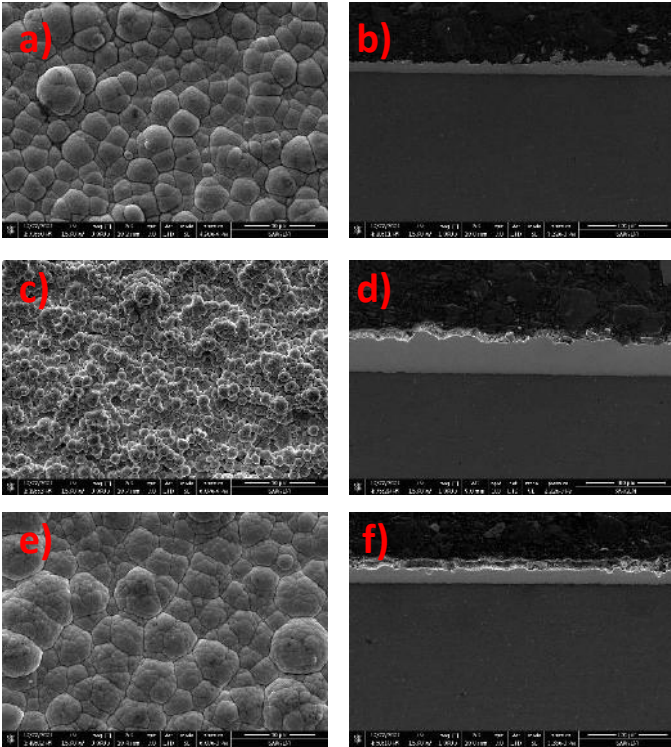
Akımsız kaplama yöntemi ile üretilen farklı oranda sodyum tungsten içeren alaşım kaplamaların X-ışını kırınımı (XRD) analizleri, Cu K-alpha radyasyonu kullanılarak bir Rigaku D/max 2200 toz kırınım ölçer ile yapılmıştır. Akımsız Ni-W-P alaşım faz yapılarını tespit etmek ve ortalama kristalin boyutunu belirlemek amacıyla her bir numune için ayrı XRD analizi yapılmıştır. Tüm alaşım kaplamaların X ışını kırınım desenleri şekil 2'de gösterilmiştir. Amorf/yarı kristalin yapıdaki alaşım kaplamalar benzer çalışmalarda olduğu gibi (111) düzleminde 44°'de tek bir Nikel piki göstermiştir (Balaraju et al., 2009). Akımsız kaplama ile üretilen kaplama tabakalarının yaklaşık 44°'deki pikleri incelendiğinde yapı içerisine ilave edilen sodyum tungsten miktarındaki artış ile birlikte pik şiddeti daha keskin hale geldiği açıkça görülmektedir. 80 g/L'de (111)'de oluşan Ni pikinden sonra yaklaşık 53° oluşan pik hem amorf hem de kristal yapının bir arada olduğunu ifade etmektedir (Tian et al., 2021). Literatürde üçlü Ni-W-P kaplamadaki kristallik veya amorfliğin esas olarak fosfor miktarına bağlı olduğunu bildirmiştir (Balaraju et al., 2010; Keong et al., 2004). Fosfor içeriği ağırlıkça %8'den yüksek olduğunda tortular amorf bir yapı sergilerken, fosfor içeriği ağırlıkça %5 ile ağırlıkça %7 arasında olduğunda amorf ve nano-kristal yapının karışımı gözlemlenebilir. (Cheng et al.,

2008). Tüm bu durumlar, üçlü alaşım kaplamalardaki yapının yarı kristal olduğunu kanıtlar.



Şekil 2: 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeriğine sahip akımsız kaplamaların XRD desenleri.

Tablo 1’de verilen banyo parametreleri kullanılarak üretilen Ni-W-P çoklu alaşım kaplamalar FE-SEM kullanılarak mikroyapısal olarak yüzeyden ve kesitten incelenmiştir. Şekil 3’de 40, 60, 80 g/L konsantrasyonlarında sodyum tungsten içeren kaplamaların FE-SEM yüzey ve kesit görüntüleri sunulmuştur. Elde edilen görüntüler incelendiğinde artan sodyum tungsten içeriğine bağlı olarak morfolojide değişimler olduğu açıkça görülmektedir. Kaplama yüzey görüntüleri incelendiğinde gözenek ve çatlak gibi yüzey kusurları oluşmadığı görülmüştür. Kaplama banyosuna ilave edilen sodyum tungsten miktarı 60 g/L’ye ulaştığında FE-SEM görüntülerinden de anlaşılacağı gibi kaplama kalınlıklarında artış (Şekil 3.d) ile birlikte ortalama kristalin boyutunda da incelmeye (Şekil 3.c) olduğu gözlenmiştir. Artan sodyum tungsten varlığının çekirdeklenme oranını arttırmasına bağlı olarak kristalin boyutunda küçülme olduğu düşünülmektedir (Refaat Gooda et al., 2021). Aynı zamanda EDS sonuçlarına göre sodyum tungsten miktarındaki artış, kaplama matrisine giren tungsten miktarını da arttırmıştır. Ni-W-P kaplamaların ağırlıkça yüzde değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. EDS sonucuna göre 60 g/L sodyum tungsten içeren kaplamada Ni ve P oranları düşerek W oranını yükselmiştir. Daha önceki çalışmalarda, banyoya tungsten iyonlarının eklenmesi sadece kaplamanın W birikimini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda  $H_2PO_4^-$ ’nin katodik reaksiyonunu bastırarak, fosfor içeriğini azalttığı bildirilmiştir (Balaraju J N, Kalavati N T, 2012). Daha yüksek konsantrasyonlardaki sodyum tungsten varlığı ise indirgenmenin yavaşlamasına sebep olmuş ve sonuç olarak kaplama kalınlığını ve tungsten içeriğini azaltmıştır (Şekil 3.f)



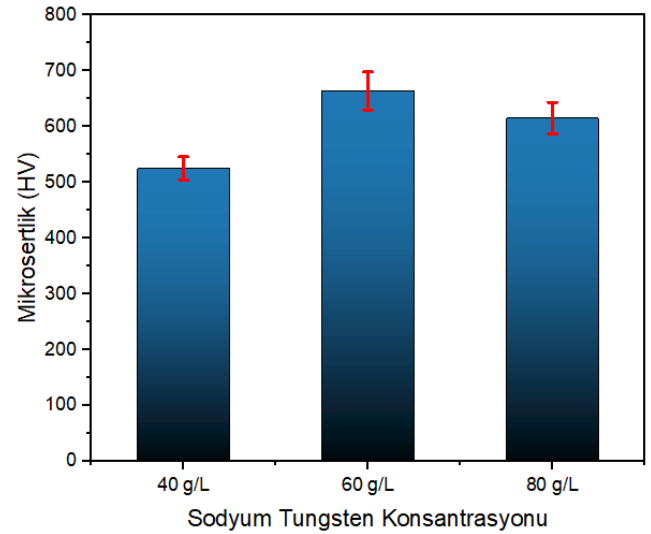
Şekil 3: Akımsız Ni-W-P kaplamaların 3000 büyütmedeki yüzey ve 1000 büyütmedeki kesit görüntüleri. (a-b: 40 g/L, c-d: 60 g/L, e-f: 80 g/L sodyum tungsten)

Sentezlenen 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeren kaplamaların kaplama kalınlıkları sırasıyla yaklaşık olarak 15, 40, 20  $\mu m$  değerlerindedir. Alaşım kaplamalardaki optimum sodyum tungsten miktarı hem kaplama kalınlığı açısından hem de kristalin boyutu açısından düşünüldüğünde 60 g/L olarak belirlenmiştir.

Tablo 2: EDS sonuçlarına göre akımsız Ni-W-P kaplamaların % ağırlık oranları.

	% Ni	% P	% W
40 g/L	92.39	6.39	1.22
<b>60 g/L</b>	<b>89.79</b>	<b>5.93</b>	<b>4.28</b>
80 g/L	91.25	5.85	2.91

Farklı sodyum tungsten konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-P kaplamalarının sertlik değerlerinin tespiti için mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4’de sunulmuştur. Mikro sertlik sonuçlarına göre; kaplama banyosuna dahil edilen sodyum tungsten miktarındaki artış ile kaplama matrisine giren W miktarı artarken P miktarı düşmektedir. W miktarındaki artış ile kaplama yapısında alaşım sertleşmesi etkisi ile oluşturarak, mikro-sertliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca Ni-P kaplama matrisinde dahil edilen W kaplamayı daha kristal hale getirerek daha sert kaplama yapısı sergilemiştir. Kaplama banyosu içerisine dahil edilen sodyum tungsten, kaplamadaki W oranını arttırarak, fosfor miktarını düşürmüştür. Kaplamadaki fosfor miktarının azalması iç stresi arttırmış, bu da daha sert bir kaplama tabakası oluşturmuştur (Balaraju et al., 2009; Parker, 1981; S.S. Tulsı, 1986).

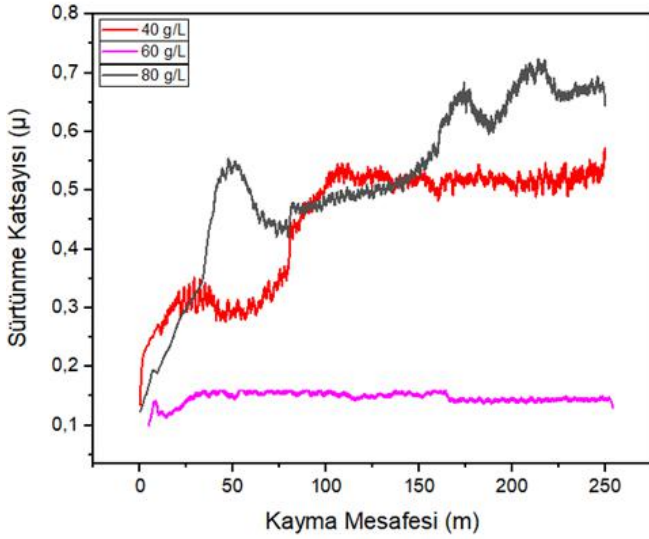


Şekil 4: Sodyum tungsten konsantrasyonuna göre değişen mikro-sertlik değerleri.

Akımsız kaplama ile üretilen alüminyum altlıklar üzerine biriktirilen çoklu alaşım kaplamaların aşınma ve sürtünme performansları lineer hareketli (reciprocating) bir bilyeli CSM Tribometer cihazı kullanılarak test edilmiştir. Sürtünme katsayıları için karşıt malzeme olarak 10 mm çapında 62 HRC sertliğe sahip M50 çelik bilyeler kullanılmıştır. Her bir numuneye 1 N yük altında ve 25 cm/sn kayma hızında 250 metre boyunca aşınma uygulanmıştır.

Şekil 5’de sürtünme katsayısının sodyum tungsten konsantrasyonuna bağlı değişimi gösterilmiştir. Kaplamaların sürtünme katsayıları 40 g/L sodyum tungsten içeren kaplamada ortalama olarak 0,45  $\mu$  değerindedir. Bu değer 60 g/L’de 0,15  $\mu$  değerine düşmüş, daha yüksek sodyum tungsten içeriğinde ise sürtünme katsayısı tekrar yükselmiştir.

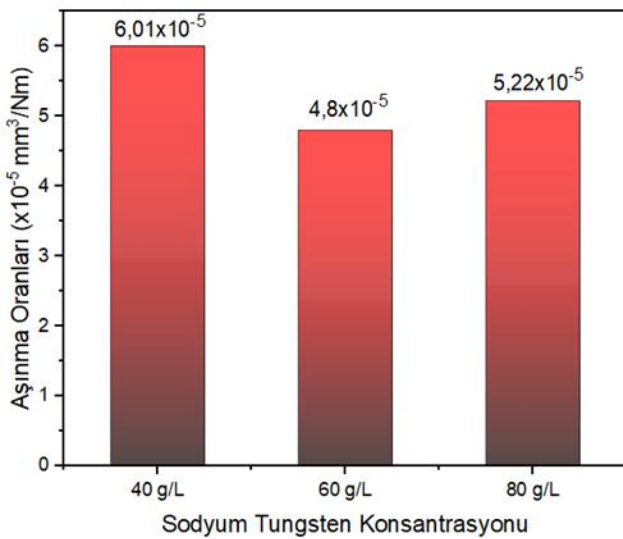




Şekil 5: Farklı oranda sodyum tungsten içeren akımsız Ni-W-P kaplamaların kayma mesafesi altındaki sürtünme katsayıları.

Sürtünme katsayısındaki bu düşüşün önemli sebeplerinden biri banyoya dahil edilen sodyum tungsten ile kaplamalarda tipik karnabahar yapısı oluşumudur. Kaplamalarda oluşan bu karnabahar deseninin yüzey temasını azaltmasından dolayı (gerçek temas alanına ulaşılmamış olması) sürtünme katsayısını düşürdüğü ve kaplamaların aşınma direncine fayda sağladığı önceki çalışmalarda bildirilmiştir (L. Liu et al., 2017; Mahmood et al., 2015). Yine benzer şekilde nikel matriste aşınma esnasında meydana gelen nikel oksitlerin kırılmasıyla aşındırıcı etki yapma durumuna bağlı olarak sürtünme katsayısında artışa neden olabilmektedir.

Yüksek sodyum tungsten içeren kaplamalardaki sertlikteki düşüş ve sürtünme katsayısındaki artış alınan EDS sonuçlarına göre kaplama yapısındaki W içeriğinin düşmesi nedeni olduğu belirlenmiştir. Sürtünme katsayısındaki bu düşüş nedeni olarak aşınma oranı da  $6,01 \times 10^{-5}$  'den  $4,8 \times 10^{-5}$   $\text{mm}^3/\text{Nm}$  ye kadar düşüş sağlanmıştır.



Şekil 6: Farklı oranda sodyum tungsten içeren akımsız Ni-W-P kaplamaların aşınma oranları.

## 4. Sonuçlar

Farklı sodyum tungsten (40, 60, 80 g/L) konsantrasyonları içeren Ni-W-P çoklu alaşım kaplamalar ön işlemler sonrası, akımsız yöntem kullanılarak alüminyum alaşım yüzeyine başarılı bir şekilde indirgenmiştir. Yapılan çalışmalar sonrası 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeren kaplamalarda sırası ile 15, 40, 20  $\mu\text{m}$  kaplama kalınlıkları elde edilmiştir. Kaplamaların sertlik değerlerinin ise 525 HV'den 645 HV'ye kadar arttığı görülmüştür. Sürtünme katsayısının ise sodyum tungsten ilavesi ile  $0,15 \mu'$  a kadar düştüğü tespit edilmiştir. Aşınma testleri sonrası kaplamaların aşınma oranları  $6,01 \times 10^{-5}$ 'den  $4,8 \times 10^{-5}$   $\text{mm}^3/\text{Nm}$  ye kadar düşüş sağlanmıştır. Bu da yaklaşık aşınma dayanımında 1,25 katlık bir artışa tekabül etmektedir. İncelenen mikroyapı, kaplama kalınlığı, sertlik ve aşınma özellikleri açısından optimum özellikler 60 g/l sodyum tungsten konsantrasyonuna sahip kaplamalarda elde edilmiştir.

## 5. Teşekkür

Yapılan bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2021-01-05-052) teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Balaraju, J. N., Kalavati, & Rajam, K. S. (2009). Surface morphology and structure of electroless ternary NiWP deposits with various W and P contents. *Journal of Alloys and Compounds*, 486(1–2), 468–473. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2009.06.173>
- Balaraju, J. N., Kalavati, & Rajam, K. S. (2010). Electroless ternary Ni-W-P alloys containing micron size Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. *Surface and Coatings Technology*, 205(2), 575–581. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.07.047>
- Balaraju J N, Kalavati N T, M. et al. (2012). *Surface and Coatings Technology*[J], 206: 2682.
- Brenner, A., & Riddell, G. E. (1998). Nickel Plating on Steel by Chemical Reduction. *Plating and Surface Finishing*, 85(8), 54–56. <https://doi.org/10.6028/jres.037.019>
- Chen, K., Liu, C., Whalley, D. C., Hutt, D. A., Li, J. F., & Mannan, S. H. (2006). Electroless Ni-W-P alloys as barrier coatings for liquid solder interconnects. *ESTC 2006 - 1st Electronics System Integration Technology Conference*, 1, 421–427. <https://doi.org/10.1109/ESTC.2006.280037>
- Chen, X. M., Li, G. Y., & Lian, J. S. (2008). Deposition of electroless Ni-P/Ni-W-P duplex coatings on AZ91D magnesium alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 18(SPEC. ISSUE 1). [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(10\)60225-7](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(10)60225-7)
- Cheng, Y. H., Zou, Y., Cheng, L., & Liu, W. (2008). Effect of the microstructure on the anti-fouling property of the electroless Ni-P coating. *Materials Letters*, 62(27), 4283–4285. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2008.07.002>
- Court, S. W., Barker, B. D., & Walsh, F. C. (2000). Electrochemical measurements of electroless nickel coatings on zincated aluminium substrates. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, 78(4), 157–162. <https://doi.org/10.1080/00202967.2000.11871330>
- F. Pearlstein, R. F. W. R. W. (1963). F. Pearlstein, R.F.

- Weightmanand R. Wick: *Metal Finish* Vol.61 (1963), p.77. *Metal Finish*, Vol.61, 77.
- Keong, K. G., Sha, W., & Malinov, S. (2004). Artificial neural network modelling of crystallization temperatures of the Ni-P based amorphous alloys. *Materials Science & Engineering A*, 1–2(365), 212–218. <https://doi.org/10.1016/J.MSEA.2003.09.030>
- Liu, H., Yao, H. L., Thompson, G. E., Liu, Z., & Harrison, G. (2015). Correlation between structure and properties of annealed electroless Ni-W-P coatings. *Surface Engineering*, 31(6), 412–419. <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000422>
- Liu, L., Chen, Z., Zhou, Z., Chen, G., Wu, F., & Liu, C. (2017). Diffusion barrier property of electroless Ni-W-P coating in high temperature Zn-5Al/Cu solder interconnects. *Journal of Alloys and Compounds*, 722, 746–752. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2017.06.122>
- Mahmood, H., Harun, N., Suryanto, & Hilmy, I. (2015). Physical Properties of Electroless Nickel-Tungsten Coating on Mild Steels Obtained from Acetic Bath. *Advanced Materials Research*, 1115, 230–233. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.1115.230>
- Parker, K. (1981). *Plating and Surface Finishing*.
- Refaat Gooda, S., Ramadan Mohammed Khalifa, O., Kassab Abd El-Aziz, A., & Hassan Marii, A. (2021). Structure and Corrosion Behavior of Nano-Crystalline Ni-P Alloy Containing Tungsten. *American Journal of Physical Chemistry*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.11648/J.AJPC.20211001.11>
- S.S. Tulsii. (1986). 64 (2) (1986) 73. In *Trans. Inst. Metal Finish.* (p. 64 (2) 73.).
- Sudagar, J., Lian, J., & Sha, W. (2013). Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings – A critical review. *Journal of Alloys and Compounds*, 571, 183–204. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2013.03.107>
- Takács, D., Sziráki, L., Török, T. I., Sólyom, J., Gácsi, Z., & Gál-Solyomos, K. (2007). Effects of pre-treatments on the corrosion properties of electroless Ni-P layers deposited on AlMg2 alloy. *Surface and Coatings Technology*, 201(8), 4526–4535. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.09.045>
- Talal, A., Abdullah, A., & Abdullah, A. M. (2009). Effect of accelerators and stabilisers on crystallinity of binary and ternary electroless nickel alloys. *International Journal of Nano and Biomaterials*, 2(1–5), 42–51. <https://doi.org/10.1504/IJNB.2009.027696>
- Tian, S. S., Sun, W. C., Liu, Y. W., Jia, Y. P., & Xiao, Y. (2021). Effect of Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> concentration on the microstructure and corrosion behavior of Ni-W-P ternary alloy coatings. *Materials Research*, 24(4). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2020-0580>



# Uzamsal Alan Görüntü Steganografisi için Blok Veri Gizlemede Kanal Seçimi

Zeynep Sarı<sup>1\*</sup>, Mehmet Yıldırım<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2834-3745), [zeynep.sari@kocaeli.edu.tr](mailto:zeynep.sari@kocaeli.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1676-1560), [myildirim@kocaeli.edu.tr](mailto:myildirim@kocaeli.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081746)

**ATIF/REFERENCE:** Sarı, Z. & Yıldırım, M. (2022). Uzamsal Alan Görüntü Steganografisi için Blok Veri Gizlemede Kanal Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 305-310

## Öz

İnternetin yaygın kullanılması ile birlikte veri iletimi kolaylaşmıştır. Bütün iletişim biçimlerinde, özellikle gizli iletişimde, veri güvenliği en önemli unsurdur. Bu nedenle, verinin güvenliğini sağlamak için verinin şifrelenmesi en eski yöntemdir ve buna kriptografi adı verilmektedir. Kriptografi, bilgiyi güvence altına almak için kullanılan etkili bir yöntem olsa da bilginin varlığını belli eder. Steganografi ise, bilginin varlığını istenmeyen kişilerden gizler. Steganografi verinin varlığını kamufle etmek için kapak adı verilen taşıyıcı medya kullanır. Kapak medya; video, görüntü veya ses dosyası olabilir. Uzamsal alanda görüntü steganografisinde, veriler bir kapak görüntünün piksellerine doğrudan yerleştirilir. Literatürde, birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş çeşitli görüntü steganografi teknikleri yer almaktadır. Bu çalışmada, uzamsal alanda görüntü steganografisinde, blok veri gizleme için güvenli kanal seçimi tekniği önerilmektedir. Veri gizlemede kullanılacak pikseli tespit etmek için iki yöntem kullanılmıştır. Birincisinde, kapak görüntü bloklara bölündükten sonra, blok içerisindeki her bir pikselin komşuları ile arasındaki ortalama farkı yani gradyan değeri kullanılmaktadır. İkincisinde, pikselin sayısal değeri doğrudan kullanılmaktadır. Tespit edilen piksellerin en az anlamlı bitleri (1-lsb, 2-lsb, 3-lsb), gizlenecek mesajın bitleri ile değiştirilmektedir. Her iki yöntemde de PSNR ve SSIM değerlerinin birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Üretilen stego görüntülerin 1-lsb için ortalama PSNR değeri 63.2631 ve bpp değeri 0,007, 2-lsb için PSNR değeri 56.8598 ve bpp değeri 0.015, 3-lsb için PSNR değeri 50.5023 ve bpp değeri 0.03 bulunmuştur, bu değerlerin oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Blok Veri Gizleme, Görüntü Steganografisi, Kanal Seçimi, k-lsb, Uzamsal Alan

## Channel Selection in Block Data Embedding for Spatial Domain Image Steganography

### Abstract

With the widespread use of the Internet, data transmission has become easier. In all forms of communication, especially confidential communication, data security is the most important issue. Therefore, encryption of data is the oldest method to ensure the security of data and it is called cryptography. Although cryptography is an effective method used to secure information, it reveals the presence of information. Steganography, on the other hand, hides the presence of information from unwanted people. Steganography uses carrier media, called covers, to camouflage the presence of data. Cover media; can be a video, an image or an audio file. In image steganography for the spatial-domain, data is placed directly into the pixels of a cover image. In the literature, there are various image steganography techniques developed by many researchers. In this study, a secure channel selection technique is proposed for block data hiding in spatial image steganography. Two methods were used to detect the pixel to be used in data hiding. In the first, after the cover image is divided into blocks, the average difference between each pixel and its neighbors in the block, that is the gradient value, is used. In the second, the numerical value of the pixel is used directly. The least significant bits (1-lsb, 2-lsb, 3-lsb) of the detected pixels are replaced with the bits of the message to be hidden. PSNR and SSIM values were found to be close to each other in both methods. The mean PSNR value for 1-lsb was 63.2631 and the bpp value was 0.007, the PSNR value for 2-lsb was 56.8598 and the bpp value was 0.015, the PSNR value for 3-lsb was 50.5023 and the bpp value was 0.03. These values were found to be quite successful.

**Keywords:** Block Data Hiding, Image Steganography, Channel Selection, k-lsb, Spatial Domain

\* Sorumlu Yazar: [zeynep.sari@kocaeli.edu.tr](mailto:zeynep.sari@kocaeli.edu.tr)

## 1. Giriş

Son yıllarda internetin yaygınlaşmasıyla birlikte, hassas verilerin internet ortamında aktarımında güvenlik ihtiyacı da artmıştır. Steganografi bu güvenli iletimi sağlamak için kullanılmaktadır. Dijital görüntülerin yaygın olması ve sık kullanılması, onların steganografi yöntemleri için güncel medya formatı olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır (Nguyen, 2015a). Steganografide, taşıyıcı görüntüye “kapak görüntü”, içine veri gizlenmiş görüntüye “stego görüntü” denilmektedir (Sabeti, 2013).

Steganografi verinin varlığını gizlerken, steganaliz, taşıyıcı medyadaki gizlenmiş verilerin varlığını ortaya çıkaran bilim alanıdır (Cheddad, 2010). Bu nedenle görüntü steganografisinin en belirgin ihtiyacı, steganaliz yöntemlerine karşı dayanıklı olmasıdır. Literatürde steganaliz ataklarına dayanıklılığı arttırmak için etkili olan iki yöntem vardır (Chen,2010; Fridrich,2006); blok tabanlı steganografi ve kanal seçim yaklaşımıdır. Matris yaklaşımı veri gizleme, ilk olarak Crandall tarafından ortaya atılmıştır (Crandall, 1998; Nguyen, 2015b). Crandall matris bloklarını “hücre” olarak ele alıp veri gömme işlemini önermiştir. Kanal seçimi yaklaşımı ile hedeflenen öncelikle steganaliz saldırılarına dayanıklı olabilmek, bir diğeri de minimum görünürlükte bozulmaya neden olacak pikselleri seçebilmektir.

Kanal seçiminde güvenliği arttırmak için çeşitli metotlar ve şemalar sunulmuştur. Sabeti ve arkadaşları tarafından sekizli karmaşıklık ölçüsüne dayalı lsb (ing: least significant bit) eşleştirme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem bir pikselin ve sekiz komşuluğunun arasındaki farkların toplamını ele almaktadır. Önerilen yöntemlerin etkinliğini ölçmek için, gizlenen veri ile çıkartılan verinin aynı olması gerekmektedir. Veri çıkarma işleminin başarılı olduğunu belirleyebilmek için yaygın olarak bit hata oranı (BER-bit error rate) ölçütü kullanılmaktadır (Shah,2021).

Bu çalışmada, stego görüntülerin kalitesini ve güvenliğini arttırmak için kanal seçim kuralı kullanılmıştır. Bölüm II’de bu çalışmaya temel olan ve literatürde yer alan yöntemlerden kısaca bahsedilmiş, Bölüm III’te önerilen yöntem açıklanmıştır. Bölüm IV’te önerilen yöntem ile elde edilen deneysel sonuçlardan bahsedilmiş olup, Bölüm V’te çalışmaya dair genel sonuçlar verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Blok Veri Gizleme Algoritması

Blok veri gizleme (block data hiding-BDH) algoritmasında, ek vektör veya matris kullanılmasına gerek kalmadan veri gizleme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem kanal seçimi metoduyla birlikte uygulanabilir. Bloklara bölme işleminde araştırmacılar çalışmalarında farklı matris boyutları seçerek, kapak görüntüsünü bölmüşlerdir.

### 2.2 Kanal Seçim Kuralı

Verinin algılanabilirliğini azaltmak için kapak görüntünün her bir bloğunda seçilen piksel veya piksellerin bitleri ile k bit uzunluğundaki bir mesajın bitlerinin değiştirilmesi önerilmektedir (Nguyen, 2015a; Sabeti, 2013; Cheddad, 2010; Chen, 2010; Crandall, 1998).

Steganaliz teknikleri ile verinin varlığının ortaya çıkmasını engellemek için gizlenecek bitler, keskin kenar geçişlerinin olduğu piksel değerlerine gizlenmelidir. Bunun nedeni, insan görme sisteminin (HVS-human vision system) görüntü içindeki küçük değişikliklere karşı daha az duyarlı olmasıdır (Nguyen,2015b).

Steganografide güvenlik, kullanılan metotlardan ve veri gizleme değişikliklerinin sayısından etkilenir (Fridrich,2006); bu da kanal seçimi yaparken renk yoğunluğunun fazla olduğu bölgeleri seçmenin önemini ortaya çıkarmaktadır. Kenar pikselleri, pikselin komşuları ile arasındaki fark alınarak tespit edilebilir. Gradyan değerinin büyük olması görüntüde keskin geçişlerin olduğunu, küçük gradyan değeri ise, görüntünün daha yumuşak geçişleri olduğunu göstermektedir.

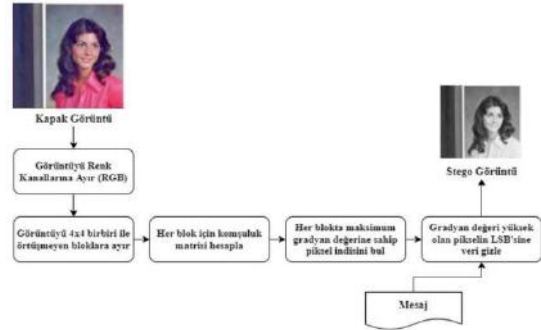
Bir pikselin en az iki, en fazla dört komşusu olabilir. Ortalama gradyan hesaplanırken pikselin komşuları ile farkları alınır ve kaç komşusu var ise o sayıya bölünür. Denklem 1’de 4 komşusu olan bir pikselin ortalama gradyan hesabı verilmektedir.

$$G(i, j) = \frac{((m_{i,j}-m_{i,j-1})+(m_{i,j}-m_{i,j+1})+(m_{i,j}-m_{i-1,j})+(m_{i,j}-m_{i+1,j}))}{4} \quad (1)$$

Gradyan hesabında çıkarma işlemlerinde mutlak değer alınmaması, incelenen blok içerisinde birden fazla en büyük gradyan tespit edilmesini engellemekte ve o pikselin keskin renk geçişinde olduğu bilgisini vermektedir.

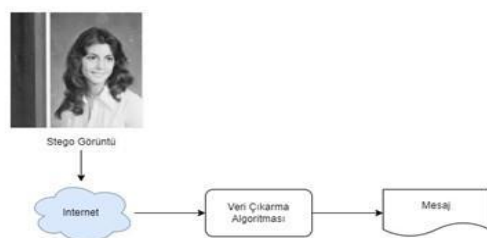
## 3. Önerilen Yöntem

Bu bölümde, gizlenecek mesajın bitlerini kenar piksellere gizleyebilmek için blok veri gizleme ve kanal seçimi kuralı sunulmaktadır. Bu şemada, uzamsal alanda kanal seçim kuralı ile gizli verinin gizleneceği pikseller belirlenmektedir.



Şekil 1. Önerilen şema veri gizleme algoritması

Şekil 1’de gösterildiği gibi, mesaj, bir kapak görüntünün piksellerine gizlenmiştir. Şekil 2’deki gibi, daha sonra stego görüntü internet üzerinden alıcıya iletilmiş ve alıcı herhangi bir işlem yapmadan gizli veriyi çıkartmıştır.



Şekil 1. Veri Çıkartma Algoritması

Önerilen yöntemde kanal seçimi için, 2 farklı yol izlenmiştir.

Kanal seçimi yapmadan önce her iki yöntemde de renkli görüntü üzerinde çalışılmıştır. Ancak mesaj tek renk kanalına gizlenmiştir. Bu sebeple, kapak görüntünde kanal seçimi yapmadan önce, görüntü renk kanallarına (RGB) ayrılmıştır.

### 3.1. Önerilen Kanal Seçimi

Önerilen kriterde, verinin algılanabilirliğini minimumda tutmak için görüntüde keskin kenarları bulabilmek önem taşımaktadır. Renkli görüntünün bir kanalı için, görüntü birbirleri ile örtüşmeyen 4x4 alt bloklara bölünür. Her blok içinde, piksellerin komşuları ile arasındaki farklılıkları Denklem 1’de verilen formül ile komşuluk sayısına göre ayrı ayrı hesaplanır ve bu gradyan değeri olarak bir matriste tutulur. Her blok içerisinde, Gradyan değeri en yüksek olan indisteki piksel veri gizlemek için seçilmektedir.

Aynı şekilde, görüntünün gradyan matrisine ihtiyaç duyulmadan sadece her bloktaki en yüksek değerlikteki piksel değeri seçilerek de veri gizleme işlemi yapılmıştır. Çalışmada, gradyan kullanarak yapılan kanal seçimine “Yöntem\_1”, yüksek değerlikteki piksel değeri kullanılarak yapılan kanal seçimine de “Yöntem\_2” isimleri verilmiştir. Yöntem\_2’nin uygulama şekli, standart lsb yer değiştirmesi ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmadaki farkı ise, bloklara ayırma ve ayrılan blok içerisinde en yüksek piksel değerine veri gizleme işlemi yapılmasıdır. Bu, yöntemi güvenlik açısından klasik lsb yer değiştirme yöntemlerinden daha güçlü kılmaktadır.

### 3.2 Önerilen Yöntemin Uygulanması

Önerilen yöntemde, görüntünün bir renk kanalı 4x4 bloklara ayrılmakta ve her bloktan seçilen tek bir piksele gizli mesajın bitleri yerleştirilmektedir.

#### 3.2.1 Veri Gizleme Adımları

Lsb yönteminde görüntü matrisi üzerinde pikseller satır satır (Kanan, 2010), sol baştan başlayarak taranmaktadır ve her bir pikselin lsb bit/bitlerine mesaj bit/bitleri gizlenmektedir. Çalışmamızda ise, görüntünün gradyan matrisinde 4x4 blok içerisinde en yüksek gradyan değerine sahip indisteki piksel veri gizlenecek piksel olarak seçilmektedir. En yüksek değeri bulurken aramada, sol baştan başlanır ve ilk en yüksek gradyan değerli piksel seçilir.

164	63	75	95	72,5	-61,667	4	20
120	135	55	75	-12,667	42,5	-31,25	7
99	132	60	54	-6,3333	21	-28,5	-7,6667
64	150	113	50	-60,5	47	26,3333	-33,5

(a)

(b)

Şekil 3. (a) Kapak görüntüye ait 4x4 blok piksel değerleri, (b) Aynı blok için gradyan değerleri

Şekil 3(a)’da kapak görüntünün herhangi bir 4x4 blok görüntüsündeki piksel değerleri, (b)’de ise aynı bloktaki komşuluk matrisindeki gradyan değerleri verilmektedir.

Burada en yüksek gradyan değerinin 72.5 olduğu görülmektedir ve kanal seçim yöntemi olarak Yöntem\_1 kullanılması halinde, bu piksel verinin gizleneceği piksel olarak seçilmiştir. Bu blok matrisinde 1.satır ve 1.sütunundaki indiste yer alan piksel değerinin 164 olduğu görülmektedir ve

kanal seçim yöntemi olarak Yöntem\_2 kullanılması halinde, bu piksel verinin gizleneceği piksel olarak seçilmiştir. Hangi kanala verinin gizleneceği belirlendikten sonra, görüntünün en az anlamlı bitlerine gizli mesajın bitleri sırası ile gizlenmektedir. 1-lsb için kapak görüntü pikselinin en az anlamlı bir biti ile mesajın bir biti, 2-lsb için pikselin en az anlamlı son iki bitine gizli mesajın iki biti ve son olarak 3-lsb için seçilen pikselin son üç bitine gizli mesajın üç biti gizlenmektedir.

#### 3.2.2 Veri Çıkarma

Alıcı taraf internet üzerinden stego görüntüyü elde ettiğinde yapması gereken işlemler, görüntüyü birbiri ile örtüşmeyen 4x4 bloklara bölmek ve her blok için gradyan hesaplamaktır. En yüksek gradyan değerine sahip pikselin son bitlerinden çıkarma işlemi yaptığında alıcı veriyi eksiksiz ve kayıpsız olarak alabilmektedir.

## 4. Deneysel Sonuçlar ve Analiz

Bu bölümde, önerilen yöntemin performansını göstermek için elde edilen deneysel sonuçlar sunulmaktadır. Kapak görüntüleri için dijital görüntülerin koleksiyonundan oluşan, USC-SIPI görüntü veri tabanı kullanılmıştır.

Gizlenecek mesaj rasgele üretilerek elde edilmiştir. Her iki yöntem için de gizlenecek olan mesajlar aynıdır. Stego görüntünün başarı performansını belirlemek için tepe sinyal gürültü oranı (PSNR), ortalama karesel hata (MSE) ve yapısal benzerlik oranı (SSIM) metrikleri kullanılmıştır.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

Genellikle desibel (dB) cinsinden logaritmik olarak ifade edilen PSNR değerinin, yüksek kaliteli stego görüntüye sahip olabilmek adına 40 db değerinin altına inmemesi önerilir.

$$MSE = \frac{1}{\text{satır} \times \text{sütun}} \sum_{i=1}^{\text{satır}} \sum_{j=1}^{\text{sütun}} (K_{i,j} - S_{i,j})^2 \quad (3)$$

Denklem 3’te verilen ortalama karesel hata denkleminde satır, sütun değerleri matrisin satır ve sütun sayısıdır.  $K_{i,j}$  kapak görüntü bitlerini,  $S_{i,j}$  ise stego görüntü bitleridir.

Yapısal benzerlik oranı (SSIM) değeri, veri gizleme ve veri çıkarma işlemlerinden kaynaklı görüntünün kalitesindeki bozulma oranını ölçmeye yarayan hesaplamadır; 0-1 aralığında değerler üretir ve 1 iki görüntünün aynı olduğunu belirtirken 0 görüntülerin birbirinden tamamen farklı olduğunu belirtir (Çataltaş, 2017). Çalışmalarda bu değer 1’e yakın olması hedeflenmektedir. Tablo 1’de, çalışmamızın deneysel sonuçları referans seçilen üç görüntü için verilmiştir.

Çıkarılan verilerin kayıpsız olduğunu göstermek için BER değerlendirme parametresi Denklem 4’teki gibi uygulanmıştır. BER değeri 0 ve 1 aralığında bir sonuç üretir. 0 verilerin kayıpsız alındığını ifade eder.

Denklem 4’te verilen; n değeri gizlenen mesajın uzunluğu, M değeri gizlenen mesaj, C değeri çıkarılan mesajı vermektedir. Gizlenen mesaj ile çıkarılan mesaj XOR ( $\oplus$ ) mantıksal işleminden geçirilerek, gizlenen verinin ne kadarının geri alınabildiğini göstermektedir.

Tablo 1. Önerilen yaklaşımın PSNR, MSE, SSIM değerleri

Payload	Yöntem_1				Yöntem_2				Resim 512x512
	PSNR	SSIM	MSE	Gizleme Süresi (sn)	PSNR	SSIM	MSE	Gizleme Süresi (sn)	
<b>0.007</b>	63.2475	0.9999	0.0313	0.101	63.2351	0.9999	0.0315	0.116	Baboon
<b>0.015</b>	56.9130	0.9996	0.1324	0.419	56.8668	0.9996	0.1318	0.440	
<b>0.031</b>	50.4573	0.9984	0.5853	0.411	50.4983	0.9984	0.5798	0.412	
<b>0.007</b>	63.1929	0.9998	0.0313	0.149	63.2297	0.9998	0.0311	0.111	Peppers
<b>0.015</b>	56.7597	0.9991	0.1371	0.504	56.7573	0.9991	0.1372	0.440	
<b>0.031</b>	50.4978	0.9964	0.5798	0.502	50.5367	0.9964	0.5747	0.408	
<b>0.007</b>	63.2046	0.9997	0.0313	0.106	63.2582	0.9997	0.0314	0.105	Female
<b>0.015</b>	56.8784	0.9986	0.1334	0.425	56.9472	0.9986	0.1313	0.476	
<b>0.031</b>	50.5212	0.9939	0.5767	0.422	50.4983	0.9938	0.5804	0.459	

Çalışmamızda hesaplanan BER değerleri 0 (sıfır) bulunmuştur. Bu da bize verinin kayıpsız geri alınabildiğini göstermektedir.

Şekil 4 (a)'da verilmiş olan kapak görüntüsüne Yöntem\_1 kullanılarak, 2 bit lsb veri gizlenmekte ve (b)'deki stego görüntü elde edilmektedir. Aynı şekilde Şekil 5'te de Yöntem\_2 kullanılarak 3 bit lsb yöntemi ile veri gizlenmektedir.



(a) (b)

Şekil 4. (a) Kapak Görüntü Kırmızı Renk Kanalı, (b) Stego Görüntü Kırmızı Renk Kanalı



(a) (b)

Şekil 5. (a) Kapak Görüntü Kırmızı Renk Kanalı, (b) Stego Görüntü Kırmızı Renk Kanalı

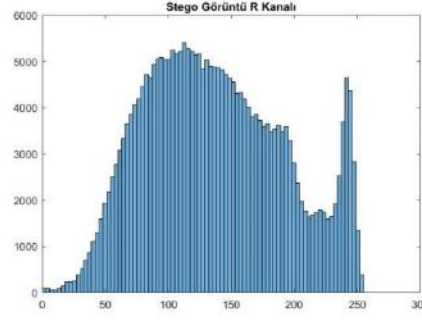
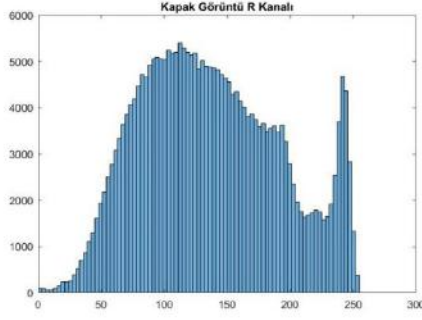
Şekil 6 ve Şekil 7'de verilen grafikleri Yöntem\_1 ve Yöntem\_2 ile veri gizleme işlemleri yapıldıktan sonra, kapak görüntü ile stego görüntüdeki histogram grafikleridir. Her iki yöntemde de 1 bit LSB ile veri gizlendiğinde histogramlarda

belirgin bozulmaların olmadığı, ancak 3 bit lsb ile veri gizlendiğinde histogramlardaki değişimlerin ayırt edilecek şekilde olduğu görülmektedir.

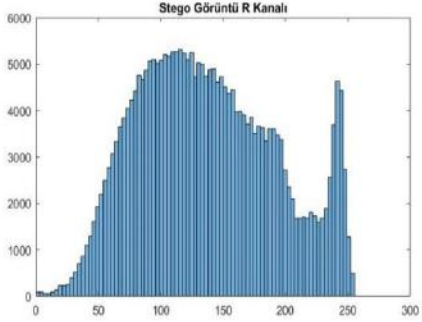
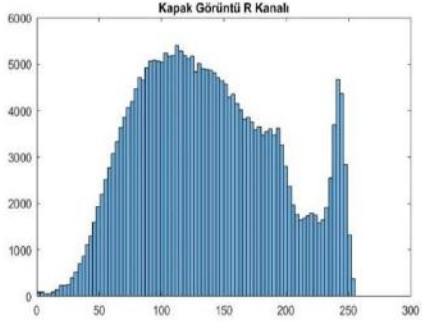
#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, gizli mesaj bitlerini gömmek için, görüntüdeki keskin kenar geçişlerinin olduğu pikselleri seçmek için kanal seçim kuralına dayalı iki yöntem önerilmiştir. Her iki yöntemde de PSNR ve SSIM değerlerinin birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Üretilen stego görüntülerin 1-lsb için ortalama PSNR değeri 63.2631 ve bpp değeri 0,007, 2-lsb için PSNR değeri 56.8598 ve bpp değeri 0.015, 3-lsb için PSNR değeri 50.5023 ve bpp değeri 0.03 bulunmuştur, bu değerlerin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Sonuçlar önerilen kanal seçim kurallarının gri tonlamalı resimlerde, veri gömmeden kaynaklanan gürültüleri azaltmak için kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Bu, saldırılara karşı stego görüntünün daha da güçlenmesini sağlamaktadır.

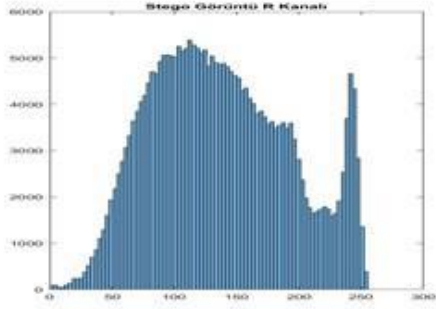
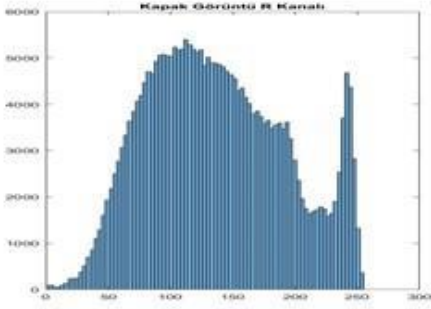
Elde edilen deneysel sonuçların, önerilen şema ile veri gizleme işleminden sonra stego görüntülerinin görsel kalitesini koruduğunu göstermektedir. Gelecekteki araştırmamızda, stego görüntülerin güvenliğini arttırmak ve tepe sinyal gürültü oranı değerlerini koruyarak, gizleme kapasitesini arttırmak hedeflenmektedir.



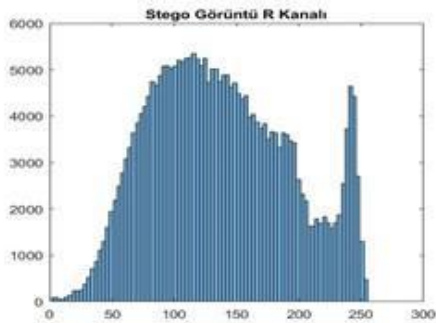
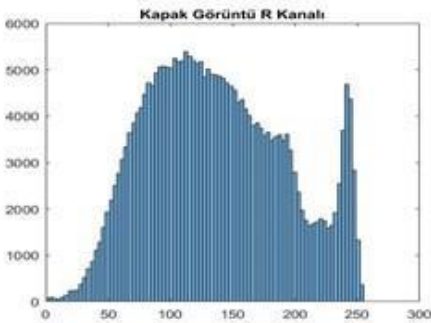
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6. (a) Yöntem\_1 Baboon görüntüsü 1 bit lsb veri gizleme görüntü histogramı, (b) Yöntem\_1 Baboon görüntüsü 3 bit lsb veri gizleme görüntü histogramı, (c) Yöntem\_2 Baboon görüntüsü 1 bit lsb veri gizleme görüntü histogramı, (d) Yöntem\_2 Baboon görüntüsü 3 bit lsb veri gizleme görüntü histogramı

## Kaynakça

- Cheddad, A., Condell, J., Curran K. ve Kevitt, P.M. (2010). Digital image steganography: Survey and analysis of current methods. *Signal Processing*, 90, 727-752.
- Chen, J., Zhu, Y., Shen Y. ve Zhang, W. (2010). Efficient Matrix Embedding Based on Random Linear Codes. *2010 International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, 879-883.
- Crandall, R. (1998). Some Notes on Steganography.
- Çataltaş, Ö. ve Tütüncü, K. (2017). Improvement of lsb based image steganography, *International Journal Of Electrical, Electronics And Data Communication*, 5.
- Fridrich, J. ve Soukal, D. (2006). Matrix embedding for large payloads. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 1, 390-395.
- Kanan, H. R. ve Nazeri, B. (2014). A novel image steganography scheme with high embedding capacity and tunable visual image quality based on genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 41, 6123-6130.
- Nguyen, T. D., Arch-int, S. ve Arch-int, N. (2015). A novel secure channel selection rule for spatial image steganography. *2015 12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 230-23.
- Nguyen, T. D., Arch-int, S. ve Arch-int, N. (2015). New Channel Selection Criterion for Spatial Domain Steganography. *2015 12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 230, 2015.
- Sabeti V., Samavi, S. ve Shirani, S. (2013). An adaptive LSB matching steganography based on octonary complexity measure. *Multimed Tools Appl*, 64, 777-793.
- Shah, P. D. ve Bichkar, R.S. (2021). Secret data modification based image steganography technique usng genetic algorithm having a flexible chromosome structure. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24, 782-94.
- Zhong, Y., Huang, F. ve Zhang, D. (2013). New Channel Selection Criterion for Spatial Domain Steganography. *Digital Forensics and Watermaking, Berlin, Heidelberg:Springer Berlin Heidelberg*, 7809, 1-7.





# Effect of Welding Parameters on Axial Shortening in Continuous Friction Welded Inconel 718 Superalloy and AISI 316L Stainless Steel

Ömer Karabey<sup>1\*</sup>, Ahmet Akkuş<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5726-9284), [omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr](mailto:omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6881-9333), [aakkus@cumhuriyet.edu.tr](mailto:aakkus@cumhuriyet.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081747)

**ATIF/REFERENCE:** Karabey, Ö. & Akkuş, A. (2022). Effect of Welding Parameters on Axial Shortening in Continuous Friction Welded Inconel 718 Superalloy and AISI 316L Stainless Steel. *European Journal of Science and Technology*, (34), 311-316.

## Abstract

In this study, nickel-based Inconel 718 superalloy and iron-based AISI 316L stainless steel were joined by friction welding using 27 different welding parameters. It is aimed to contribute to the literature on determining the initial length of the welded samples for similar applications to be made later by determining the axial shortening of the welded samples. Welding samples which have 12mm diameter and 70 mm length were prepared for Inconel 718 and AISI 316L. In the friction welding machine, AISI 316L stainless steel is attached to the rotating chuck and Inconel 718 superalloy is attached to the linear moving chuck. For continuous friction welding parameters, 3 different rotational speeds (1800-1600-1400 rpm), 3 different friction times for each rotational speed (16-12-6 s) and 3 different friction pressures (60- 40-20 MPa), forge pressure (120-80-40 MPa) and forge time (32-24-12 s) were determined. The axial shortenings of the samples which welded with these parameters were measured with the digital caliper. As a result, the maximum axial shortening was measured as 8.57 mm in the S1 sample, and the minimum shortening was measured as 1.39 mm in the S18 sample. When the welded samples are examined in macro terms, it has been seen that the HAZ is narrower on the Inconel 718 side. When the welding specimens were examined, cracks were observed on the flash on the Inconel 718 side. It was observed that axial shortening increased as friction and forge pressure increased at 1800 rpm and 1600 rpm. In all samples, the increase in friction and forge time increased axial shortening in length.

**Keywords:** Friction Welding, Inconel 718, AISI 316L, Superalloy, Stainless Steel, Dissimilar metal welds.

## Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilen Inconel 718 Süperalaşımı ve 316L Paslanmaz Çeliğinde Kaynak Parametrelerinin Eksenel Kısalmaya Etkisi

### Öz

Bu çalışmada nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımı ve demir esaslı AISI 316L paslanmaz çeliği 27 farklı kaynak parametresi kullanılarak sürekli sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklanan numunelerin boyca kısaltmaları belirlenerek sonrasında yapılacak benzer uygulamalar için kaynak numunelerinin ilk boyunun belirlenmesi konusunda literatüre katkı sunulması amaçlanmaktadır. Inconel 718 ve AISI 316L için 12 mm çapında ve 70mm boyunda kaynak numuneleri hazırlanmıştır. Sürtünme kaynak makinasında döner aynaya AISI 316L paslanmaz çeliği, doğrusal hareketli aynaya ise Inconel 718 süper alaşımı bağlanmıştır.

\* Corresponding Author: [omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr](mailto:omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr)

Sürekli sürtünme kaynağı ana etmen olarak 3 farklı devir (1800-1600-1400 dev/dk), her bir devir için 3 farklı sürtünme süresi (16-12-6 s) ve bu sürtünme sürelerinin alt indisi olarak 3 farklı sürtünme basıncı (60-40-20 MPa), yığma basıncı (120-80-40 MPa) ve yığma süresi (32-24-12 s) seçilmiştir. Bu parametrelerle birleştirilen numunelerde dijital kumpas ile numunelerdeki boyca kısalmalar ölçülmüştür. Sonuç olarak maksimum boyca kısalma S1 numunesinde 8,57 mm, minimum boyca kısalma ise S18 numunesinde 1,39 mm olarak ölçülmüştür. Kaynaklı numuneler makro olarak incelendiğinde ITAB bölgesinin Inconel 718 tarafında daha dar olduğu görülmüştür. Kaynak çapakları incelendiğinde Inconel 718 tarafında çaplarda çatlamlar görülmüştür. 1800 rpm ve 1600 rpm devir sayısında sürtünme ve yığma basıncı arttıkça boyca kısalmanın arttığı gözlemlenmiştir. Tüm numunelerde sürtünme ve yığma süresinin artışı boyca kısalmayı artırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme Kaynağı, Inconel 718, AISI 316L, Süperalaşım, Paslanmaz Çelik, Farklı Malzemelerin Kaynağı.

## 1. Introduction

Metals and alloys of these metals, which are difficult to join with fusion welding methods, can be easily joined together by friction welding method. Friction welding is a solid state process used to join two materials with the same or different chemical properties, without any filler material, under a certain force with frictional heat. It is examined under two main headings as friction welding and friction stir welding. Friction welding is generally used to join rod-shaped parts, while friction stir welding is used to join sheet materials. In friction welding, a quality joint can be achieved by configuring the parameters of rotational speed (rpm), friction pressure (MPa), forge pressure (MPa), friction time (s) and forge time (s). At the same time, it is seen that the HAZ (Heat Affected Zone) is quite narrow in friction welding compared to other welding methods. Thus, the part where the metallurgical structure of the welding zone changes remains in a very small region [1-5].

Lalam S.V. et al. welded the nickel-based Inconel 718 superalloy and the EN24 steel alloy by friction welding. They welded the materials with a single parameter, 28 kN friction pressure, 41.73 kN forge pressure, 1422 rpm rotational speed and 5 mm on burn-off length. The welded parts were subjected to two different heat treatments after welding. The first heat treatment was carried out according to the quenching and tempering data of the EN24 steel alloy. The heat treatment cycle was completed by heating at 850 °C for 30 minutes, quenching in oil at 220 °C for 3 hours and then cooling in air. The second heat treatment cycle was performed according to the duplex aging data of Inconel 718. The heat treatment cycle was completed by heating at 1065 °C for 1 hour, after cooling in air for 10 hours at 760 °C, after cooling in the furnace at 650 °C for 20 hours and then left to air cool. The microstructure, tensile and yield strength and charpy impact strength were compared in the welds made with these parameters. As a result, friction welding of two dissimilar metals were observed good toughness and low strength compared to base metals. After the first heat treatment, the toughness decreased but the strength increased, after the second heat treatment, a marginal increase in strength and a significant decrease in toughness were observed [6].

Li W-Y. et al. welded 45 (1045) steel with linear friction welding at different friction times (0.5-1-1.5-2-3-4 s). Axial shortenings and flash shapes were compared after welding. As a result, it is stated that a solid weld will be formed in 3 seconds of friction time and the axial shortening increases exponentially with increasing friction time. They have seen that the flash structure in the friction direction is in the form of a wave strip, the flash in the vertical direction is in the form of a curved swirl and the vertical flash is shorter [7].

Rehman A. U. et al. welded Inconel 718 and Inconel 600 nickel-based superalloys by rotary friction welding. They welded with 60 MPa friction pressure, 3 s friction time, 1500 rpm rotational speed, 80 MPa upset pressure and 6 s upset time parameters. The tensile strength and microstructure characteristics of welded parts at room temperature were investigated. As a result, they stated that ruptures and unwanted phases did not occur in the welds. Higher hardness and some grain coarsening was observed at the weld interface. Due to grain coarsening, the rupture was occurred in the HAZ [8].

Gobu N. and Mahadevan K. welded nickel-based superalloy Inconel 600 and AISI 304L austenitic stainless steel with friction welding. They welded with the parameters of 35 MPa friction pressure, 3 s friction time, 35 MPa forge pressure, 3 s forge time and 1000 rpm rotational speed. Tensile strength, hot tensile strength, charpy impact strength, hardness distribution and microstructure were evaluated in the welds. As a result, the maximum tensile strength was found to be 500 MPa and the maximum tensile strength at 300 °C was 487 MPa. They found a maximum hardness of 216 HV near the weld interface of the Inconel 600 superalloy and 199 HV in AISI 304L austenitic stainless steel [9].

Çavuşoğlu N. welded Inconel 713C and AISI 4140 materials with friction welding in his study. The rotation speed was fixed at 2400 rpm in all welding processes. In addition, he welded these two different metals with 9 different welding parameters by changing the friction pressure, friction time, forge pressure and forge time. He investigated metallurgical changes in tensile strength, hardness and microstructure on welded specimens. The highest strength was found to be 718 N/mm<sup>2</sup> with the parameters of 20 kg/cm<sup>2</sup> friction pressure, 15 s friction time, 50 kg/cm<sup>2</sup> forge pressure and 3 s forge time. He stated that all of the welded samples had an increase in hardness in the HAZ. He was stated in the tensile tests that the rupture occurred in AISI 4140 steel. As a result, with SEM and EDS analyzes,  $\gamma$  and  $\gamma'$  - Ni<sub>3</sub>(Al, Ti) phases were observed in the matrix at the friction welding joints and  $\gamma''$  - Ni<sub>3</sub>Nb phases at the grain boundaries. He also showed that the carbides deposited at the grain boundaries were formed by Nb [10].

In this study, nickel-based alloy Inconel 718 super alloy and AISI 316L stainless steel were welded with continuous friction welding. Welding samples of 12 mm diameter and 70 mm length were prepared for Inconel 718 and AISI 316L. In the friction welding machine, AISI 316L stainless steel is attached to the rotating chuck and Inconel 718 superalloy is attached to the linear moving chuck. For continuous friction welding parameters, 3 different rotational speeds (1800-1600-1400 rpm), 3 different friction times for each rotational speed (16-12-6 seconds) and 3 different friction pressures (60- 40-20 MPa), forge pressure (120-80-40 MPa) and forge time (32-24-12 s) were determined. In line

with these parameters, there were welded 27 different samples. The axial shortenings of the samples which welded with these parameters were measured with the digital caliper. Thus, when these two different materials are welded with friction welding, it will be predicted how much they will shorten in axial length.

## 2. Material and Method

Inconel 718 which is determined for welding, is called a nickel-based superalloy. It has excellent oxidation and corrosion resistance along with high tensile and creep properties. The chemical properties of this superalloy are given in Table 1. Another welded part is Fe based AISI 316L stainless steel. Stainless steels are known for their good ductility, reasonable formability, excellent corrosion resistance and high toughness. The chemical properties of AISI 316L stainless steel are given in Table 2.

Table 1. Chemical Composition of Inconel 718 [11]

<b>Element</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Nb</b>	<b>Mo</b>	<b>Co</b>	<b>Ti</b>	<b>Al</b>
<b>wt.%</b>	50~55	17~21	Bal.	4.75~5.5	2.8~3.3	<1.0	0.65~1.15	0.20~0.80
<b>Element</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cu</b>	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	
<b>wt.%</b>	<0.35	<0.35	<0.3	<0.08	<0.015	<0.0015	<0.006	

Table 2. Chemical Composition of AISI 316L [12]

<b>Element</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Fe</b>
<b>wt.%</b>	0.03	1.0	2.0	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	0.03	0.045	Balance

Inconel 718 superalloy and AISI 316L stainless steel taken as full length are cut to 70 mm length. In order to ensure that all the surfaces to be welded on the cut samples are of the same surface quality, the samples were subjected to sanding with 180-600-1200 mesh SiC sandpapers. The sanded surfaces were polished to the broadcloth as a final operation before the friction welding process. The samples were cleaned in an ultrasonic bath at 40 °C for 5 minutes in 10% acetone solution before welding.

Friction welding specimens were welded in Firat University, Faculty of Technical Education, Department of Metal Education. The photo of the welding machine is given in Figure 1 [13].

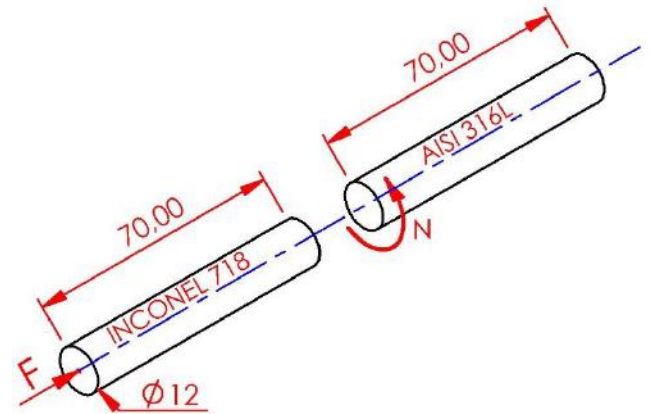


Figure 2. Sample dimensions and friction welding schematic

Before welding, approximate welding parameters were determined with a few experiments. A total of 108 welded samples were made with 27 different welding parameters. Welding parameters are given in Table 3.

Table 3. Friction welding parameters

Samples	Specified Parameters				
	Rotation Speed (rpm)	Friction Time (s)	Friction Pressure (MPa)	Forge Pressure (MPa)	Forge Time (s)
S1	1800	16	60	120	32
S2			40	80	
S3			20	40	
S4		12	60	120	24
S5			40	80	
S6			20	40	
S7		6	60	120	12
S8			40	80	
S9			20	40	
S10		1600	16	60	120
S11	40			80	



Figure 1. Continuous friction welding machine

For friction welding, AISI 316L stainless steel is attached to the rotating chuck and Inconel 718 superalloy is attached to the linear moving chuck, and all welding samples are weld.

Welding schematic and sample dimensions are given in Figure 2.

S12		12	20	40	24
S13			60	120	
S14			40	80	
S15		6	20	40	12
S16			60	120	
S17			40	80	
S18		16	20	40	32
S19			60	120	
S20			40	80	
S21	1400	12	20	40	24
S22			60	120	
S23			40	80	
S24		6	20	40	12
S25			60	120	
S26			40	80	
S27			20	40	

Photographs of the welded S1, S2, S3 samples are given in Figure 3.

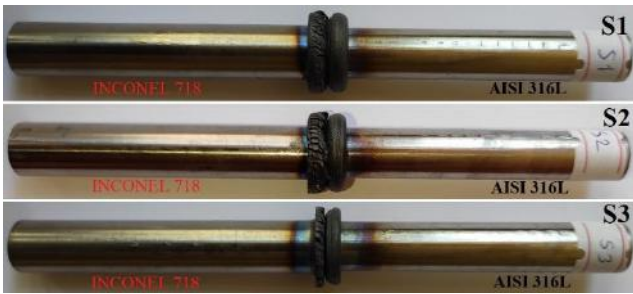


Figure 3. Welded samples S1, S2 and S3

Photographs of the welded S2, S5, S8 samples are given in Figure 4.

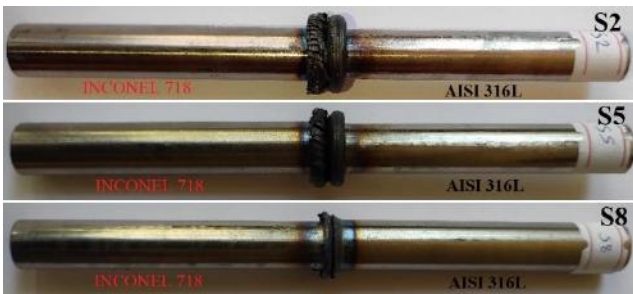


Figure 4. Welded samples S2, S5 and S8

The photographs of the welded S1, S10, S19 samples are given in Figure 5.

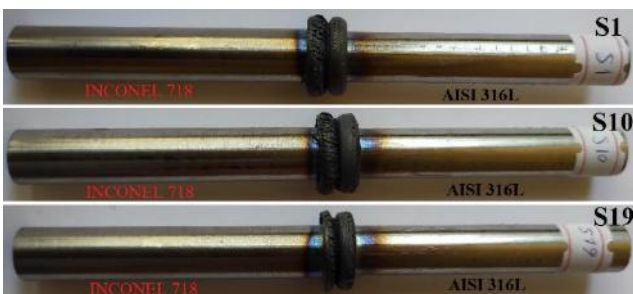


Figure 5. Welded samples S1, S10 and S19

The welded samples were measured from the middle of the welding flash with a digital caliper and subtracted from the total length of 70 mm, and the axial shortening was calculated.

### 3. Results and Discussion

Axial shortenings in length for Inconel 718 and AISI 316L samples are given in Figure 6 in graphic form. The total length axial shortening in welded samples is given in Table 4.

In this study, the axial shortening of the samples was evaluated according to the change in welding parameters. At the same time, the effect of changes in parameters such as rotational speed, friction time, friction pressure, forge pressure and forge time on the axial shortening of friction welded samples has been interpreted. There is no study in the literature joining Inconel 718 superalloy and AISI 316L stainless steel with continuous friction welding. With these data, it will be predicted how much the length of the post-weld parts will be shortened in academic or commercial studies to be carried out afterwards. Thus, it will be useful to determine the initial lengths of the parts to be welded.

Table 4. Total axial shortening of welded samples

Sample Number	Inconel 718 Axial Shortening (mm)	AISI 316L Axial Shortening (mm)	Total Axial Shortening(mm)
S1	2,9	5,67	8,57(Max)
S2	2,84	5,43	8,27
S3	1,75	3,89	5,64
S4	2,58	4,68	7,26
S5	1,61	3,63	5,24
S6	1,01	2,27	3,28
S7	1	2,53	3,53
S8	0,57	1,62	2,19
S9	0,26	1,24	1,5
S10	2,81	5,23	8,04
S11	2,16	3,13	5,29
S12	1,95	4,12	6,07
S13	2,15	4,26	6,41
S14	1,21	3,11	4,32
S15	1,08	2,65	3,73
S16	0,75	2,13	2,88
S17	0,45	1,86	2,31
S18	0,27	1,12	1,39(Min)
S19	2,12	4,24	6,36
S20	2,24	4,46	6,7
S21	2,3	4,61	6,91
S22	1,51	3,16	4,67
S23	1,77	3,47	5,24
S24	1,13	2,97	4,1
S25	0,44	1,13	1,57
S26	0,27	1,57	1,84
S27	0,39	1,63	2,02

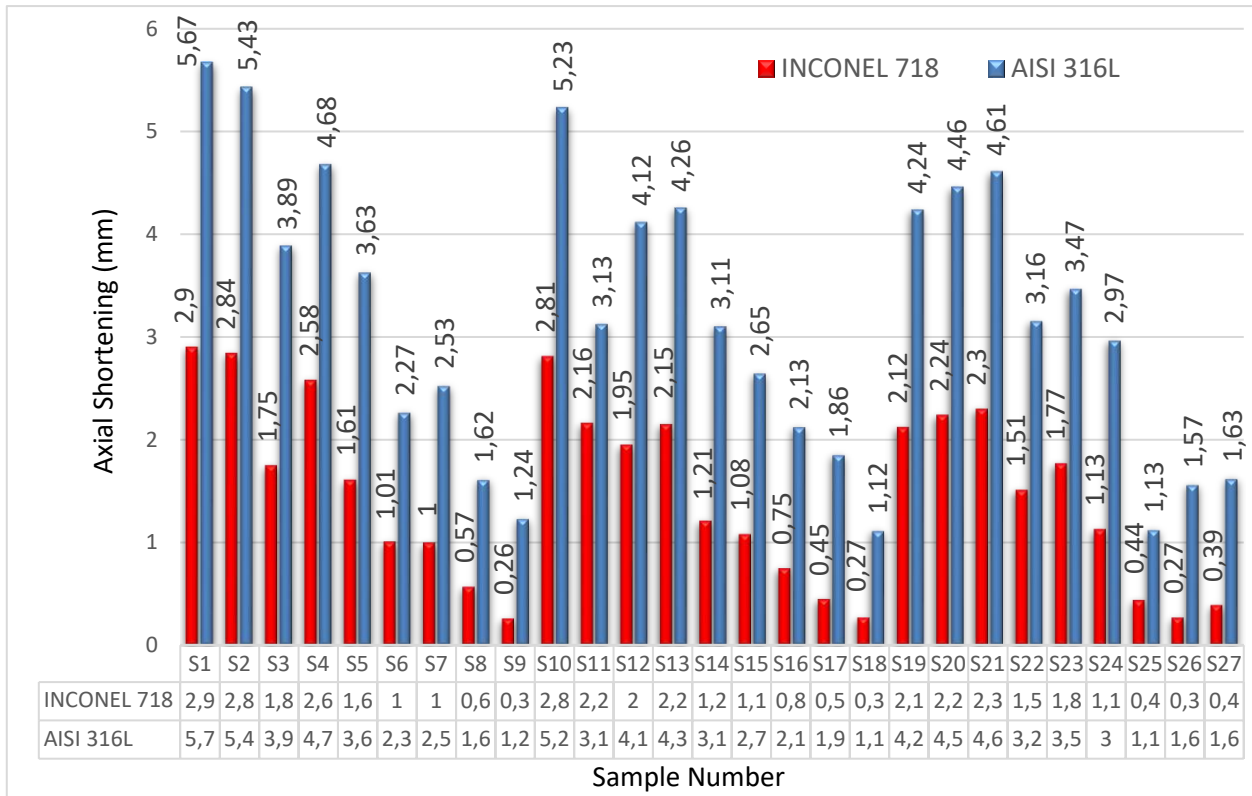


Figure 6. Axial shortening graph for Inconel 718 and AISI 316L

#### 4. Conclusions and Recommendations

The axial shortening of the samples was evaluated for 27 different welding parameters in the joining of nickel-based Inconel 718 superalloy and AISI 316L stainless steel with friction welding. In all welds, it has been observed that the axial shortening in AISI 316L material is more than Inconel 718 material. The axial shortening in the total length of the samples was observed to be 8.57 mm at the most in the S1 sample and as 1.39 mm at the least in the S18 sample. When the welded samples are examined in macro terms, it has been seen that the HAZ is narrower on the Inconel 718 side. In addition, cracks were observed in the welding flash of Inconel 718 material. It was observed that axial shortening in length increased as friction and forge pressure increased at 1800 rpm and 1600 rpm. The increase in friction and forge time increased the axial shortening in all samples.

In future studies, the tensile strength, hardness distribution, creep strength and microstructure of these welded parts will be evaluated.

#### 5. Acknowledge

This work is supported by the Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University under the project number M-789.

#### References

- [1] E. T. Akinlabi and R. M. Mahamood, *Solid-State Welding : Friction and Friction Stir Welding Processes*. 2020.
- [2] A. Dede, U. Soy, and S. Aslanlar, "Sürtünme Kaynak Yöntemi," *SAU Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 6, no. 1, pp. 7–12, 2002.
- [3] M. Maalekian, "Friction welding-critical assessment of literature," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 12, no. 8, pp. 738–759, 2007.
- [4] I. Kirik and N. Ozdemir, "Effect of process parameters on the microstructure and mechanical properties of friction-welded joints of aisi 1040/aisi 304l steels," *Mater. Tehnol.*, vol. 49, no. 5, pp. 825–832, 2015.
- [5] A. P. Ramesh, M. Subramaniyan, and P. Eswaran, "Review on friction welding of similar/dissimilar metals," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1362, no. 1, Nov. 2019.
- [6] S. V. Lalam, G. M. Reddy, T. Mohandas, M. Kamaraj, and B. S. Murty, "Continuous drive friction welding of Inconel 718 and EN24 dissimilar metal combination," *Mater. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 7, pp. 851–861, Jul. 2009.
- [7] W. Y. Li *et al.*, "Effect of friction time on flash shape and axial shortening of linear friction welded 45 steel," *Mater. Lett.*, vol. 62, no. 2, pp. 293–296, Jan. 2008.
- [8] A. U. Rehman, Y. Usmani, A. M. Al-Samhan, and S. Anwar, "Rotary Friction Welding of Inconel 718 to Inconel 600," *Met. 2021, Vol. 11, Page 244*, vol. 11, no. 2, p. 244, Feb. 2021.
- [9] N. Gobu and K. Mahadevan, "Evaluation Of Mechanical And Metallurgical Properties Of Friction Welded Inconel 600 And Aisi 304l Austenitic Stainless Steel Dissimilar Joints," *J. Manuf. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 171–177, 2016, Accessed: Feb. 26, 2022.
- [10] N. Cavoşoglu, "Effect of Friction Welding Parameters on

the Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar IN713C-AISI 4140 Joints,” *J. Mater. Eng. Perform.*, pp. 1–14, Jan. 2022.

- [11]“ASM Material Data Sheet Inconel 718.” <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=NINC34> (accessed Feb. 27, 2022).
- [12]“316L Stainless Steel Chemical Properties.” <https://bircelik.com/tr/kategori/316l-1-4404-> (accessed Feb. 27, 2022).
- [13]Kirik I. and Ozdemir N., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinesi İmalatı ve Farklı Özellikteki AISI 1040/AISI 3041 Çelik Çiftlerinin Sürtünme Enerjisi Kullanılarak Birleştirilmesi,” *e-Journal New World Sci. Acad.*, vol. 7, no. 3, pp. 60–72, 2012, Accessed: Feb. 27, 2022.



# Taş Kolonlarla İyileştirilen Yumuşak Zeminlerin Deprem Etkisi Altındaki Deplasman Analizi

Ferhat Şahinkaya<sup>1\*</sup>, Gökhan Demir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5534-7058), [ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr](mailto:ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr)

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3734-1496), [gokhan.demir@omu.edu.tr](mailto:gokhan.demir@omu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081844)

**ATIF/REFERENCE:** Şahinkaya, F. & Demir, G. (2022). Taş Kolonlarla İyileştirilen Yumuşak Zeminlerin Deprem Etkisi Altındaki Deplasman Analizi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 317-320.

## Öz

Şüphesiz depremler, tüm dünyada ve ülkemizde, önlem alınmadığı takdirde, can ve mal kayıplarına sebep olan önemli doğa olaylarından biridir. Bir yapıda taşıyıcı sistem ne kadar sağlam olursa olsun, deprem sırasında zeminin taşıma gücünün azalması sebebiyle meydana gelen aşırı deplasman durumunda, yapının zarar görmemesi mümkün olmayacaktır. Bu çalışmada, bir derin iyileştirme yöntemi olan taş kolon yöntemi kullanılarak, Plaxis 2D sonlu elemanlar programı vasıtasıyla oluşturulan zemin modelleri ile deprem analizleri yapılmıştır. Analizlerde 24 Ocak 2020 tarihinde Türkiye'nin Elazığ şehrinde meydana gelen ve büyük kayıplara sebep olan depremin ivme kaydı kullanılmıştır. Taş kolonsuz zemin ile yapılan dinamik analizler sonrasında zemine, 60 cm çapında, taş kolonların merkezleri arası mesafenin (s) taş kolon çapına (D) oranı  $s/D=2$  olacak şekilde taş kolon uygulaması yapılmıştır. Daha sonra taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ )  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$  olarak değiştirilerek, dinamik analizler tekrar edilmiştir. Sonuç olarak deprem sırasında taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modelleri için zeminin dinamik zamana bağlı deplasman değişimleri incelenmiştir. Taş kolonların deprem sırasında meydana gelebilecek deplasmanları engellediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yumuşak zemin, Taş kolonlar, Deprem etkisi, Deplasman, Sonlu elemanlar

## Displacement Analysis of Soft Soils Improved with Stone Columns Under the Effect of Earthquake

### Abstract

Undoubtedly, earthquakes are one of the important natural events that cause loss of life and property all over the world and in our country, unless precautions are taken. No matter how strong a structure is, it will not be possible for the structure not to be damaged in case of excessive displacement due to the decrease in the bearing capacity of the soil during an earthquake. In this study, soil models improved with stone columns, which is a deep remediation method, were created using the Plaxis 2D finite element program and dynamic analyzes were performed. In the analysis, the acceleration record of the earthquake that occurred in Elazığ, Turkey on January 24, 2020 and caused great losses was used. After the dynamic analyzes with the stone columnless soil, a stone column was applied to the soil with a diameter of 60 cm, with the ratio of the distance between the centers of the stone columns (s) to the diameter of the stone columns (D) being  $s/D=2$ . Then, the internal friction angle ( $\phi$ ) of the stone column material was changed to  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$  and dynamic analyzes were repeated. As a result, dynamic time-dependent displacement changes of the soil were investigated for the soil models with and without stone columns during the earthquake. It has been observed that the stone columns prevent the displacements that may occur during the earthquake.

**Keywords:** Soft soil, Stone columns, Earthquake effect, Displacement, Finite elements

\* Corresponding Author: [ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr](mailto:ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr)

## 1. Giriş

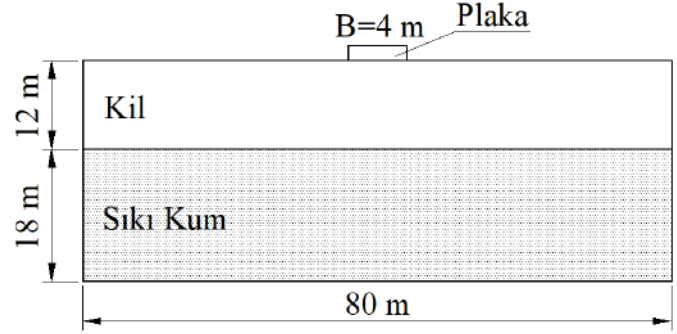
Geçmişten günümüze kadar yapılan birçok çalışmaya bakıldığında, depremin zeminler üzerindeki etkisinin yeni yeni incelenmeye başlandığı görülmektedir. Bu durumun ana sebebi, zemin alanında nonlineer analiz yapabilen bilgisayar yazılımlarının son yıllarda kayda değer bir şekilde geliştirilmiş olmasıdır. Bu çalışmada, özellikle geoteknik alanında kendini ispatlamış ve birçok firma tarafından kullanılmakta olan Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımının dinamik modülü kullanılmıştır. Programda taş kolonlu ve taş kolonsuz olarak zemin modelleri oluşturulduktan sonra, 24 Ocak 2020 tarihinde Türkiye'nin Elazığ şehrinde meydana gelen depremin ivme kaydı kullanılarak, her iki model tabanından deprem etkisi uygulanmıştır. Her iki zemin modeline simetrik bir şekilde yerleştirilen 4 metre genişliğindeki plaka temel in orta noktası işaretlenerek, bu noktada deprem sırasında y yönündeki hareketin değişim grafikleri oluşturulmuştur.

Sonlu elemanlar kullanılarak taş kolonlarla iyileştirilen zeminlerin yarı-statik analizlerinin yapıldığı bir çalışmada, taş kolonların çap, derinlik, aralık ve malzeme parametrelerinin taşıma gücü ile temelde meydana gelen deplasmana ne kadar etki ettiği kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle taş kolon çapının ve taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısının artışıyla, taşıma gücünde meydana gelen kayıplar ve temelde meydana gelen düşey yönlü deplasmanlar kayda değer bir şekilde azalmıştır (Sahinkaya vd., 2017). Sonlu elemanlar programlarıyla yapılan dinamik çalışmaların yanı sıra laboratuvar ortamında oluşturulan modeller üzerine tekrarlı yük uygulanarak da zeminin sismik yüke maruz kaldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Örneğin belirli boyutlarda laboratuvar ortamında oluşturulmuş laminer kutu kullanılarak, geogrid sargılı taş kolonlarla iyileştirilen zeminin tekrarlı yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Deneyler sonucunda sargılı taş kolonların, sargısız taş kolonlardan daha az miktarda oturduğu görülmüştür (Cengiz ve Güler, 2017). Yine sonlu elemanlar programıyla yapılan bir sayısal analiz çalışmasında kuru kum üzerine inşa edilen sığ bir temelin sismik oturmasını araştırmak için 105 adet sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Çalışmada temel üzerine uygulanan yükün miktarı, kumun yoğunluğu, model boyutları, mesh sıklığı vb. parametrelerin sismik oturmaya ne kadar etki ettiği kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, temel üzerine uygulanan yükün ve en yüksek yer ivmesinin artırılması ile oturmaların önemli ölçüde arttığı görülmüştür (Alzabeebe, 2020).

## 2. Zemin modelinin oluşturulması

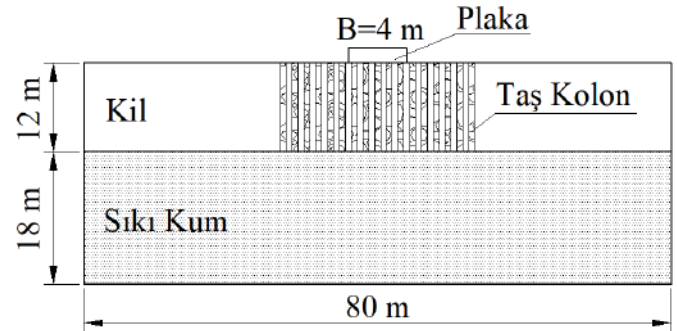
Dinamik analizlerde kullanılacak model boyutunun seçimi, sonucun gerçeğe daha yakın olması için büyük önem arz etmektedir. Bu noktada ana kaya derinliği birçok farklı çalışma da 30-40 metre aralığında seçilmiş olduğundan model derinliği 30 metre olarak belirlenmiştir (Zhang ve Chen, 2018; Zhang ve Liu, 2020; Alzabeebe, 2019; Meena ve Nimbalkar, 2019). Ayrıca

model üzerine tanımlanan ağ (mesh) yoğunluğunun ve model genişliğinin sonuçlara doğrudan etki ettiği yapılan diğer çalışmalarda da görülmektedir. Bu kapsamda yapılmış bir çalışmada model genişliğinin 40 metrenin altında seçilmesi durumunda sonuçların azalarak gerçeklikten uzaklaştığı, 40 metre ve üzerinde seçilen genişliklerde ise sonuçların değişmediği gözlemlenmiştir (Alzabeebe, 2020). Bu ve buna benzer literatürde yer alan diğer çalışmalarda incelenerek model genişliği 80 metre derinliğinin ise 12 metrelik kil, 18 metrelik kum olmak üzere toplamda 30 metre olarak belirlenmiştir. Kil tabakasının kalınlığı, taş kolon uygulama derinliği de göz önünde bulundurularak, plaka temel genişliğinin üç katı (3B) olarak seçilmiştir. Taş kolonsuz zemin modeli Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Taş kolonsuz zemin modeli

Taş kolonsuz zemin modeli ile yapılan dinamik analizler tamamlandıktan sonra zemine, 60 cm çapında, temel genişliğinin üç katı derinliğinde ve taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) 35°, 40°, 45° olacak şekilde taş kolon uygulaması yapılmıştır. Taş kolonlu zemin modeli örneği Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Taş kolonlu zemin modeli

Çalışmada zemin modelleri deprem etkisinde analiz edileceğinden, modellerde kullanılacak malzeme özellikleri de büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda literatürde yapılan birçok çalışmada da dinamik analiz söz konusu olduğunda, histeritik sönümleme özelliğinin içinde barındırması sebebiyle, HSsmall (Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness) modelin sıklıkla tercih edildiği görülmektedir (Raikar, 2016). Yapılan bu çalışmada da kullanılan yumuşak kil, sıkı kum ve taş kolon malzemeleri HSsmall modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılan yumuşak kil, sıkı kum ve taş kolonun malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

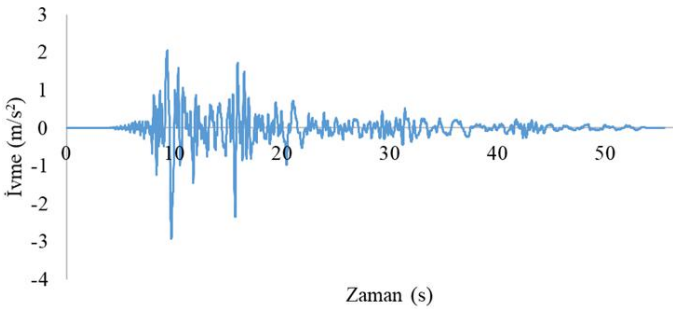


Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Kil	Sıkı kum	Taş kolon
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık, $\gamma_k$ (kN/m <sup>3</sup> )	15	20	19
Suya Doygu Birim Hacim Ağırlık, $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	20	22
Permabilite, $k_x, k_y$ (m/gün)	$1 \times 10^{-8}$	10	100
Drenajlı üç eksenli deneylerle elde edilen sekant rijitliği, $E_{50}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	4000	$60 \times 10^3$	$27 \times 10^3$
Drenajlı odömetre deneyleriyle elde edilen tanjant rijitliği, $E_{oed}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	3000	$60 \times 10^3$	$27 \times 10^3$
Elastik yükleme/boşaltma rijitliği, $E_{ur}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	10000	$180 \times 10^3$	$70 \times 10^3$
Zeminin gerilme bağımlı sertliği, power (m)	1	0.4	0.5
Poisson Oranı, $\nu$	0.2	0.15	0.3
Kohezyon, $c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	15	1	$1 \times 10^{-8}$
İçsel Sürtünme Açısı, $\phi$ (°)	1	40	35/40/45
Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı, $K_0$	0.966	0.344	0.32
Maksimum kayma modülü, $G_{0ref}$	$3.3 \times 10^4$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$
Kayma birim deformasyonu, $\gamma_{07}$	$0.2 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$

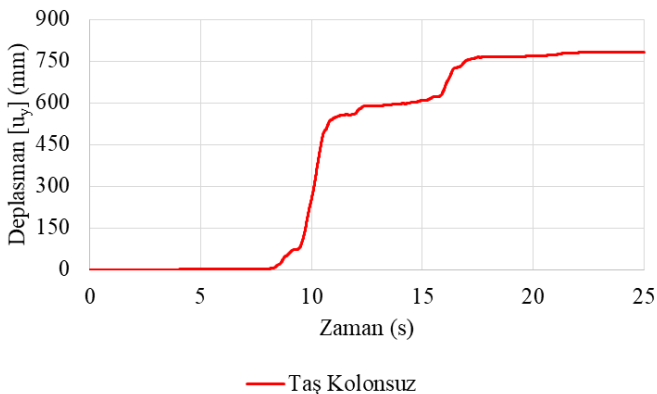
### 3. Sonlu elemanlar analizi

Deprem etkisinde deplasman analizleri ilk olarak taş kolonsuz zemin modeli ile yapılmıştır. Elazığ depremi toplam 55,5 saniye sürmüş olup ilk 25 saniye sonrasında deplasmanda bir değişim olmadığı için analizlerde ivme-zaman kaydının ilk 25 saniyesi kullanılmıştır. Elazığ depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 3'te görülmektedir.



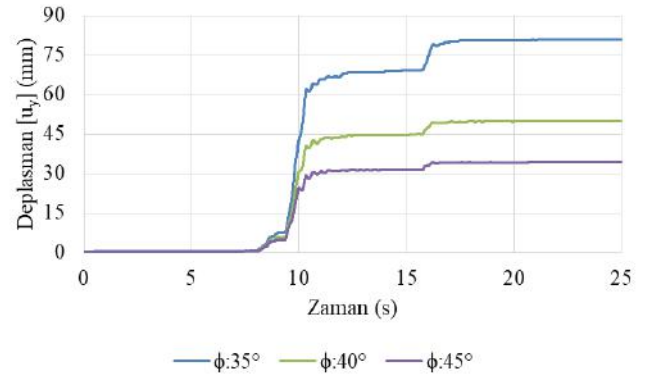
Şekil 3. Elazığ depremi ivme-zaman grafiği

Kohezyon değeri 15 kN/m<sup>2</sup> olan taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modelleri ile yapılan deplasman analizlerinde, taş kolonsuz zeminin nihai taşıma gücü değeri olan 88,67 kN/m<sup>2</sup>'lik yayılı yük kullanılmıştır. Bu yük etkisinde temelin orta noktasında deprem sırasında meydana gelen deplasman değişimleri, taş kolonsuz zemin modeli için Şekil 4'te, taş kolonlu zemin modelleri için ise içsel sürtünme açısındaki değişime bağlı olarak (35°, 40°, 45°) Şekil 5'te verilmiştir.



— Taş Kolonsuz

Şekil 4. Taş kolonsuz zeminin deprem etkisinde deplasman değişimi



Şekil 5. Taş kolonlu zeminin deprem etkisinde deplasman değişimi

### 4. Bulgular

Elazığ depremi sonrasında taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modellerinde, temelin orta noktasında meydana gelen deplasmanlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deprem sonrası deplasmanlar

Çap (D)	Aralık (s/D)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )	Deplasman (mm)	Deplasman Azalma Miktarı
60 cm	s/D=2	35°	80,85	%90
		40°	49,98	%94
		45°	34,41	%96
Taş Kolonsuz Zemin Modeli			781,40	

Tablo 2'de yer alan deplasman miktarları incelendiğinde, deprem sonrasında temel plakasının orta noktasında taş kolonsuz zemin modelinde 781,40 mm'lik deplasman meydana gelirken, 35°, 40°, 45°'lik içsel sürtünme açılara sahip taş kolon

malzemeleri ile iyileştirilen zemin modellerinde sırasıyla 80,85 mm, 49,98 mm ve 34,41 mm'lik deplasmanlar meydana gelmiştir.

## 5. Sonuçlar ve öneriler

Elazığ depremi etkisinde yapılan deplasman analizlerinde, taş kolonsuz zemin modelinde meydana gelen deplasman miktarı, kabul edilebilir sınırların oldukça dışında kalmıştır. Bu durum yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinin gerekliliğini açıkça göstermektedir. Taş kolonlarla iyileştirilen modeller üzerinde yapılan analizlerde ise deplasman miktarları 10 cm'nin altına düşerek kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Taş kolonsuz zemine göre deprem sonrası meydana gelen deplasmanlar ortalama %93 azalmıştır. Taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısındaki artışa bağlı olarak (35°, 40°, 45°) deplasman miktarları sırasıyla %90, %94 ve %96 azalmıştır. Sonuç olarak taş kolonlar deprem sırasında meydana gelen ve yapının zarar görmesine sebep olabilecek ölçüdeki deplasman değerlerini, kabul edilebilir seviyelere kadar azalmıştır. Yapılan bu çalışma, özellikle yumuşak zeminlerin yer aldığı ve deprem riski bulunan bölgelerde, taş kolonlar gibi derin iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasının, can ve mal kayıplarının engellenmesi konusunda hayati önem taşıdığını göstermektedir.

## Kaynakça

- Alzabeebee S., Seismic response and design of buried concrete pipes subjected to soil loads. *Tunn Undergr Sp Technol* 93:103084, 2019.
- Alzabeebee, S., Seismic settlement of a strip foundation resting on a dry sand. *Natural Hazards*, 103, 2395–2425. University of Al-Qadisiyah, Al-Qadisiyah, 2020.
- Cengiz C. ve Güler E., Deprem Yüklerine Maruz Kalmış Geosentetik Donatılı Taş Kolonların Yük Taşıma Performansları ve Deformasyon Modları, Yedinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbulG.
- R. Faulhaber, “Design of service systems with priority reservation,” in *Conf. Rec. 1995 IEEE Int. Conf. Communications*, pp. 3–8 2017.
- Meena NK. and Nimbalkar S., Effect of water drawdown and dynamic loads on piled raft: two-dimensional finite element approach. *Infrastructures* 4(4):75, 2019.
- Raikar P. Modelling Soil Damping for Suction Pile Foundations. Master of Science Thesis, Delft University of Technology., 2016
- Sahinkaya F., Vekli, M. and Cadir C.C., Numerical analysis under seismic loads of soils improvement with floating stone columns. *Natural Hazard*, Volume 88, Issue 2, pp 891–917, 2017.
- Zhang J., Chen Y., Experimental study on mitigations of seismic settlement and tilting of structures by adopting improved soil slab and soil mixing walls. *Sustainability* 10(11):4069, 2018.
- Zhang L., Liu Y., Numerical investigations on the seismic response of a subway tunnel embedded in spatially random clays. *Undergr Sp* 5(1):43–52, 2020.



# Yeni Bir Türkçe Sesli Kitap Veri Seti Üzerinde Convolutional RNN+CTC, LSTM+CTC ve GRU+CTC Modellerinin Karşılaştırılması

Halil İbrahim Yalman <sup>1\*</sup>, Zekeriya Tüfekci <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0841-1309), halilyalman@hotmail.com.tr

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7835-2741), ztufekci@cu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082109)

**ATIF/REFERENCE:** Yalman, H. İ. & Tüfekci, Z. (2022). Yeni Bir Türkçe Sesli Kitap Veri Seti Üzerinde Convolutional RNN+CTC, LSTM+CTC ve GRU+CTC Modellerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 321-327.

## Öz

Konuşma tanıma insanların çıkardığı ses dalgalarının yazıya dönüştürülmesi işlemidir. Geçmişten günümüze birçok konuşma tanıma modeli ve veri seti üretilmekle beraber ülkemizde bu konuda bir eksiklik olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu çalışmada, Türkçe konuşma tanıma sistemleri için sesli kitaplardan oluşan özgün bir veri seti geliştirilmiştir. Bu veri seti halihazırda oluşturulmuş olan sesli kitapların bölünmesi yoluyla hazırlanmıştır. Bu veri seti üzerinde Evrişimli Sinir Ağları (CNN) ve Bağlantıcı Zamansal Sınıflandırma (CTC) ile birlikte Yinelemeli Sinir Ağı (RNN), Uzun Kısa Süreli Hafıza (LSTM), Geçitli Tekrarlayan Birimler (GRU) modellerinin performansı incelenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre performansı en yüksek olan model LSTM olması ile birlikte daha az parametre kullanan GRU modelinin konuşma tanıma oranı LSTM modelinin konuşma tanıma oranına yakın çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Konuşma Tanıma, Derin Öğrenme, Evrişimli Sinir Ağları, Uzun Kısa Süreli Bellek, Basit Tekrarlayan Ağlar, Kapalı Tekrarlayan Hücreler, Bağlantıcı Zamansal Sınıflandırma, Türkçe Sesli Kitap Veriseti.

## Comparison of Convolutional RNN+CTC, LSTM+CTC and GRU+CTC Models on A New Turkish Audiobook Dataset

### Abstract

Speech recognition is the process of converting sound waves produced by humans into text. Although many Speech recognition models and data sets have been produced from the past to the present, it is an undeniable fact that there is a deficiency in this regard in our country. In this study, a unique data set consisting of audio books was developed for Turkish speech recognition systems. This dataset has been prepared by partitioning the audiobooks that have already been prepared. On this dataset, Recurrent Neural Network (RNN), Long Short Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Units (GRU) models were examined and compared together with Convolutional Neural Networks (CNN) and Connectionist Temporal Classification (CTC). According to the results of this study, although the model with the highest performance is LSTM, the speech recognition rate of the GRU model, which uses fewer parameters, is close to the speech recognition rate of the LSTM model.

**Keywords:** Speech Recognition, Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Long Short Term Memory, Simple Recurrent Networks, Gated Recurrent Units, Connectionist temporal classification, Turkish Audiobook Dataset.

\* Sorumlu Yazar: [halilyalman@hotmail.com.tr](mailto:halilyalman@hotmail.com.tr)

## 1. Giriş

İnsanların iletişiminde konuşmanın yeri son derecede önemlidir. Günlük hayatımızda kullandığımız makineler komutlarla çalıştığından dolayı konuşmalarımızı metne dönüştürme ihtiyacı duyulmaktadır. Bunun sebebi teknolojinin her adımda hayatımızı daha kolaylaştırmayı hedeflemesinden dolayıdır.

Kullandığımız elektronik sistemlerde sesle çalışmak tuşlu sistemlerle çalışmaktan daha kolaydır. Bununla birlikte farklı sebeplerden dolayı sesle komut verilebilen sistemlere ihtiyaç doğmaktadır. Bu ihtiyaç konuşma tanıma sistemlerinin gelişmesine sebep olmuştur.

Türkçede yapılan konuşma tanıma çalışmaları veri seti azlığı ve var olan veri setlerinin boyutlarının yeterli olmamasından dolayı bu çalışmayı yapma ihtiyacı hissedilmektedir. Bir diğer amaç birçok sistemdeki Türkçe dil desteği eksikliği ciddi vaziyette hissedilmektedir.

Hayatımızın birçok alanında konuşma tanıma sistemlerine ihtiyaç duymaktayız. Örneğin bir telefona daha hızlı komut verirken, otonom bir aracı kullanırken, akıllı saatler ve bilekliklere komut verirken kullanılmaktadır ve önümüzdeki yıllarda daha da çok alanda kullanacağımız tahmin edilmektedir. Çünkü teknolojik gelişmeler bu noktaya doğru evrilmektedir.

Dünyada kullanılan birçok dil için konuşma tanıma amaçlı birçok çalışma olmasına rağmen Türkçe için yeterince çalışma bulunmamaktadır. Bunun bir nedeni de Türkçe için veri seti eksikliğidir. Gelecek yıllarda kullanacağımız birçok makinenin Türkçe dil desteği sunmasını istiyorsak, daha büyük ve daha iyi Türkçe veri setlerine ihtiyacımız olacaktır.

Konuşma tanıma konusundaki ilk çalışmalar 1950'lerde Bell Lab da yapıldığı bilinmekle birlikte 1961 yılında IBM tarafından geliştirilen "Shoebbox" bu alanda önemli bir yere sahiptir. Bu alandaki gelişmeler belli bir süre durağan seyretmesinin ardından bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte bu alandaki çalışmalar hızlanmıştır. Ayrıca bilgisayar sistemlerindeki paralel ve güçlü işlem yapabilme kapasitesi bu alanın önünü açmıştır.

Hidden Markov Modelin (HMM) Konuşma tanıma performansının diğer yöntemlere göre daha yüksek olmasından dolayı 2010 lu yıllara kadar araştırmacılar tarafından tercih edilen yöntem oldu. Renals ve diğerleri (1994) neural networkün (multilayer perceptron) HMM ile birlikte kullanıldığında konuşma tanıma performansını artırabileceğini gösterdi. Dahl ve diğerleri (2012) 2012 yılında Deep Neural Networkün (DNN) HMM ile birlikte kullanıldığında HMM'e göre daha iyi sonuç verdiğini göstermesiyle birlikte konuşma tanıma için DNN kullanımı yaygınlaştı.

Convolutional Neural Networks (CNN) ile konuşma tanıma çalışmalarında, Abdel-Hamid ve diğerleri (2014) tabanlı yapılan çalışmaların DNN tabanlı yapılan çalışmalardan daha başarılı sonuçlar elde ettiğini gösteren CNN modelini önermiştir. Model bu başarıyı daha az parametre kullanarak sağlamıştır.

Recurrent Neural Networks (RNN) ile konuşma tanıma çalışmalarında, Graves ve diğerleri (2013) Long Short Term Memory (LSTM) sistemlerinin Connectionist Temporal Classification (CTC) ile birlikte kullanımının HMM-DNN hibrid modeline göre daha iyi sonuç verdiğini gösterdi.

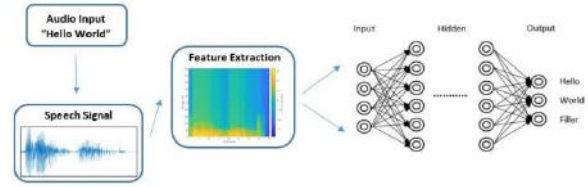
RNN'in bir alt dalı da LSTM benzeri Gated Recurrent Unittir (GRU). Ravanelli ve diğerleri (2018) göre çalışmada GRU modelinin LSTM'den daha başarılı çalıştığını göstermiştir.

Bu çalışmada konuşma tanıma için yeni bir Türkçe veri seti oluşturmaya ek olarak RNN, LSTM ve GRU gibi son zamanlarda önerilen ve konuşma tanıma oranları yüksek olan akustik modellerin, oluşturulan Türkçe veri seti üzerindeki performansları karşılaştırıldı.

İkinci bölümde bu çalışmada kullanılan RNN, LSTM, GRU, CNN, CTC ve oluşturulan veri seti kısaca açıklandı. Üçüncü bölümde deneysel kurulum anlatılıp deneysel sonuçlar tartışılmıştır. Dördüncü bölümde ise bu çalışmada elde edilen sonuçlar açıklandı.

## 2. Materyal ve Metot

Konuşma tanıma sistemleri kullanılırken ses verilerine ve o ses verilerine ait metin verilerine ihtiyaç duymaktayız. Öznitelik çıkarımı (Feature Extraction) ile sestem ürettiğimiz matrisleri Sinir Ağları aracılığı ile metin karşılığını öğrenen bir sistem tasarlıyoruz. Bu sistemi başka ses dosyaları ile test ediyoruz ve çıkan sonuçta başarı oranlarını hesaplıyoruz. Bu yaptığımız işlem Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Temel konuşma tanıma sisteminin blok diagramı.

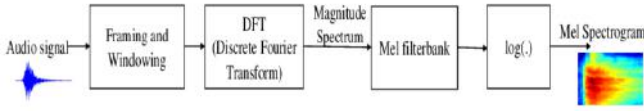
### 2.1. Konuşma Tanıma için Türkçe Veri Seti

Sesli kitap veri seti 21 kadın ve 21 erkek olmak üzere toplam 42 kişinin konuşmalarından oluşmaktadır. Veri seti toplam 15000 cümleden oluşan 19 saat 4 dakika 14 saniyelik ses verisi içermektedir. Veri setinde bir kadın ve bir erkekten bin beş yüzer diğer kişilerden ise üç yüzer cümle bulunmaktadır. Her bir cümlenin ses verisi bir ses dosyasına kaydedilmiştir. Her bir ses dosyası için bir metin dosyası (label) oluşturulmuştur. Oluşturulan ses dosyalarının uzunluğu 10 saniye ile sınırlandırılmıştır.

Tüm ses verisi kullanılarak oluşturulan veri seti Veri-Seti-3 olarak adlandırılmıştır ve yaklaşık 20 saat ses verisi içermektedir. Ayrıca tüm ses verisinin yarısı kullanılarak oluşturulan 7500 ses dosyasından oluşan 9 saat 21 dakika 41 saniyelik Veri-Seti-2 olarak adlandırılan veri seti oluşturulmuştur. Benzer şekilde tüm ses verisinin dörtte biri kullanılarak oluşturulan 3750 ses dosyasından oluşan 4 saat 50 dakika 51 saniyelik Veri-Seti-1 olarak adlandırılan veri seti oluşturulmuştur. Burada farklı büyüklükte veri seti oluşturmanın amacı eğitim verisinin büyüklüğünün konuşma tanıma performansına etkisini incelemektir. Deneylerimiz bu üç veri seti kullanılarak yapılmıştır.

## 2.2. Öznitelik Çıkarımı

Konuşma tanımada son yıllarda ses verisinin öznitelik çıkarımı yapılmadan kullanıldığı gibi öznitelik çıkarımı yapılan birçok teknik kullanılmaktadır. Başlıca ana teknikler Linear Predictive Analysis (LPC), Perceptual Linear Predictive (PLP), Relative Spectra Filtering of Log Domain Coefficients (RASTA), Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) ve Mel Spectrogram (Benba vd.2015; Tak vd. 2017; Tanveer vd. 2021). Bu tez çalışmasında Mel Spectrogram kullanılacaktır. Mel Spectrogram özellik çıkarımının blok diyagramı Şekil 2. de sunulmuştur.



Şekil 2. Mel Spectrogram öznitelik çıkarımının blok diyagramı (Tak vd., 2017)

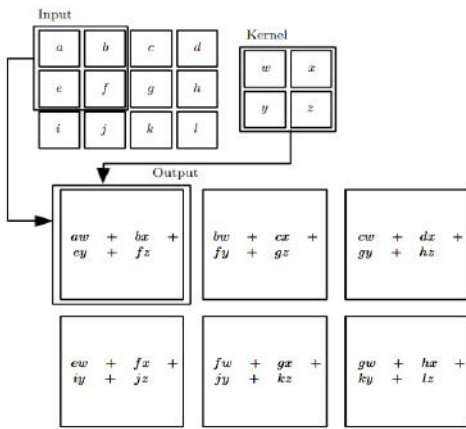
## 2.3. Sinir Ağları

Sinir Ağları veriler arasında ilişkisel bağ kurarak gelecek verilerdeki ilişkileri tahmin etmek için kullanılan birden fazla katmana sahip bir makine öğrenmesi alt dalıdır. Konuşma tanımada nihai hedef ses verilerini ve ait olan metin verileri ile eğitilen modele başka ses verilerini verildiğinde ona ait metin verilerini hatasız elde etmektir.

Sinir Ağları alt dalı olan 3 model üzerinde çalışmalar yapılacaktır. Bu modeller aşağıda açıklanmıştır.

### 2.3.1. Convolution Neural Network

Evrişimsel sinir ağları veya CNN olarak da bilinen Evrişimsel ağlar, ızgara benzeri bilinen bir topolojiye sahip veriyi işlemek için kullanılan özel bir sinir ağıdır (Goodfellow vd., 2018).



Şekil 3. 2 boyutlu bir CNN örneği (Goodfellow vd., 2018)

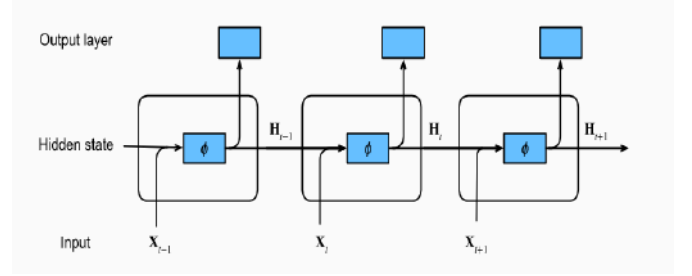
Evrişimli sinir ağında kernel giriş verisindeki birimle çarpılır. Kernel her adımda bir atlama sayısı(stride) kadar yana kaydırılarak çarpım işlemi yapılır. Her CNN işlemi sonucunda

matris boyutu küçülür. İstenirse matris boyutunun kenarlarına veri eklenerek doldurma(padding) işlemi yapılır.

### 2.3.2. Recurrent Neural Network

Yinelemeli Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks, RNN'ler) sıralı verileri işlemek için özelleştirilmiş sinir ağları ailesidir (Rumelhart vd., 1986). Mevcut durumla birlikte bir önceki durumun bilgilerinin sisteme dahil edilmesi mantığına dayanır.

#### 2.3.2.1. Simple Recurrent Network



Şekil 4. SRN Yapısı

Basit Yinelemeli Ağ (Simple Recurrent Network) RNN modelinin alt türüdür. SRN Modeli Şekil 4'te görüldüğü üzere mevcut durumdaki giriş( $X_t$ ) durumunun gizli katman verisi( $H_t$ ) bir sonraki andaki duruma girmektedir. Modelin hesaplamalarında aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$h_t = \tanh(W_{xh}x_t + W_{hh}h_{t-1} + b_h) \quad (1)$$

$$y_t = \tanh(W_{hy}h_t + b_y) \quad (2)$$

Denklemlerde şu andaki durumdaki giriş  $x_t$ , bir önceki andan gelen gizli katman bilgisi  $h_{t-1}$  ve bu düğümde kullanılıp diğer düğüme de gönderilecek gizli katman bilgisi  $h_t$  olarak gösterilmiştir.  $W_{xh}$ ,  $W_{hh}$  ve  $W_{hy}$  ağırlık matrisidir.  $b_h$  ve  $b_y$  bias vektörleridir. Aktivasyon fonksiyonu tanh Hiperbolik Tanjant Fonksiyondur.

SRN modeli RNN modeli olarak bilindiğinden dolayı bu çalışmada RNN isimlendirmesi kullanılacaktır.

#### 2.3.2.2. Long Short Term Memory

Uzun kısa süreli bellek (Long Short Term Memory, LSTM) RNN mimarisinin bir alt türüdür. LSTM'in blok diyagramı Şekil 5'te verildiği gibidir. LSTM'in çıkış ve gizli katman parametreleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$i_t = \sigma(W_{xi}x_t + W_{hi}h_{t-1} + W_{ci}c_{t-1} + b_i) \quad (3)$$

$$f_t = \sigma(W_{xf}x_t + W_{hf}h_{t-1} + W_{cf}c_{t-1} + b_f) \quad (4)$$

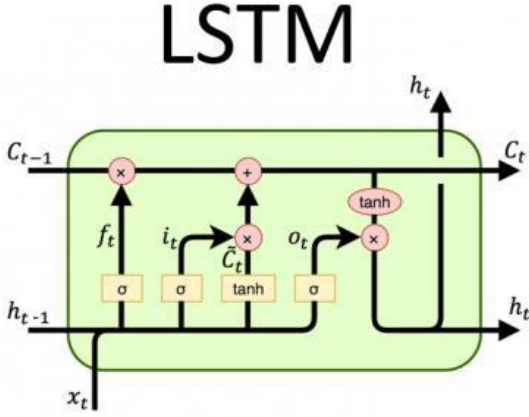
$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \tanh(W_{xc}x_t + W_{hc}h_{t-1} + b_c) \quad (5)$$

$$o_t = \sigma(W_{xo}x_t + W_{ho}h_{t-1} + W_{co}c_t + b_o) \quad (6)$$

$$h_t = o_t \tanh(c_t) \quad (7)$$

Giriş kapısı(i), unutmaya kapısı(f), çıkış kapısı(o) ve hücre durumundan(c) oluşan yapının denklemi Denklem 3 ve 7 arasında belirtilmiştir (Öztürk ve Özkaya, 2021). t ifadesi o anki durumu t-1 ifadesi bir önceki durumu belirtmektedir. Denklem 3'te  $W_{xi}$ ,  $W_{hi}$ ,  $W_{ci}$  ağırlık matrisini ve  $b_i$  bias vektörünü ifade eder. Denklem 4'te  $W_{xf}$ ,  $W_{hf}$ ,  $W_{cf}$  ağırlık matrisini ve  $b_f$  bias vektörünü

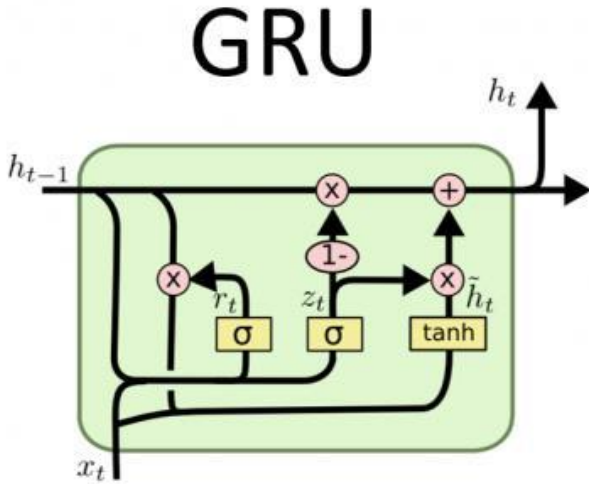
ifade eder. Denklem 5'te  $W_{xc}$ ,  $W_{hc}$  ağırlık matrisini ve  $b_c$  bias vektörünü ifade eder. Denklem 6'te  $W_{xo}$ ,  $W_{ho}$ ,  $W_{co}$  ağırlık matrisini ve  $b_o$  bias vektörünü ifade eder. Denklemlerde  $\sigma$  sigmoid fonksiyonudur. Denklem 7'de tanh Hiperbolik Tanjant Fonksiyondur.



Şekil 5. LSTM Yapısı

### 2.3.2.3. Gated Recurrent Units

Geçitli Tekrarlayan Birimler (Gated Recurrent Units, GRU) LSTM sisteminin sadeleştirilmiş hali olan bir RNN alt türüdür.



Şekil 6. GRU Yapısı

GRU yapısı incelendiğinde yöntemin LSTM'den farkı, tek bir geçit biriminin aynı anda hem unutmaya faktörünü hem de durum biriminin güncelleme kararını kontrol etmesidir (Goodfellow vd., 2018). Şekil 6'da gösterildiği üzere GRU yapısı Unutma ve durum birimi olarak kullanılan güncelleme birimi ( $z_t$ ) ve silme biriminden ( $r_t$ ) oluşmaktadır.

$$r_t = \sigma(W_{ir}x_t + b_{ir} + W_{hr}h_{(t-1)} + b_{hr}) \quad (8)$$

$$z_t = \sigma(W_{iz}x_t + b_{iz} + W_{hz}h_{(t-1)} + b_{hz}) \quad (9)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_{in}x_t + b_{in} + r_t * (W_{hn}h_{(t-1)} + b_{hn})) \quad (10)$$

$$h_t = (1 - z_t) * \tilde{h}_t + z_t * h_{(t-1)} \quad (11)$$

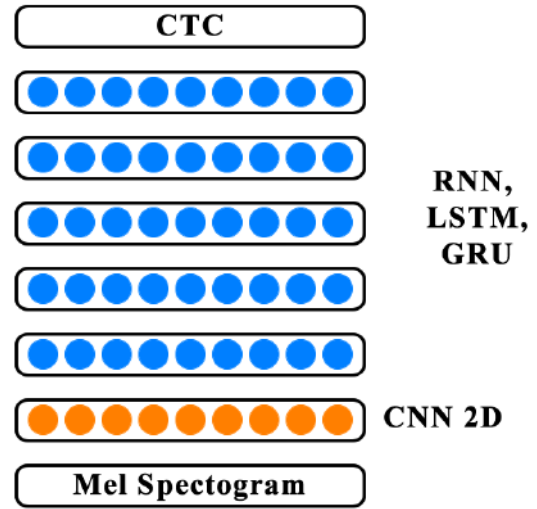
GRU mimarinin denklemleri Denklem (8) ile (11) arasında verilmiştir (Cho vd., 2014). Denklemlerde görüldüğü üzere o andaki zamanı t, bir önceki andaki zamanı (t-1), gizli katman  $h_t$ , o andaki girişi  $x_t$  ifade etmektedir.  $W_{ir}$ ,  $W_{hr}$ ,  $W_{iz}$ ,  $W_{hz}$ ,  $W_{in}$ ,  $W_{hn}$ , ağırlık matrisini ifade etmektedir.  $b_{ir}$ ,  $b_{hr}$ ,  $b_{iz}$ ,  $b_{hz}$ ,  $b_{in}$ ,  $b_{hn}$  bias vektörleridir.  $\sigma$  sigmoid fonksiyonu, tanh Hiperbolik Tanjant Fonksiyondur.

## 2.4. Connectionist Temporal Classification

Bağlantıcı Zamansal Sınıflandırma (Connectionist Temporal Classification, CTC) Yenilemeli Sinir Ağlarında sınıflandırma için kullanılan bir katmandır. Akustik modelin çıktısı CTC'ye girdi olarak verilmektedir. CTC'nin çıktısı ise her bir girdi için Türkçe alfabedeki 29 harf, boşluk, "x", "w", "q", " ", " ." olmak üzere 35 karakterden biri olabilir. Dolayısıyla CTC girişindeki akustik modelin oluşturduğu diziyi karakter (35 karakter) dizisine dönüştüren bir sınıflandırma yöntemidir.

## 3. Deneysel Kurulum Ve Sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan konuşma tanıma sistemi Şekil-7'de gösterildiği gibidir. Şekil 7'den de anlaşılacağı gibi bu çalışmada akustik model olarak kullanılan RNN, LSTM ve GRU'nun performansları karşılaştırılmıştır. Bu üç akustik modelin karşılaştırılması için tüm konuşma modellerinde aynı CNN ve CTC yapısı kullanılmıştır.



Şekil 7. Konuşma Tanıma Modeli

### 3.1. Model Hiperparametreleri

Kullandığımız Modeller Python programlama dilinde PyTorch kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Kullandığımız modellerde Mel Spectrogram öznitelikleri Şekil 2'de gösterildiği gibi PyTorch kütüphanesi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi Mel Spectrogram öznitelikleri tek katmanlı iki boyutlu CNN' girdi olarak verilmekte, CNN'in çıkışı ise beş katmanlı RNN, LSTM veya GRU modellerinden birine girmektedir. Modelin en sonunda ise sınıflandırıcı olarak CTC katmanı kullanılmaktadır.

Kullandığımız modellerde birçok parametreler kullanılmaktadır. Bu hiperparametrelerin değerleri modellerin performansını değiştirebilmektedir. Modellerde kullanılan hiperparametreler aşağıda açıklanmıştır:

- **Öznitelik Çıkarımı:** Konuşma sinyali PyTorch kütüphanesi kullanarak her 10 milisaniyede bir 20 milisaniyelik (%50 örtüşme ile) hanning window kullanarak çerçevelere ayrılmış ve her bir çerçeveden 128 adet Mel Spectrogram özneliği çıkarılmıştır.
- **Katman Sayısı:** Tek 2D-CNN katmanı kullanılmıştır. 2D-CNN için 32 filtre kullanılmıştır. Her bir filtrenin kernel boyutu (3,3) olup atlama(stride) boyutu (2,2)'dir. RNN, LSTM ve GRU modellerinde ise beşer katman kullanılmıştır.
- **Düğüm Sayısı (Node):** RNN, LSTM ve GRU modellerinde her katmanda 512 düğüm kullanılmıştır.
- **Eğitim Döngüsü (Epoch):** Her çalışma 300 döngü çalıştırılmıştır.
- **Öğrenme oranı:** Deneylerimizde 0.0005 öğrenme adımı kullanılmıştır.
- **Eğitim ve Test Oranı:** Her bir veri setin %97'si eğitim ve %3'ü test için ayrılmıştır.
- **Grup Boyutu (Batch Size):** Her denemede grup boyutu 4 olarak alınmıştır.
- **Aktivasyon Fonksiyonu:** CNN aktivasyon fonksiyonu olarak Gelu kullanılmıştır.
- Her katmanın ardından normalizasyon işlemi ve hattan düşme (Dropout) işlemi uygulanmıştır.
- **Hata oranı (LER):** CTC çıktısı olan karakter dizisinin hata oranının bulmak için kullanıyoruz. Hedef ve tahmin arasındaki sonuçlar arasındaki Edit Distance oranı ile bulunan sonuçlardır. LER değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$LER = \frac{S+D+I}{N} = \frac{S+D+I}{S+D+C} \quad (12)$$

Denklem 12'de LER iki ifade arasında dönüşüm yapmak için eklenen harf sayısı(I), silinen harf sayısı(D), değiştirilen harf sayısı(S) ve doğru olarak bilinen harf sayısı(C) ile iki dizi arasındaki benzerlik ölçümüdür. N ise iki dizi arasındaki referans ifadenin boyutunu gösterir.

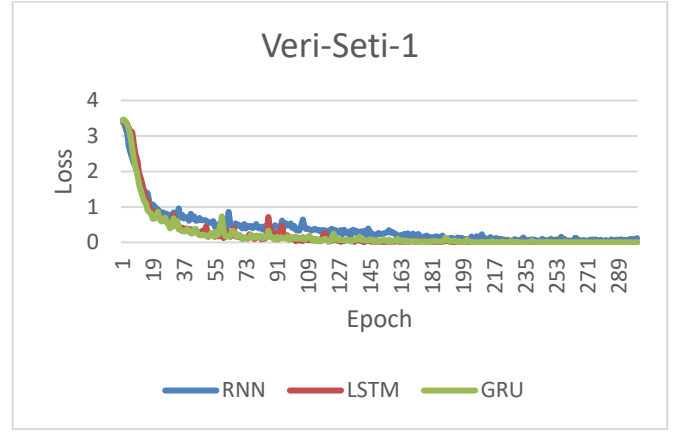
Karşılaştırması yapılan Sinir Ağları modellerinden RNN, LSTM ve GRU modellerinin katman sayısı ve düğüm sayılarının aynı olmasına rağmen her bir modelin iç yapısının farklı olmasından dolayı her bir modelin toplam parametre sayısı birbirinden farklıdır. Akustik modellerin toplam parametre sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'den görüldüğü gibi RNN modelinin toplam parametre sayısı en azdır. En fazla toplam parametre sayısına sahip model ise LSTM'dir.

Tablo 1. Toplam parametre sayıları

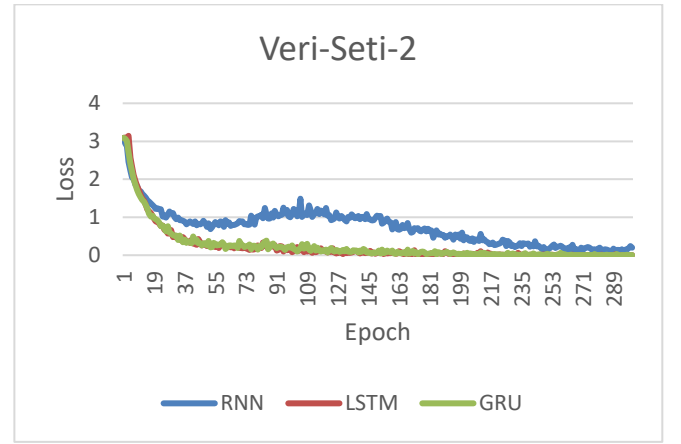
RNN	1197923
LSTM	4547939
GRU	3431267

### 3.2. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

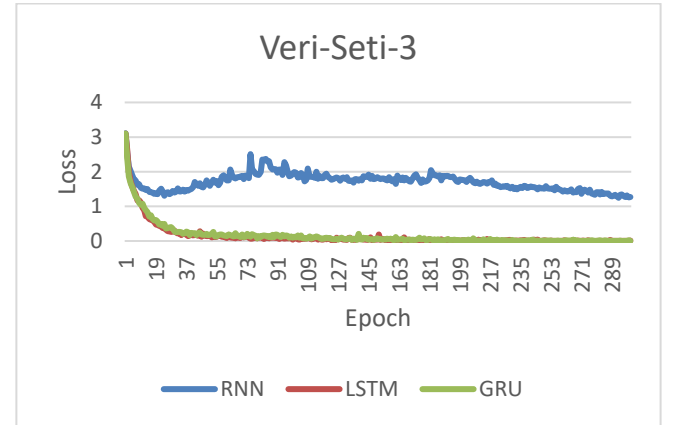
Şekil 8,9 ve 10 sırasıyla Veri-Seti-1, Veri-Seti-2, ve Veri-Seti-3 için loss'un epoch değerine göre değişimini göstermektedir. Üç şekilden de görüldüğü gibi LSTM ve GRU akustik modeli için epoch değeri arttıkça lossunda düzenli olarak düştüğü görülmektedir. RNN için ise loss değerinin aynı kararlılıkla düşmediği görülmektedir.



Şekil 8. Veri-Seti-1 Kayıp Fonksiyonu



Şekil 9. Veri-Seti-2 Kayıp Fonksiyonu



Şekil 10. Veri-Seti-3 Kayıp Fonksiyonu

Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4 sırasıyla Veri-Seti-1, Veri-Seti-2, ve Veri-Seti-3 için tüm modellerin LER, eğitim süresi ve toplam loss değerlerini göstermektedir. İlgili tablolardan görüleceği üzere her bir veri setinde RNN en yüksek LER değerini ve LSTM'in en düşük LER değerini verdiği görülmektedir. Buradan LSTM'in tartışmasız olarak tüm veri setleri için en iyi LER değeri verdiği sonucuna ulaşabiliriz. Bununla beraber Tablolardan GRU'nun

LER değerlerinin her bir veri seti için LSTM'in LER değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Modellerin eğitim sürelerini karşılaştırdığımızda Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'den görüleceği üzere her bir veri seti için RNN'in en kısa eğitim süresine sahip olduğu, LSTM'in ise en uzun eğitim süresine sahip olduğu görülebilir.

RNN modelinin LER değerlerinin diğer modellere göre çok yüksek olmasından dolayı RNN modelinin konuşma tanıma için kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varabiliriz.

LSTM ve GRU akustik modellerinin LER değerlerini karşılaştırdığımızda Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'den görüleceği üzere her bir veri seti için LSTM'in yaklaşık %3 civarında GRU'ya göre daha düşük LER değerine sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bizim için LER çok önemliyse akustik model olarak LSTM kullanmanın daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Eğitim süresi ve parametre sayısını göz önüne aldığımızda Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'den görüleceği üzere her bir veri seti için LSTM modelinin eğitim süresinin GRU modeline göre yaklaşık olarak %30 daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 1'den görüleceği üzere LSTM'in parametre sayısı GRU'nun parametre sayısından yaklaşık olarak %32 fazladır. Eğitim süresi ve parametre sayılarını da dikkate aldığımızda akustik model olarak GRU kullanmak LSTM'e göre daha avantajlı olabilir. LSTM'in daha iyi LER sonucu vermesine rağmen GRU daha hızlı eğitilebilmekte ve LSTM'e göre daha az parametreye sahiptir. Bundan dolayı GRU LSTM'e göre %3 daha kötü sonuç vermesine rağmen akustik model olarak LSTM yerine GRU tercih edilebilir.

Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'den görülen diğer bir sonuç ise veri seti büyüklüğü artıkça tüm modellerin LER değerlerinin düşmesidir.

Tablo 2. Veri-Seti-1 Model Karşılaştırması

Veri-Seti-1(Yaklaşık 5 Saat)			
MODELS	LER	EĞİTİM SÜRESİ(dk)	TOPLAM LOSS
CNN-RNN	0.4176	<b>237</b>	119.2079
CNN-LSTM	<b>0.3284</b>	503	71.9418
CNN-GRU	0.3398	367	<b>68.0445</b>

Tablo 3. Veri-Seti-2 Model Karşılaştırması

Veri-Seti-2(Yaklaşık 10 Saat)			
MODELS	LER	EĞİTİM SÜRESİ(dk)	LOSS
CNN-RNN	0.3592	<b>479</b>	222.9458
CNN-LSTM	<b>0.2825</b>	1024	<b>70.0768</b>
CNN-GRU	0.2920	734	73.8935

Tablo 4. Veri-Seti-3 Model Karşılaştırması

Veri-Seti-3(Yaklaşık 20 Saat)			
MODELS	LER	EĞİTİM SÜRESİ(dk)	LOSS
CNN-RNN	0.4561	1993	509.7223
CNN-LSTM	<b>0.2329</b>	2022	<b>41.2186</b>
CNN-GRU	0.2485	<b>1476</b>	47.4938

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada veri setinin büyüklüğünün konuşma tanıma oranına etkisini incelemek amacıyla 5, 10 ve 20 saatlik olmak üzere üç adet veri seti hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde her bir akustik model için kullanılan veri setinin büyüklüğü arttığında ilgili akustik model için LER değerinin düştüğü görülmüştür. Bu sonuç bize eğitim için büyük veri seti kullanmanın önemini göstermektedir.

Veri setleri üzerinde yapılan deneylerde LSTM modelinin en yüksek konuşma tanıma oranını verdiği, RNN'in ise diğer iki modele göre çok düşük tanıma oranı verdiği gösterilmiştir. Dolayısıyla akustik model olarak RNN kullanmanın herhangi bir avantajı bulunmamaktadır. LSTM'in parametre sayısının GRU'nun parametre sayısından yaklaşık olarak %32 fazla olmasına rağmen GRU ile LSTM'in konuşma oranları arasında fazla fark bulunmadığı gösterilmiştir. Ayrıca GRU modelinin eğitim süresinin LSTM'e göre daha kısa olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla akustik model olarak LSTM yerine GRU kullanmak parametre sayısının az olmasından ve eğitim süresinin daha kısa olmasından dolayı daha avantajlı olabilir.

Gelecekteki çalışmalarda daha fazla parametrelili ve katmanlı modellerin denemesi planlanmaktadır.

#### Kaynakça

- Abdel-Hamid O., Mohamed A., Jiang H., Deng L., Penn G. and Yu D., (2014) "Convolutional neural networks for speech recognition" IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 22, no. 10, pp. 1533-1545, doi: 10.1109/TASLP.2014.2339736.
- Benba A., Jilbab A. and Hammouch A., (2015) "Detecting patients with parkinson's disease using mel frequency cepstral coefficients and support vector machines", International Journal on Electrical Engineering and Informatics- Volume 7, Number 2.
- Cho K., Van Merriënboer B., Bahdanau D., Bengio Y., (2014) "On the properties of neural machine translation: encoder-decoder approaches." arXiv preprint arXiv:1409.1259.
- Dahl G. E., Yu D., Deng L., A. Acero (2012) "Context-dependent pre-trained deep neural networks for large-vocabulary speech recognition." Ieee Transactions On Audio, Speech, And Language Processing, Vol. 20, No. 1.



- Goodfellow I., Bengio Y. and Courville A., (2018) *Derin Öğrenme*, Ankara: Buzdağı Yayınevi
- Graves A., Mohamed A., Hinton G. (2013) "Speech recognition with deep recurrent neural networks." ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing- Proceedings. 38. 10.1109/ICASSP.2013.6638947.
- Graves A., Fernández S., Gomez F., and Schmidhuber J., (2006) "Connectionist temporal classification: labelling unsegmented sequence data with recurrent neural networks." In Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning (pp. 369-376).
- Öztürk, Ş., Özkaya, U. (2021) "Residual LSTM layered CNN for classification of gastrointestinal tract diseases". *Journal of Biomedical Informatics*, 113, 103638.
- Ravanelli M., Brakel P., Omologo M. and Bengio Y., (2018) "Light gated recurrent units for speech recognition." in *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, vol. 2, no. 2, pp. 92-102, doi: 10.1109/TETCI.2017.2762739.
- Renals S. and Boulard H. (1994) "Connectionist probability estimators in hmm speech recognition." *Ieee Transactions On Speech And Audio Processing*, Vol.2, No. 1, Part 11.
- Rumelhart D., Hinton G. and Williams, R. (1986) "Learning representations by back-propagating errors." *Nature* 323, 533–536
- Tanveer M. H., Zhu H., Ahmed W., Thomas A., Imran B. M. and Salman M., (2021) "Mel-spectrogram and deep cnn based representation learning from bio-sonar implementation on uavs", 2021 International Conference on Computer, Control and Robotics.
- Tak R. N., Agrawal D. M., and Patil H. A., (2017) "Novel phase encoded mel filterbank energies for environmental soundclassification." In *International Conference on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, pages 317–325. Springer.



# A Triangle-Shaped Band-pass Filter with Meander-Line Resonator and Complement Split-Ring Resonator (CSRR) Defected Ground Structure (DGS)

Mert Demirel<sup>1\*</sup>, Merih Palandoken<sup>2</sup>, Esra Aycan Beyazit<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7905-8456), [mdemirel97@gmail.com](mailto:mdemirel97@gmail.com)

<sup>2</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3487-2467), [merih.palandoken@ikc.edu.tr](mailto:merih.palandoken@ikc.edu.tr)

<sup>3</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1035-6695), [esra.aycan@ikc.edu.tr](mailto:esra.aycan@ikc.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082123)

**ATIF/REFERENCE:** Demirel, M., Palandoken, M. & Beyazit, E. A. (2022). A Triangle-Shaped Band-pass Filter with Meander-Line Resonator and Complement Split-Ring Resonator (CSRR) Defected Ground Structure (DGS). *European Journal of Science and Technology*, (34), 328-331.

## Abstract

A band-pass filter is a wireless component that transmits frequencies within a certain range and attenuates frequencies outside that range. Band-pass filter (BPF) has been used as a core component for an Radio Frequency (RF) communication system. BPF generally designed based on transmission line resonators. Therefore, miniaturization of these components is important. In this study, a triangle-shaped band-pass filter with a meander-line resonator and complement split-ring resonator (CSRR) defected ground structure (DGS) and not defected ground structure have been propose in this study. Four different band-pass filter designs have been simulated. In addition to comparing the CSRR DGS effect in different designs, it has been tried to get better results with added perturbation. The materials and thicknesses used in the filters kept constant. BPF fabricated on a standard h of 1 mm thick Rogers RO3003 substrate with dielectric constant  $\epsilon_r$  of 3. It aimed to obtain better results by making only geometric changes. Making this geometric changes reliable more than one band-with ranges has been intended. Band-pass filter has been designed for 5 GHz frequency in Wi-Fi which also has been provided considerable results for 3.2 GHz. The numerical results has been compared with the results found in this study. Compared to used sources, more efficient results has been achieved.

**Keywords:** band-pass filter, compact filter design, complement split-ring resonator, defected ground structure, meander-loop resonator

## Kıvrımlı Döngü Rezonatörlü ve Tamamlayıcı Bölünmüş Halka Rezonatörlü (CSRR) Kusurlu Zemin Yapısına Sahip (DGS) Üçgen Şeklinde Bant Geçiren Filtre

### Öz

Bant geçiren filtre, belirli bir aralıktaki frekansları ileten ve bu aralığın dışındaki frekansları azaltan kablosuz bir bileşendir. Bant geçiren filtre (BPF), bir Radyo Frekansı (RF) iletişim sistemi için temel bir bileşen olarak kullanılmıştır. BF genellikle iletim hattı

\* Corresponding Author: [mdemirel97@gmail.com](mailto:mdemirel97@gmail.com)

rezonatörlerine dayalı olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, bu bileşenlerin minyatürleştirilmesi önemlidir. Bu çalışmada, kıvrımlı döngü rezonatörlü ve tamamlayıcı bölünmüş halka rezonatörlü (CSRR) kusurlu zemin yapısı (DGS) ve kusurlu olmayan zemin yapısına sahip üçgen şeklinde bir bant geçiren filtre önerilmiştir. Dört farklı bant geçiren filtre tasarımı simüle edilmiştir. CSRR DGS etkisinin farklı tasarımlarda karşılaştırılması yanında ilave pertürbasyon ile daha iyi sonuçlar alınmaya çalışılmıştır. Filtrelerde kullanılan malzeme ve kalınlıklar sabit tutulmuştur. Dielektrik sabiti 3 olan ve 1 mm kalınlığında Rogers RO3003 alt tabakası üzerinde BPF üretildi. Yalnızca geometrik değişiklikler yaparak daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçladı. Bu geometrik değişiklikleri birden fazla bantlı aralıkta güvenilir kılmak amaçlanmıştır. Bant geçiren filtre, Wi-Fi'de 5 GHz frekansı için tasarlanmış olup, 3.2 GHz için de önemli sonuçlar sağlamıştır. Sayısal sonuçlar bu çalışmada bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kullanılan kaynaklara göre daha verimli sonuçlara ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** band geçiren filtre, kompakt filtre tasarımı, tamamlayıcı bölünmüş halka rezonatörü, kusurlu zemin yapısı, kıvrımlı döngü rezonatörü

## 1. Introduction

Recently, wireless communication systems seeking great interest. These systems are preferred over the use of more than one single band transceiver. Until now, various tri-band band-pass filters (BPF) have been proposed for use in tri-band transceivers and were in demand. Various studies have been carried out to meet this demand. Three sets of resonators generally used for three-band BPFs. This approach causes the size of the filter to increase due to the use of a large number of resonators. Dual-mode microstrip filters have been extensively explored by a large number of researchers due to its advantages in applications needing filters with qualities such as small size, low mass, and low loss, owing to the strong desire for compact high performance in wireless communication systems [1–3].

In [4], the purpose of the article is to introduce a metamaterial inspired BPF for passband frequencies from 3.9 GHz to 4.54 GHz. The design and operating principles have been verified by numerical and experimental results. In [5], a highly selective dual-band band-pass filter with meander-loop resonators and SRR DGS has been demonstrated in this study. The two passbands created by using different resonators. Stopbands with numerous finite attenuation poles used to achieve high selectivity. The filter is smaller in size and has higher performance than a traditional dual band filter.

SRRs have been successfully applied to the fabrication of left-handed metamaterial (LHM) and the design of planar circuits. Very recently, CSRR which is the negative image of SRR has been reported by some authors [6]. It has been demonstrated that CSRR etched in the ground plane or in the conductor strip of planar transmission media provides a negative effective permittivity to the structure. CSRR has been successfully applied to the narrow band filters and duplexers with compact dimensions.

In this study, a triangle-shaped band-pass filter with a meander-line resonator has been proposed. The importance of using CSRR DGS with a proposed new design has been examined. Additionally, the rectangular perturbation size used in the design has been increased linearly and the best results evaluated in the study. The results analyzed and more complex and miniature design has been created than the designs in other articles.

## 2. Material and Method

In this section, the filter design is introduced. The geometric parameters have been stated in Figure 2. The substrate size has been selected to be  $30 \times 30 \text{ mm}^2$ . The proposed BPF has been fabricated on a standard 1 mm thick Rogers RO3003 substrate

with dielectric constant  $\epsilon$  of 3. The total filter size ( $W \times L$ ) is  $30 \times 30 \text{ mm}^2$ . The filter design has been modeled with the CST Studio Suite program. Filter design consists of three stages. First, the typical filter with meander-loop resonator has been structured. No changes have been done to the ground part in this part.

### 2.1. Band-pass Filter without CSRR DGS

In the first design, the topology of CSRR DGS is shown in Figure 2 and Figure 5. The simulation results are given in Figure 1. A deduced numerical calculation result, a band-pass filter with two bands has been obtained. According to the results, it has been observed that the S21 value is  $-0.82 \text{ dB}$  at  $3.24 \text{ GHz}$  and  $-2.14 \text{ dB}$  at  $5.92 \text{ GHz}$ .

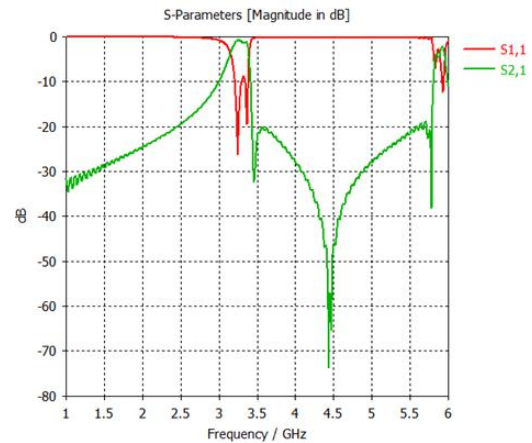


Fig. 1 Numerical Calculation Results without CSRR DGS

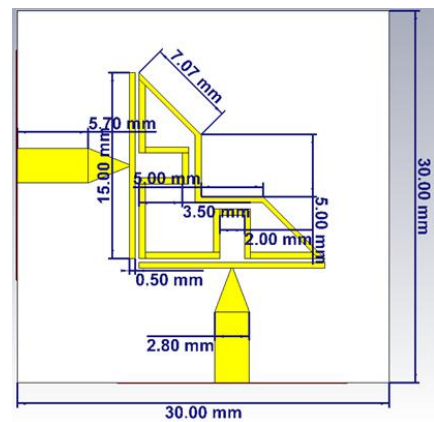


Fig. 2 Band-pass Filter Design Top Side

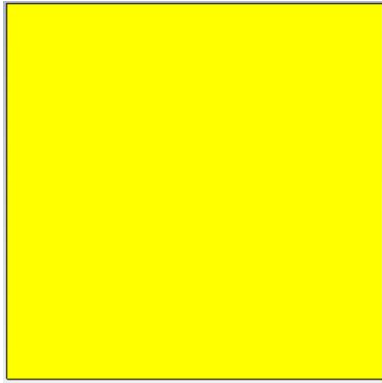


Fig. 3 Band-pass Filter Design Bottom Side without CSRR DGS

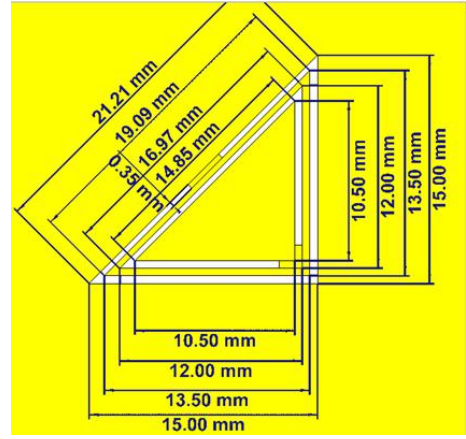


Fig. 5 Band-pass Filter Design Bottom Side with CSRR DGS

### 2.2. Band-pass Filter with CSRR DGS

Park et al. introduced DGS in 1999, based on the notion of photonic band-gap (PBG) structure, and it has been used in the design of planar circuits and low-pass filters [7]. DGS has been achieved by etching a faulty pattern in the ground plane [8], which disrupts the ground plane's shield current distribution. The slow-wave effect and band-stop property may be obtained by changing the properties of a transmission line, such as equivalent capacitance and inductance.

In the second design, CSRR DGS added to the design and simulation results have been obtained. The topology of CSRR DGS shown in Figure 2 and Figure 5. A deduced numerical calculation result, a band-pass filter with three bands has been obtained. According to the results, it has been observed that the S21 value is -1.98 dB at 1.91 GHz, -1.8 dB at 3.19 GHz and -1.55 dB at 5.46 GHz in Figure 4.

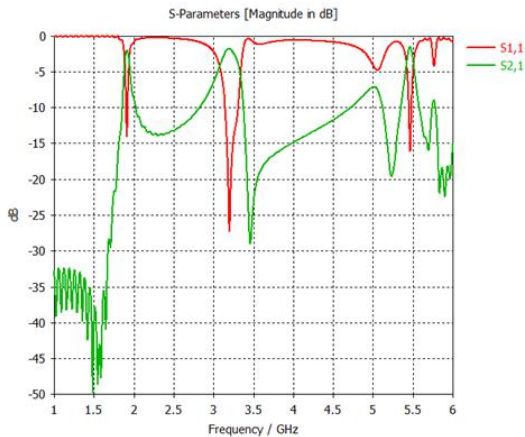


Fig. 4 Numerical Calculation Results with CSRR DGS

### 2.3. Best Performance Band-pass Filter with Perturbation but without CSRR DGS

In the third design, the topology of CSRR DGS has been shown in Figure 3 and Figure 7. As deduced from numerical calculation result, a band-pass filter with two bands has been obtained. According to the results, it has been observed that the S21 value is -1.02 dB at 3.2 GHz and -0.56 dB at 5.8 GHz in Figure 6.

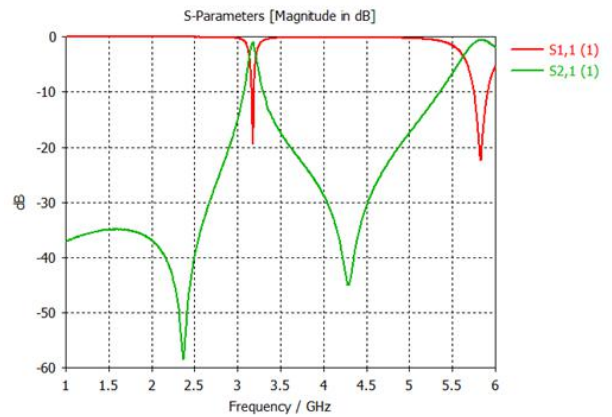


Fig. 6 Numerical Calculation Results without CSRR DGS in ground plane

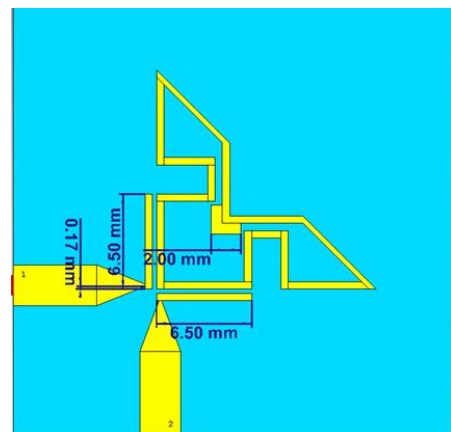


Fig. 7 Band-pass Filter Design Top Side without CSRR DGS in ground plane

## 2.4. Best Performance Band-pass Filter with Perturbation and CSRR DGS

In the fourth design, the topology of CSRR DGS has been shown in Figure 5 and Figure 7. A deduced numerical calculation result, a band-pass filter with two bands has been obtained. According to the results, it has been observed that the  $S_{21}$  value is  $-1.14$  dB at  $3.14$  GHz and  $-1.06$  dB at  $5.7$  GHz in Figure 8.

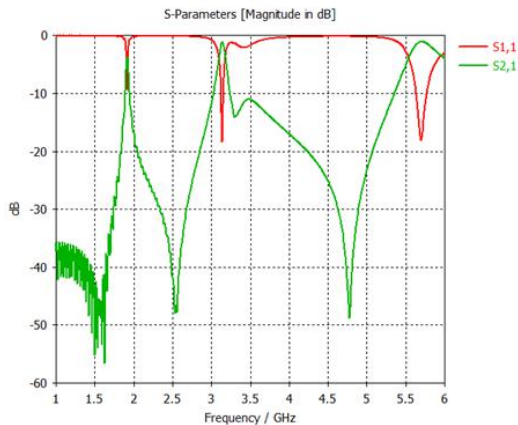


Fig. 8 Numerical Calculation Results CSRR DGS in ground plane

## 3. Results and Discussion

In the previous section, four different design results have been given respectively. When the results have been examined, the best result has been observed in the third filter. Considering  $S_{21}$  values, the level of  $-0.56$  dB is obtained at  $5.8$  GHz.

Although the CSRR DGS structure is less efficient, this process on the ground has resulted to obtain an extra band without any change in the resonator structure. In addition, much better results have been obtained at similar frequencies with added perturbation. Shifting the positions of the lines coming from the ports has also an effect.

$5.8$  GHz band offers more bandwidth, and because it operates at a higher frequency, equipment prices are slightly higher, but utilization and hence interference are lower. It is compatible with  $802.11a$  and  $n$  wireless networks. It has a shorter range than  $2.4$  GHz and can carry up to  $23$  non-overlapping channels. Many wireless technology suppliers choose  $5.8$  GHz Wi-Fi because of the quantity of channels and bandwidth offered. When the results are analyzed, a design that can be used in the Wi-Fi band and has good performance as suggested. It has been observed that it has a better result than the values obtained in other articles.

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, two different band-pass filter circuit topologies based on a triangle-shaped structural form including a meander-line resonator with CSRR DGS and without DGS has been proposed. Best band-pass filter has been designed with the perturbation in the resonator geometry without DGS. As a result of numerical computations, a band-pass filter design has been proposed for  $5$  GHz frequency in Wi-Fi. It also gave good results in the other band  $3.2$  GHz. The numerical computations has given better results than the designs conducted with the traditional methods.

## References

- [1] Palandöken, Merih, and Adnan Sondas. "Compact Metamaterial Based Bandstop Filter." *Microwave Journal* 57.10 (2014).
- [2] Palandoken, M., and H. Henke. "Fractal spiral resonator as magnetic metamaterial." 2009 Applied Electromagnetics Conference (AEMC). IEEE, 2009.
- [3] Palandoken, Merih. "Metamaterial-Based Compact Filter Design." *Metamaterial*. IntechOpen, 2012.
- [4] Palandöken, M., & Ucar, M. H. (2014). Compact metamaterial-inspired band-pass filter. *Microwave and Optical Technology Letters*, 56(12), 2903-2907.
- [5] Ozkaya, U., & Seyfi, L. (2015). Dimension optimization of microstrip patch antenna in X/Ku band via artificial neural network. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2520-2526.
- [6] Wu, B., Li, T. Su, and C.-H. Liang, "Equivalent-circuit analysis and lowpass filter design of split-ring resonator DGS," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 20, No. 14, 1943–1943, 2006.
- [7] Bonache, J., I. Gil, J. Garcia-Garcia, and F. Martin, "Novel microstrip band-pass filters based on complementary split-ring resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 54, 265–271, 2006.
- [8] Bonache, J. and I. Gil, J. Garcia-Garcia, and F. Martin, "Complementary split ring resonators for microstrip diplexer design," *Electron. Lett.*, Vol. 41, 20



# Shift Scheduling Optimization: A Real-Life Underground Transportation Example

Hafsa Nur Öztürk<sup>1\*</sup>, H. Ediz Atmaca<sup>2</sup>, Hatice Erdoğan Akbulut<sup>3</sup>, Esra Aktaş<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9310-1430), hnurozturk@gazi.edu.tr

<sup>2</sup> Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0671-3939), hediz@gazi.edu.tr

<sup>3</sup> Antalya Bilim University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Industrial Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9393-0466), hatice.erdogan@antalya.edu.tr

<sup>4</sup> Gümüşhane University, Faculty of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety, Gümüşhane, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6064-6485), esra.aktas@gumushane.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082151)

**ATIF/REFERENCE:** Öztürk, H. N., Atmaca, H.E., Erdoğan Akbulut, H. & Aktaş, E. (2022). Shift Scheduling Optimization: A Real-Life Underground Transportation Example. *European Journal of Science and Technology*, (34), 332-335.

## Abstract

Personnel scheduling is basically a type of scheduling that determines which employee will work and when, taking into account the needs of the industry and employees. Personnel scheduling is intertwined with shift scheduling problems in shift systems. In many industries, the assignment of employees to shifts during the day, the determination of relief breaks and meal breaks are an important factor for shift scheduling while meeting the changing workforce needs. The main purpose of this study is to schedule the shifts of the machinists of Ankaray, which is one of the underground transportation networks of Ankara, the capital of Turkey, in the transportation sector where people serve people. In the study, shift scheduling models in the literature were examined and Aykin's optimal shift scheduling with multiple break windows was taken as a basis. The model divides the working hours into two shifts during the day and finds the number of employees required for each shift. In addition, it also determines the relief break and lunch break times for each employee. As a result, the current situation was analyzed and a comparison was made with the results on the established optimization model. Cost minimization is at the root of the problem, so it is concretely shown how this model will contribute in real life.

**Keywords:** Shift Scheduling, Personnel Scheduling, Transportation, Underground Transportation Optimization, Integer Programming.

# Vardiya Çizelgeleme Optimizasyonu: Gerçek Hayat Yer Altı Taşımacılığı Örneği

## Öz

Personel çizelgeleme temelde sektörün ve çalışanların ihtiyaçları dikkate alınarak hangi çalışanın ne zaman çalışacağını belirleyen bir çizelgeleme türüdür. Personel çizelgeleme, vardiyalı çalışılan sistemlerde vardiya çizelgeleme problemleri ile iç içedir. Pek çok sektörde, gün içinde vardiyalara çalışanların atanması, dinlenme ve yemek molalarının belirlenmesi, değişen iş gücü ihtiyaçlarını karşılarken vardiya çizelgelemesi için önemli bir faktördür. Bu çalışmanın temel amacı, insanların insanlara hizmet ettiği ulaşım sektöründe, Türkiye'nin başkenti Ankara'nın yeraltı ulaşım ağlarından biri olan Ankaray'ın makinistlerinin vardiyalarını planlamaktır. Çalışmada, literatürdeki vardiya çizelgeleme modelleri incelenmiş ve Aykin'in çoklu mola pencereli optimal vardiya çizelgelemesi çalışması esas alınmıştır. Model, çalışma saatlerini gün içinde iki vardiyaya bölerek her vardiya için gereken çalışan sayısını bulmaktadır. Ayrıca her çalışan için dinlenme molası ve yemek molası saatlerini de belirlenmektedir. Sonuç olarak mevcut durum analiz edilmiş ve kurulan optimizasyon modeli üzerinde sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Problemin temelinde maliyet minimizasyonu bulunmaktadır, dolayısıyla bu modelin gerçek hayata nasıl katkı sağlayacağı somut olarak gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Vardiya Çizelgeleme, Personel Çizelgeleme, Toplu Taşıma, Yeraltı Taşıma Optimizasyonu, Tam Sayılı Programlama.

\* Corresponding Author: hnurozturk@gazi.edu.tr

## 1. Introduction

Science has had the concept of scheduling for many years. Although this concept has been around for years, Henry Gantt's Gantt chart would popularize it (Hyatt and Weaver, 2006). Although scheduling has been in our lives for many years, it also appears with a wide variety of concepts such as personal scheduling, shift scheduling, workflow scheduling, vehicle scheduling etc.

In shift jobs, personnel scheduling and shift scheduling are intertwined. In personnel scheduling, it is decided which personnel will work where and when, in shift scheduling, it is decided how many personnel will work in which shift. Aykin's (1996) study named 'optimal shift scheduling with multiple break windows', which also forms the basis of this study, includes the basic constraints for shift scheduling. Aykin's study is based on the constraints of Dantzig (1954) 'A Comment on Edie's Traffic Delays at Toll Booths'.

Today, optimal solution methods and heuristic algorithms are used to solve scheduling problems. Katrancı and Organ (2021) developed and solved an integer model for scheduling the shifts of firefighters in their study. Pandey et al., (2021) in their study, they handled the shift scheduling problem for a retail store and used an iterative solution approach consisting of three stages. These solution approaches are respectively; deterministic finite automata (DFA), a mixed-integer linear programming (MILP) and heuristic algorithm. Álvarez et al., (2020) The approach they propose in their studies, unlike other studies in the literature, tries to minimize the levels of overstaffing and understaffing. Das and Yadav (2020) in their study, they specify the number of people who will deliver for a hyper-local food delivery organization. They developed a simple integer programming model.

## 2. Material and Method

In Ankaray, one of the underground lines in the capital of Turkey, the shift scheduling problem was solved by minimizing the cost by using real-life data.

While constructing the model, relief breaks and meal break times were taken into consideration. Accordingly, periods of 15 minutes each and dividing an hour into 4 equal parts were used in the model. Ankaray's working hours are between 6 a.m.- 12 p.m. and the system works in 2 shifts. Therefore, there are 72 periods in the model. The first 6 working periods are shown in Table [1] as an example.

Table 1. Working Hours Corresponding to Periods

Periods	Working Hours
1	06.00 [a.m.]-06.15 [a.m.]
2	06.15 [a.m.]-06.30 [a.m.]
3	06.30 [a.m.]-06.45 [a.m.]
4	06.45 [a.m.]-07.00 [a.m.]
5	07.00 [a.m.]-07.10 [a.m.]
6	07.15 [a.m.]-07.35 [a.m.]

In the working order of the underground, the time windows for relief breaks and lunch breaks are clear and it is a time period of one and a half hours. Therefore, each working hour and break hour in each shift corresponds to a period.

## 2.1. Current Situation Analysis

Underground transportation is carried out between 6 a.m. and 12 p.m. When the current working style of Ankaray is examined, it is observed that it works in 2 shifts. Each shift has 8 hours of work in and as shown in Table [2] it includes 2 relief breaks which takes 15 minutes and one meal breaks which takes half-hour. The current working hours and how many machinists working are shown in Table [3].

Table 2. Types and Durations of Breaks

Types of Breaks	Duration
1 <sup>st</sup> Relief Break	15 min.
Meal Break	30 min.
2 <sup>nd</sup> Relief Break	15 min.

Table 3. Current Working Hours in Each Shift

Shift Type	Working Hours	Number of Employees
1 <sup>st</sup> Shift	06.00 [a.m.] - 03.00[p.m.]	12
2 <sup>nd</sup> Shift	03.00 [p.m.] - 00.00[a.m.]	13

The number of mechanics required for each hour varies during working hours. The reason for this is that the density of the underground line is not constant during the day. Fig. [1] shows the number of mechanics required for each hour.

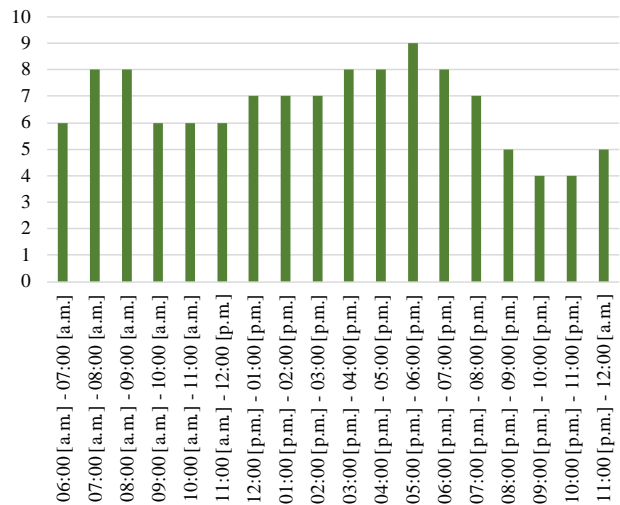


Fig. 1 Number of Machinists Needed

## 2.1. Mathematical Model

In this study, while establishing the mathematical model, the Aykin's (1996) study 'optimal shift scheduling with multiple break windows' was taken as a basis. The purpose of the mathematical model is to minimize the total machinist cost. This objective will also minimize the number of machinists assigned to each shift.

Sets:

m: sets of number of shifts where  $j=1 \dots m$ ,

n: sets of number of periods where  $i=1 \dots n$ ,

$T_{1i}$ : sets of shifts for which period  $i$  is a break start time within the time windows for the first relief break,

$T_{Li}$ : sets of shifts for which period  $i$  is a break start time within the time windows for the meal break,

$T_{2i}$ : sets of shifts for which period  $i$  is a break start time within the time windows for the second relief break,

$B_{1j}$ : sets of planning periods in which a machinist working shift  $j$  may start his/her first relief break,

$B_{Lj}$ : sets of planning periods in which a machinist working shift  $j$  may start his/her meal break,

$B_{2j}$ : sets of planning periods in which a machinist working shift  $j$  may start his/her second relief break.

Parameters:

$C_j$ : cost of machinist which works shift  $j$ ,

$A_{i,j}$ :  $\begin{cases} 1 & \text{if machinist working in the shift } j \text{ is active in period } i \\ 0 & \text{o. w.,} \end{cases}$

$D_i$ : demand of machinist in period  $i$ .

Decision Variables:

$x_j$ : number of machinists assigned to work in shift  $j$ ,

$u_{j,i}$ : number of machinists assigned to shift  $j$  and taking the first relief break in period  $i$ ,

$w_{j,i}$ : number of machinists assigned to shift  $j$  and taking the meal break in period  $i$ ,

$v_{j,i}$ : number of machinists assigned to shift  $j$  and taking the second relief break in period  $i$ .

Objective Function:

$$\text{minimize } \sum_{j=1}^m C_j x_j$$

Constrains:

$$\sum_{j=1}^m A_{i,j} x_j - \sum_{j \in T_{1i}} u_{j,i} - \sum_{j \in T_{L(i-1)}} w_{j,i-1} - \sum_{j \in T_{Li}} w_{j,i} - \sum_{j \in T_{2i}} v_{j,i} \geq D_i \quad [1]$$

$$x_j - \sum_{i \in B_{1j}} u_{j,i} = 0 \quad \forall j = 1..m \quad [2]$$

$$x_j - \sum_{i \in B_{Lj}} w_{j,i} = 0 \quad \forall j = 1..m \quad [3]$$

$$x_j - \sum_{i \in B_{2j}} v_{j,i} = 0 \quad \forall j = 1..m \quad [4]$$

$$x_j, u_{j,i}, w_{j,i}, v_{j,i} \geq 0 \text{ and integer } \quad \forall j = 1..m \quad [5]$$

$$\forall i = 1..n$$

Constrain [1] simply ensures that the number of machinists assigned to the relevant period is greater than or equal to the machinist needed in that period. The [2nd] [3rd] and [4th] constraints, respectively, equalize the number of machinists assigned to shift  $j$  to the number of machinists by giving first relief break, meal break and second relief break in that shift. The last constraint ensures that the decision variables are greater than or equal to 0 and are integers.

### 3. Results and Discussion

The model outputs how many machinists should work in each shift and the number of machinists who need to take relief breaks and lunch breaks for each period. In this context, the number of machinists required to go to the first relief break, meal break and second relief break for each period is shown in Tables [4], [5], [6], [7], [8] and [9], respectively.

Table 4. Number of Machinists Required to Go to the First Relief Break in First Shift

Working Hours	Number of Machinists to Take a First Relief Break in First Shift
07.15 [a.m.]-07.30 [a.m.]	2
07.30 [a.m.]-07.45 [a.m.]	2
07.45 [a.m.]-08.00 [a.m.]	-
08.00 [a.m.]-08.15 [a.m.]	2
08.15 [a.m.]-08.30 [a.m.]	2
08.30 [a.m.]-08.45 [a.m.]	2

Table 5. Number of Machinists Required to Go to the Meal Break in First Shift

Working Hours	Number of Machinists to Take a Meal Break in First Shift
09.45 [a.m.]-10.00 [a.m.]	2
10.00 [a.m.]-10.15 [a.m.]	-
10.15 [a.m.]-10.30 [a.m.]	4
10.30 [a.m.]-10.45 [a.m.]	-
10.45 [a.m.]-11.00 [a.m.]	4
11.00 [a.m.]-11.15 [a.m.]	-

Table 6. Number of Machinists Required to Go to the Second Relief Break in First Shift

Working Hours	Number of Machinists to Take a Second Relief Break in First Shift
12.15 [p.m.]-12.30 [p.m.]	3
12.30 [p.m.]-12.45 [p.m.]	3
12.45 [p.m.]-01.00 [p.m.]	1
01.00 [p.m.]-01.15 [p.m.]	-
01.15 [p.m.]-01.30 [p.m.]	-
01.30 [p.m.]-01.45 [p.m.]	3

Table 7. Number of Machinists Required to Go to the First Relief Break in Second Shift

Working Hours	Number of Machinists to Take a First Relief Break in Second Shift
03.15 [p.m.]-03.30 [p.m.]	-
03.30 [p.m.]-03.45 [p.m.]	3
03.45 [p.m.]-04.00 [p.m.]	-
04.00 [p.m.]-04.15 [p.m.]	5
04.15 [p.m.]-04.30 [p.m.]	-
04.30 [p.m.]-04.45 [p.m.]	5



Table 8. Number of Machinists Required to Go to the Meal Break in Second Shift

Working Hours	Number of Machinists to Take a Meal Break in Second Shift
05.45 [p.m.]-06.00 [p.m.]	3
06.00 [p.m.]-06.15 [p.m.]	-
06.15 [p.m.]-06.30 [p.m.]	5
06.30 [p.m.]-06.45 [p.m.]	-
06.45 [p.m.]-07.00 [p.m.]	5
07.00 [p.m.]-07.15 [p.m.]	-

Table 9. Number of Machinists Required to Go to the Second Relief Break in Second Shift

Working Hours	Number of Machinists to Take a Second Relief Break in Second Shift
08.15 [p.m.]-08.30 [p.m.]	-
08.30 [p.m.]-08.45 [p.m.]	-
08.45 [p.m.]-09.00 [p.m.]	-
09.00 [p.m.]-09.15 [p.m.]	-
09.15 [p.m.]-09.30 [p.m.]	4
09.30 [p.m.]-09.45 [p.m.]	9

In the current situation of the work, the number of people working in the 1st shift is 12, and the number of people working in the 2nd shift is 13. The total number of employees during the day is 25. As a result of the optimization model applied, the number of workers in the 1st shift was reduced to 10, while the number of workers in the 2nd shift remained constant at 13. During the day, the number of employees was reduced to 23 and a profit was obtained from a working force of 2 people. If this number is considered on the basis of daily working time, a daily gain of 16 hours has been achieved. If the optimal result is considered on the basis of costs, a daily profit of 32.7 dollars is obtained when the gross wage is 360 dollars. In this context, weekly, monthly and annual earnings are shown in Fig [2].

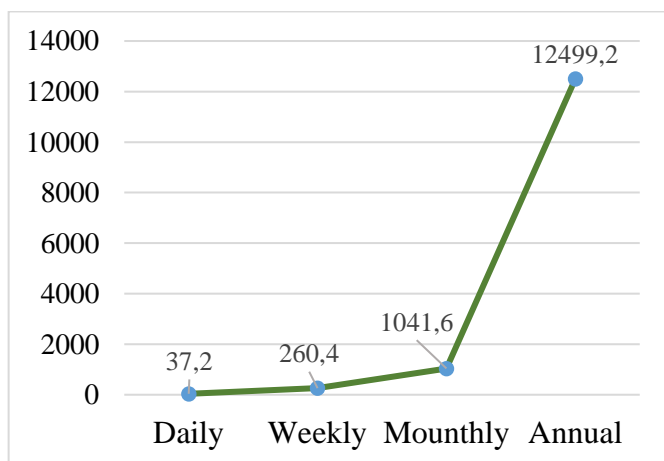


Fig. 2 Profits in Dollars

This study has been done for a 2-shift underground transportation system and minimizes the number of machinists assigned to each shift by minimizing the cost. The study contributes to the literature as it is done with real-life data. In future studies, the model can be developed by changing the number of shifts, adding other costs to the objective function, maximizing profits for the

objective function, and adding new constraints depending on the conditions of the sectors.

#### 4. Conclusions

This study has been solved by using real-life data for the shift scheduling problem found in the literature. Relief breaks and meal breaks are of great importance in order to increase the productivity of the employees and therefore the efficiency of the system. This issue, which is emphasized in this study, combined with real-life data, reveals how much profit can be made by actually making this shift scheduling. When the current situation and the proposed situation are compared, it is seen that 2 less employees are needed every day. Although it may sound small on a daily basis, it creates a visible effect when considered on an annual basis.

#### References

A´lvarez, E., Ferrer, J., Munoz, J. C. and Henao, C. A., (2020). ‘Efficient shift scheduling with multiple breaks for full-time employees: A retail industry case,’ *Computers & Industrial Engineering*, vol. 150, Oct. 2020.

Aykin T. (1996). ‘Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows,’ *Management Science*, vol. 42, pp. 591-602, Apr. 1996.

Dantzig, G. B., (1954). "A Comment on Edie's 'Traffic Delays at Toll Booths'," *Oper. Res.*, 2, 3 (1954), 339-341.

Das, D., and Yadav, C., (2020). ‘A framework of hiring strategy for manpower hiring in a hyper-local food delivery organization’ *Journal of Advances in Management Research*, vol. 18, pp. 113-135, July, 2020.

Hyatt, C., and Weaver, P. (2006). ‘A Brief History of Scheduling.’ Melbourne, Australia: *Mosaic Project Services Pty Ltd*.

Katrançı, A., and Organ A., (2021). ‘Integer Programming Approach for Solution of Fire Fighters Schedule Problem,’ *Pamukkale University Journal of Business Research*, vol. 8, pp. 131-149, May, 2021.

Pandey, P., Gajjar, H. and Shah B. J., (2021). ‘Determining optimal workforce size and schedule at the retail store considering overstaffing and understaffing costs’ *Computers & Industrial Engineering*, vol.161, Aug. 2021.



## Kentsel Dönüşümde İş Sağlığı ve Güvenliği

Abdullah Gündoğay<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5355-9014),  
[abdullahgundogay@sdu.edu.tr](mailto:abdullahgundogay@sdu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082160)

**ATIF/REFERENCE:** Gündoğay, A. (2022). Kentsel Dönüşümde İş Sağlığı ve Güvenliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 336-343.

### Öz

Ülkemizdeki binaların çoğunluğu betonarme binalardan meydana gelmektedir. Bu binaların çok büyük bir kısmı mühendislik hizmeti ve deprem etkisi dikkate alınmadan inşa edildiğinden dolayı kendisinden beklenen deprem performansını sağlayamamaktadır. Bu sebeple depremde meydana gelebilecek can ve mal kayıplarını önlemek ve en aza indirmek amacıyla yapılması gerekenlerin en başında depreme dayanıklı binalar inşa etmek, deprem güvenliği yetersiz olan binaları depreme dayanıklı hale getirmek veya yıkım işlemini gerçekleştirmektir. Bundan dolayı binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve gerekli görülenlerin yıkılarak yenilerinin inşa edilmesi önemli konulardan biri haline gelmektedir. Ülkemizdeki yapı stoku düşünüldüğünde yıkılacak olan binalarda gerekli olan iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınması ve uygulanması da büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Isparta ilinde bulunan 6 adet betonarme konut binasının deprem güvenliği Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY, 2018) göre incelenerek belirlenmiş ve ilgili yönetmelikte sağlaması gereken deprem performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür. Bu yüzden kentsel dönüşüm kapsamında yıkılması gerektiğine karar verilmiştir. Binaların yıkım işlemleri aşamasında ülkemizde kullanılmakta olan mevcut standart ve yönetmelikler, iş sağlığı ve güvenliği açısından ele alınarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda iş sağlığı ve güvenliği açısından ülkemizde kullanılmakta olan mevcut standart ve yönetmeliklerin günümüz şartlarına göre revize edilerek daha kapsamlı hale getirilmesi gerektiği görülmüştür. Bilinçsiz yıkım işlemlerinin ve iş kazalarının önüne geçilebilmesi için gerekli denetim ve kontrollerin yapılması gerektiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Bina, Deprem Güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliği, Kentsel Dönüşüm, Yıkım İşleri.

## Occupational Health and Safety in Urban Transformation

### Abstract

Most of the buildings in our country are reinforced concrete buildings. Most of these buildings can not provide the expected earthquake performance since they were built without considering the engineering service and the earthquake effect. Hence, in order to prevent and minimize the loss of life and property that may occur in an earthquake, the first thing to do is to build earthquake resistant buildings, to make buildings earthquake resistant which have insufficient earthquake safety or to carry out the demolition process. Therefore, investigating the earthquake safety of the buildings, demolishing the necessary ones and constructing new ones becomes one of the vital issues. Considering the building stock in our country, it is of great importance to take and implement the necessary occupational health and safety measures in the buildings to be demolished. Within the scope of this study, the earthquake safety of 6 reinforced concrete residential buildings in the province of Isparta was determined by examining according to the Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2018), and it was observed that it did not provide the earthquake performance level required to be provided in the relevant code. Therefore, it was decided that they should be demolished within the scope of urban transformation. The existing standards and regulations used in our country have been examined in terms of occupational health and safety during the demolition process of buildings. As a result of the investigations, it has been observed that the current standards and regulations used in our country in terms of occupational health and safety should be revised and made more comprehensive according to today's

\* Sorumlu Yazar: [abdullahgundogay@sdu.edu.tr](mailto:abdullahgundogay@sdu.edu.tr)

conditions. It has been observed that necessary inspections and controls should be carried out in order to prevent unconscious demolition processes and occupational accidents.

**Keywords:** Reinforced Concrete Building, Earthquake Safety, Occupational Health and Safety, Urban Transformation, Demolition Works.

## 1. Giriş

Dünya üzerinde büyük alanları etkileyerek can ve mal kayıplarına neden olan heyelan, sel, deprem, vb. doğal afetlerle ülkeler zaman zaman karşılaşmaktadır. Ülkemizin de bu doğal afetlerden maalesef etkilendiği olmuştur. Özellikle son 60 yılda ülkemizde oluşan doğal afetlerin neden olduğu yapısal hasarların dağılımı incelendiğinde depremlerin %61, heyelanların %15, su baskınlarının %14, kaya düşmelerinin %5, yangınların %4 ve çığ, fırtına, vb. afetlerin ise %1'ini oluşturduğu görülmüştür [1]. Buradan ülkemiz için en önemli etkenin deprem olduğu görülmektedir.

Geçmiş yıllarda meydana gelen depremler, gelecekte de ülkemizde depremlerin olacağına habercisidir. Günümüzde depremlerin hangi büyüklükte, nerede ve ne zaman olacağına bilinmesi ve olabilecek depremlerin önlenmesi maalesef mümkün olmamaktadır. Ancak depremde esnasında meydana gelebilecek olan can ve mal kayıplarının önlenmesi için yapılması gerekenlerin başında, mevcut binaların deprem güvenliği belirlenerek gerekli görülen tedbirlerin alınması ve depreme dayanıklı binaların inşa edilmesi olacaktır. Özellikle mevcut binaların deprem güvenliğinin incelendiği çalışmalarda gerekli olan deprem performansını sağlamadığı görülmüştür [2-6].

Ülkemizde geçmişte can ve mal kayıplarına neden olan birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Son 60 yıl içerisinde ülkemizde meydana gelmiş ve büyüklüğü 6.5 ve üzeri olan depremler Tablo 1'de verilmiştir. Bu depremler içerisinde özellikle 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Gölcük (Kocaeli) depreminde 17480 kişi hayatını kaybetmiş ve 73342 bina hasar görmüştür [7]. Bu tarihten sonra inşaat sektöründe kullanılan yönetmelikler revize edilmeye başlanılmıştır. Bu kapsamda 2007 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yeni yapılacak binaların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) [8] yayımlanmıştır. 2019 yılında ise DBYBHY (2007) yürürlükten kaldırılarak yerine daha kapsamlı ve ayrıntılı olarak hazırlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) [9] yürürlüğe girmiştir. Ayrıca TBDY (2018) ile birlikte eş zamanlı olarak Türkiye Deprem Tehlike Haritası da güncellenmiştir (Şekil 1). Böylece günümüz koşullarında eskiye oranla çok daha iyi kalite ve standartlarda betonarme binaların inşa edilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 1. Ülkemizde son 60 yıl içerisinde büyüklüğü 6.5 ve üzeri olan depremler [7]

Tarih	Yer	Büyüklük
06.10.1964	Manyas (Balıkesir)	7.0
19.08.1966	Varto (Muş)	6.9
22.07.1967	Mudurnu (Adapazarı)	6.8
03.09.1968	Bartın (Zonguldak)	6.5
28.03.1970	Alaşehir (Manisa)	6.5
28.03.1970	Gediz (Kütahya)	7.2
22.05.1971	Bingöl	6.8
06.09.1975	Lice (Diyarbakır)	6.6
30.10.1983	Erzurum - Kars	6.9
13.03.1992	Erzincan	6.8
17.08.1999	Gölcük (Kocaeli)	7.8
12.11.1999	Düzce	7.5
23.10.2011	Van	7.2
24.01.2020	Sivrice (Elazığ)	6.6
30.10.2020	Seferihisar (İzmir)	6.6



Şekil 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [10]

Ülkemizin yaklaşık olarak 20 milyon yapı stokunun bulunmaktadır. Bu yapı stokunda yaklaşık 5 milyonu 1999 yılında meydana gelen Gölcük (Kocaeli) depreminden sonra yapılmıştır ve öncelikle olarak daha iyi durumdadır [11]. Ancak gözden geçirilmesi gereken yaklaşık 15 milyon yapı bulunmaktadır. Bu 15 milyon yapının ise tahminen yarısının can ve mal güvenliği açısından riskli olduğu düşünülmektedir [1]. Bu durum da kentsel dönüşümü ülkemiz açısından kaçınılmaz hale getirmektedir.

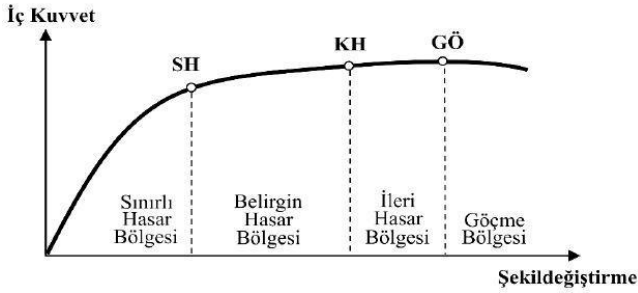
Çeşitli araştırmacılar tarafından günümüze kadar yapılan çalışmalarda kentsel dönüşüm ile iş sağlığı ve güvenliği farklı boyutlarıyla ele alınarak incelenmiştir [12] - [17]. Bu çalışma kapsamında 6 adet betonarme konut binasının deprem güvenliği TBDY (2018)'e göre incelenmiş ve bu binaların kentsel dönüşüm kapsamında yıkım işlemleri ülkemizde kullanılmakta olan iş sağlığı ve güvenliği standart ve yönetmeliklerine göre değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Binaların Deprem Güvenliği

Mevcut betonarme binaların deprem güvenliği belirlenirken binaların deprem performans seviyesine göre karar verilmektedir. TBDY (2018)'de mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerine yer verilmiştir. Doğrusal elastik yöntemlerde dayanım esaslı değerlendirme, doğrusal elastik olmayan yöntemlerde ise şekildeğiştirme esaslı değerlendirme yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında betonarme konut binalarının deprem performansını belirlemek için doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden "Tek Modlu İtme Yöntemi" kullanılmıştır.

TBDY (2018)'de binaların deprem performansı belirlenirken taşıyıcı sistem elemanlarının hasar dağılımına ve miktarına göre karar verilmektedir. Sünek taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri için Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzere üç farklı hasar sınırı ve bu hasar sınırlarına bağlı olarak dört farklı hasar bölgesi tanımlanmıştır. Kesit hasarı SH'ye ulaşamayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ve KH sınırları arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ve GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde ve GÖ'yu aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar sınırları ve bölgeleri [9]

TBDY (2018)'de binaların deprem performansı için Kesintisiz Kullanım (KK), Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) olmak üzere dört farklı seviye verilmiştir. Göçmenin Önlenmesi performans seviyesinin sağlanmaması halinde bina Göçme Durumu'nda olmaktadır.

TBDY (2018)'e 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD-2 deprem seviyesi için betonarme konut binasının sağlaması gereken hedef performans seviyesi KH'dır ve gerekli koşullar aşağıda verilmiştir.

- Betonarme binanın herhangi bir katında ve her bir deprem doğrultusunda, giriş elemanların en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'nde olabilir.
- İleri Hasar Bölgesi'nde olan düşey taşıyıcı elemanların, binanın her bir katında düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında, en üst katta ise en fazla %40 olmalıdır.
- Betonarme binanın herhangi bir katında alt ve üst uçlarının her ikisinde Belirgin Hasar Sınırını aşan düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetleri, o kattaki düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı en fazla %30 olabilir.

Yapılan analizler sonucunda betonarme binanın TBDY (2018)'de belirtilen hedef performans seviyesini sağlamaması hâlinde güçlendirilmesi veya yıkımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

### 2.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Yıkım İşlerinde Kullanılan Standart ve Yönetmelikler

Kentsel dönüşüm kapsamında ülkemizde yaklaşık 7.5 milyon yapının yenilenmesi düşünülmektedir. Bu yüzden yapıların yıkım işlerinde kullanılan standart ve yönetmelikler oldukça önemli hale gelmektedir. Mevzuatlar incelendiğinde, yıkım işlerine yardımcı olabilecek standart ve yönetmelikler sırasıyla incelenmiştir.

#### 2.2.1. Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları (TS 13633)

Bu standart [18] yapıların tam ve kısmi yıkım işleri için kullanılan yıkım teknikleri hakkında bilgi vermektedir. TS 13633'de verilen yıkım teknikleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- El ile yıkım
- Makine ile yıkım
- Uzaktan kontrol edilen makineler ve robotik cihazlar ile yıkım
- Kompakt makineler ile yıkım
- Yüksek erişimli makineler ile yıkım
- Kule ve diğer yüksek erişimli vinçler ile yıkım
- İple çekerek yıkım
- Delme ve testere ile kesme ile yıkım
- Kimyasal maddeler kullanılarak yıkım
- Patlayıcılar kullanarak yıkım
- Sıcak kesme ile yıkım
- Yüksek basınçlı su jeti kullanarak yıkım
- Metal tozu kullanarak kesim

Yukarıda verilen 13 adet yapı yıkım yönteminden genel olarak bahsedilmiş ve yıkım yöntemlerinin uygulama esaslarından, yıkım esnasında uyulması gereken kurallardan, alınması gereken önlemlerden, vb. birçok önemli konuda detaylı bilgiye yer verilmemiştir.

#### 2.2.2. Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrollü Yönetmeliği

Bu Yönetmelikte [19] hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi ilkelerinden, bu atıkları üreticilerin yükümlülüklerinden, inşaat ile yıkıntı atıklarının toplanarak taşınmasından, yıkım faaliyetleri için alınması gerekli izinlerden, yıkım işlemlerinden, tehlikeli atıkların toplanması ve bertarafından, bu atıkların taşınması esnasında alınması gerekli önlemlerden, vb. konulardan bahsedilmiştir. Yıkıntı atıkları ile ilgili uyulması gereken kurallar aşağıda verilmiştir.

- Yıkıntı atıkları ile hafriyat toprağının birbiriyile karıştırılmaması, atıkların direkt olarak kaynağında ayrıştırılması ve seçici yıkım yapılması gerekmektedir.
- Yıkımı yapılan yapılarda geri kazanılabilir malzemelerin ayrıştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda

dolap, pencere, kapı, duvar ile taban kaplamaları, yalıtım, vb. inşaat malzemeleri ile tehlikeli atıkların yıkımı yapılan yapılardan ayrı toplanmalıdır. Yıkımın hidrolik ekipmanlı iş makineleri ile yapılması halinde kolon, kiriş, vb. betonarme elemanlar parçalanmalıdır.

➤ Asbestli malzemelerin kullanıldığı binaların yıkımında çalışanların sağlığını ve güvenliğini korumak için “Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik” kurallarına uyulması gerekmektedir.

➤ Yıkım işlemleri esnasında toz emisyonlarının asgariye indirilmesi, görüntü kirliliğinin önlenmesi ve gerekli emniyet önlemlerinin alınması için yıkımı yapılan binaların cephelerine tutucu ve yırtılmaz özelliği olan file vb. malzeme kullanılarak koruma altına alınmalıdır.

➤ Yıkıntı atıklarında asbest, boya, floresan, asit, cıva, vb. tehlikeli atıklar bulunması halinde diğer atıklardan ayrıştırılarak toplanmalıdır.

### 2.2.3. Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği

Bu Yönetmelikte [20] yapı işlerinde alınması gereken asgari iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile yapı işlerinden bahsedilmiştir. Yıkım işleri, yapı işlerinin içerisinde yer almaktadır. Yıkım işlerinde uyulması gereken kurallar aşağıda verilmiştir.

➤ Yıkımdan önce yapı içerisinde ve etrafındaki elektrik, su ve doğalgaz bağlantıları kesilerek yıkım işlemi yapılacak kısmın çevresinde güvenlik alanı oluşturulur ve gerekli olan tedbirler alınır.

➤ Yıkım sırasında en uygun çalışma yöntemleri ile ekipmanlar kullanılarak gerekli olan tedbirler alınır.

➤ Çalışmalar, ehil kişinin veya kişilerin gözetimi altında planlanarak yapılır.

➤ Yıkım sırasında tozun kalkmaması ve yıkıma ait malzeme ve molozların yıkım ortamından güvenli bir şekilde uzaklaştırılması için gerekli olan tedbirler alınır.

### 2.2.4. Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik

Bu Yönetmelikte [21] asbestin sökümü, yıkımı, tamiri, bakımı ve uzaklaştırılması işlerinde çalışanların asbest tozuna maruziyetlerinin önlenerek korunması için alınması gereken önlemlerden ve asbest sınır değerlerinden bahsedilmiştir. Asbestle çalışmalarda uyulması gereken kurallar aşağıda verilmiştir.

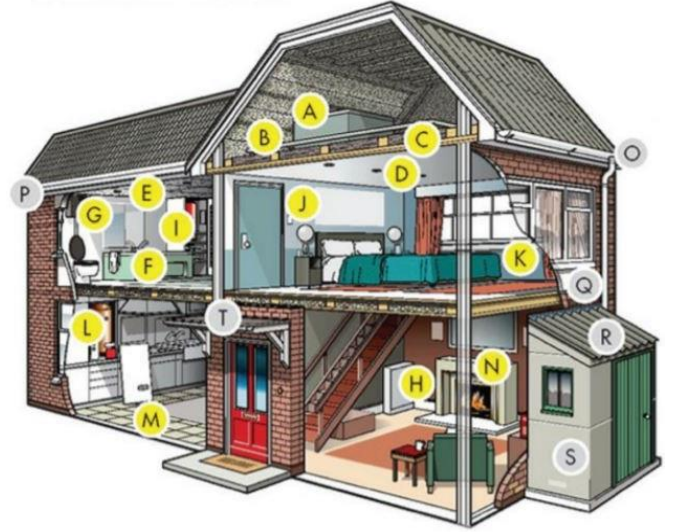
➤ Bakım, tamir, söküm, yıkım ve uzaklaştırma işlerinden önce asbest içerebilecek malzeme ve yerlerde inceleme yapılarak gerekli tedbirler alınır.

➤ İşverenler, asbest içerebilecek malzemelerin sökümü, yıkımı, tamiri, bakımı ve uzaklaştırılması işlerini asbest söküm uzmanı gözetiminde asbest söküm çalışanlarınca yapılmasını sağlar.

➤ Bakım, tamir, söküm, yıkım ve uzaklaştırma işlerinde havadaki asbest konsantrasyonunun sekiz saatlik zaman ağırlıklı ortalama değerinin  $0.1 \text{ lif/cm}^3$  değerini aşılacağı durumlarda çalışanların uygun solunum sistemi koruyucularını ve diğer kişisel koruyucu donanımları kullanması sağlanır. İlgili yerlere gerekli

işaretlemeler yapılarak uyarı levhaları konulur. Asbestli malzemeden çıkan tozun, çalışılan alan dışına yayılmasını önlemek için gerekli önlemler alınır ve çalışılan alana görevliler haricindeki çalışanların girmesi önlenir.

Asbest malzemesi yüksek derecede ısıya, aşınmaya ve paslanmaya karşı dayanıklı olması, ses ve ısı yalıtımının iyi olması, elektrik geçirgenliğinin az olması, çimento vb. malzemeler ile kullanılabilmesi özellikleri nedeniyle inşaat ve sanayi sektöründe kullanılmıştır. Ülkemizde asbest malzemesinin kullanımına 2003 yılında sınırlama getirilmiş ve 2010 yılında ise kullanımı yasaklanmıştır. 1980 yılından önce yapılan binaların birçok yerinde asbestin yoğun bir şekilde kullanıldığı düşünülmektedir. Bina içerisinde en yaygın olarak kullanılan yerler Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Binalarda asbestin kullanıldığı yerler [22]

Şekil 3’te verilen bina incelendiğinde asbestin bina içerisinde en yaygın olarak kullanıldığı yerler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- A. Su deposu
- B. Boru izolasyonları
- C. Çatı izolasyonu
- D. Duvar kaplamaları
- E. Tavan döşemeleri
- F. Küvet
- G. Klozet
- H. Sigorta kutuları ve prizler
- I. Püskürtme izolasyon malzemeleri
- J. Bölme duvarlar
- K. İç pencere paneli
- L. Kazan ve ısıtıcı
- M. Marley ve yer kaplaması
- N. Şömine
- O. Yağmur olukları ve borular
- P. Saçak malzemeleri
- Q. Yalıtım levhaları dış pencere paneli

R. Eternit

S. Dış cephe kaplamaları

T. Çatı kaplamaları

### 2.2.5. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Bu Yönetmelikte [23] insanların maruz kaldığı çevresel gürültüler ve titreşime yönelik esasları ve usulleri kapsamaktadır. Bu kapsamda binalar için yapım, onarım ve yıkım işlerinin yapıldığı şantiyelerden çevreye yayılan gürültü seviyesi 75 dBA sınır değerini aşamaz. İnşaat makinelerinden kaynaklanan zemin titreşimlerin seviyesi yerleşim yerlerinde sürekli titreşim durumunda 5 mm/s, kesikli titreşim durumunda ise 10 mm/s titreşim hızı değerlerini aşamaz.

### 2.2.6. Atık Yönetimi Yönetmeliği

Bu Yönetmelikte [24] atıkların insan sağlığına ve çevreye zarar vermeden yönetimini sağlayarak atık oluşumunun azaltılması/önlenmesi ve geri dönüşümünün yapılarak doğal kaynakların kullanımının azaltılmasından bahsedilmiştir. Yönetmelik içerisinde inşaat ve yıkıntı atıklarının detaylı olarak listesi verilmiştir. Bu listede atıkların tehlikelilik durumu (kesin/muhtemel) ve tehlikelilik özelliklerine yönelik çalışma yapıp/yapılmaması hakkında bilgi verilmektedir.

### 2.2.7. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Bu Yönetmelikte [25] atıkların düzenli depolanması yoluyla bertaraf edilmesi halinde oluşması ihtimal sızıntı sularının ve depo gazlarının hava, toprak, yüzeysel ve yeraltı suları üzerindeki etkilerini asgari seviyeye düşürerek çevre kirliliğinin önlenmesi amaçlanmıştır.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak herhangi bir değişime uğramayan, çözünmeyen, yanmayan veya temas halinde olduğu maddeleri insan hayatına ve çevreye zarar verecek seviyede etkilemeyen, sızıntı yeteneği ve ekotoksitesi önemsiz seviyede olan, yeraltı ve yüzeysel su kirliliği tehlikesi oluşturmayan atıklar inert atık olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma uyan seramik, tuğla, kiremit ve betondan oluşan karışımların atıkları, inert atık depolama tesislerine herhangi bir teste tabi tutulmaksızın kabul edilirler. İnşaat atıkları, asbest içermesi durumunda test edilmeden ikinci sınıf depolama tesislerinde depolanabilirler.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada Isparta ilinde 1970 yılında inşa edilmiş olan 6 adet betonarme tek tip konut binasının deprem performans analizleri gerçekleştirilmiş ve bu binaların kentsel dönüşüm kapsamında yıkım işlemi ülkemizde kullanılmakta olan iş sağlığı ve güvenliği standart ve yönetmeliklerine göre incelenmiştir.

### 3.1. Binaların Deprem Performans Analizleri

Isparta ilinde 1970 yılında 4 katlı olarak inşa edilmiş çerçeve taşıyıcı sistemine sahip 6 adet betonarme tek tip konut binasının deprem performans analizleri Sta4-CAD [26] programı kullanılarak DD-2 deprem düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10) için yapılmıştır.

Binalara ait sabit yapısal parametrelerden donatı sınıfı S220, kat yüksekliği 2.75 metre, toplam bina alanı 671 m<sup>2</sup>, bina

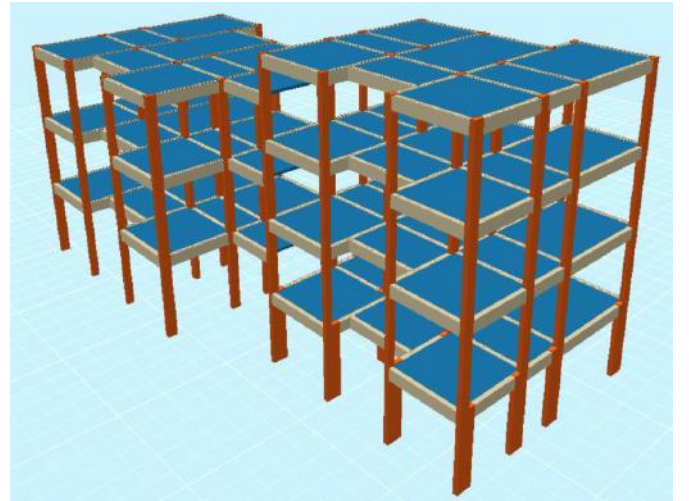
ağırlığı yaklaşık 7350 kN, zemin sınıfı ZD, kısa periyot ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı sırasıyla 0.895 ve 0.384'tür. Binaların beton dayanımı ( $f_{cm}$ ) değerleri ile yapılan analizler sonucunda elde edilen binaların x ve y yönlerine ait periyot değerleri ( $T_x$ ,  $T_y$ ), riskli bulunan kat adet sayıları ve bina performans seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Sta4-CAD programında oluşturulan bina modellerine kat planı Şekil 4'te ve 3 boyutlu modele ait görüntüsü Şekil 5'te sunulmuştur.

Tablo 2. Binaların analiz sonuçları

Bina No	$f_{cm}$ (MPa)	$T_x$ (sn)	$T_y$ (sn)	Riskli Bulunan Kat Adedi	Performans Seviyesi
1	18.14	0.87	0.65	4	Göçme
2	16.98	0.89	0.67	2	Göçme
3	18.16	0.87	0.65	3	Göçme
4	16.28	0.90	0.67	4	Göçme
5	18.37	0.87	0.65	3	Göçme
6	18.25	0.89	0.66	3	Göçme



Şekil 4. Binaların kat planı



Şekil 5. Binaların 3 boyutlu taşıyıcı sistem modeli

Yapılan analizler ve değerlendirme sonucunda betonarme konut binalarının TBDY (2018)'de verilen hedef performans seviyesi olan KH'yı sağlamadığı ve riskli bina oldukları görülmüştür. Bunun sonucunda binaların yıkılmasına karar verilmiştir.

### 3.2. Binaların Yıkım İşlemleri

Yıkılmasına karar verilen binaların yıkım işlemine geçilmeden önce binalar boşaltılarak elektrik, su ve doğalgaz bağlantıları kesilmiştir. Yıkım işlemi gerçekleştirilecek binaların parsel yerleşimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Yıkımı işlemi gerçekleştirilecek binalar

Yıkım işleminde atıkları kaynağında ayrıştırarak ülke ekonomisine tekrar kazandırmak amacıyla seçici yıkım tekniği uygulanmıştır. Bu kapsamda geri dönüşümü mümkün olan batarya, eviye, lavabo, küvet, kapı, pencere, dolap, cam, mermer, ahşap, metal, çelik, alüminyum, bakır, elektrik kabloları, atık su boruları, doğalgaz tesisatları, balkon ve merdiven korkuluk demirleri, çatı keresteleri, kiremit, bordür ve parke taşı vb. malzemeler seçici yıkım yapılarak yıkım alanından taşınmıştır. Seçici yıkım yöntemine ait bazı görüntülere Şekil 7'de yer verilmiştir.



(a) Çatı kaplamasının sökülmesi



(b) Kapı ve pencerelerin sökülmesi



(c) Ahşap malzemelerin sökülmesi



(d) Seçici yıkım işlemi tamamlanmış bina  
Şekil 7. Binalarda seçici yıkım yapılması

Seçici yıkım yöntemiyle malzemelerin sökülme işlemi tamamlandıktan sonra binaların taşıyıcı sistem elemanları (kiriş, kolon ve döşeme), tuğla duvarlar ve ıslak alan kaplamaları kalmıştır. Binaların geriye kalan kısımlarının yıkımı makine ile yıkım tekniği kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda ekskavatör denilen iş makineleri kullanılmıştır (Şekil 8). Yıkım esnasında betonarme elemanlardaki hurda demirler ve ortaya çıkan metaller ayrıştırılmıştır (Şekil 9). Binaların yıkım işlemi sırasında ortaya çıkan atıklar yıkım alanından uzaklaştırılıp, temizlenmiştir (Şekil 10).



(a) Yıkımı yapılan bina



(b) Yıkımı devam eden bina

Şekil 8. Binaların ekskavatör kullanılarak yıkılması



Şekil 9. Yıkım esnasında çıkan hurda demirin ayrıştırılması



Şekil 10. Yıkıntı atıklarının yıkım alanından uzaklaştırılması

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında Isparta ilinde 1970 yılında inşa edilmiş 6 adet betonarme tek tip konut binasının deprem performans analizleri Sta4-CAD programında yapılmış ve deprem güvenlikleri yetersiz bulunmuştur. Bunun sonucunda binaların kentsel dönüşüm kapsamında yıkılmasına karar verilmiştir. Binaların yıkım işlemleri aşamasında ülkemizde kullanılmakta olan standart ve yönetmelikler, iş sağlığı ve güvenliği açısından ele alınarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Yapıların yıkım işlemlerini geniş kapsamlı olarak ele alan, yıkım tekniklerini detaylı olarak inceleyen, yıkım işlemlerinde uygulanması gereken kural ve yöntemleri net ve kesin bir ifade ile belirten bir standart veya yönetmelik bulunmadığı görülmüştür. Ancak, yapılarda kullanılan yıkım metotları ile ilgili sınırlı içeriğe sahip Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları (TS 13633) bulunmaktadır.

Yıkım işlemlerine başlanılmadan önce yıkım alanında ve çevresinde gerekli olan güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu durum yetkililer tarafından da denetlenmelidir.

Yıkım işlemlerinde iş kazalarının önüne geçebilmek için yıkım planı ile iş sağlığı ve güvenliği planları hazırlanarak uygulanması sağlanmalıdır.

Yıkılması planlanan binalarda tehlikeli atıkların varlığı yıkılmadan önce muhakkak belirlenmelidir. Tehlikeli atıkların bulunması halinde bu atıkların türü ve miktarı belirlenerek sökülmesi ve yıkım işlemlerinde uzman kişilerin gözetiminde gerçekleştirilmelidir. Yıkım işleminden sonra bu atıklar için uygun olan depolama işlemine karar verilerek atık yönetimi sürecine gerekli özen gösterilmelidir.

Yıkım işlemleri esnasında oluşan gürültü, toz ve titreşimin ölçümleri yapılarak insan sağlığına ve çevreye zarar verilmeden yıkımın yapılması sağlanmalıdır.

Yıkım işlemlerinde en tehlikeli durumun yıkım alanında asbestli malzeme bulunması olarak düşünülebilir. Bu yüzden yıkım işlemlerine başlanılmadan önce uzman kişiler tarafından denetim yapılarak asbest varlığının olup/olmadığı ile ilgili rapor hazırlanmasında yarar vardır.

Mevcut standart veya yönetmeliklerin, günümüz ihtiyaçlarına göre detaylı olarak ele alınmasında ve revize edilmesinde yarar vardır.

#### Kaynakça

- [1] RAİUK. (2018). Riskli Alan İlanı ve Uygulama Kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [2] İnel, M., Bilgin, H. & Özmen, H., (2006). Mevcut Kamu Yapılarının Performans Değerlendirmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 444-445, 64-71.
- [3] İnel, M., Bilgin, H. & Özmen, H., (2007). Okul Binalarının Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Değerlendirilmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 257-267, İstanbul.
- [4] Gündoğay, A. & Tekeli, H., (2018). Atölye binalarının deprem performansını etkileyen bazı parametrelerin incelenmesi. 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 929-938, Antalya.
- [5] Gündoğay, A., Ulutaş, H., & Tekeli, H. (2019). Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10(2), 755-768. DOI: 10.24012/dumf.432136
- [6] Sarı, O. & Ulutaş, H. (2021). Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(4), 1129-1144. DOI: 10.17714/gumusfenbil.906844
- [7] URL-1. (2017). Deprem Bilgileri-Büyük Depremler. Erişim: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprembilgileri/buyuk-depremler/>
- [8] DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [9] TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [10] AFAD. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [11] URL-2. (2017). Türkiye'nin ortalama 20 milyon yapı stoku var. Erişim: <https://emlakkulisi.com/turkiyenin-ortalama-20-milyon-yapi-stoku-var/521868>
- [12] Öcal, C. & İnce, H. H. (2012). Türkiye'de Mevcut Yapı Stoğu ve Kentsel Dönüşüm. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4(2), 89-95.
- [13] Akboğa-kale, Ö., Güranlı, G. E. & Baradan, S. (2017). Kentsel dönüşüm sürecinde asbest maruziyeti ve korunma yöntemleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 (6), 694-706.
- [14] Poyraz, Ü. (2016). TÜRKİYE İNŞAAT YIKINTI ATIK YÖNETİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [15] Yönez, E. (2017). 6306 Sayılı Kanuna Göre Riskli Bir Binanın Dönüşüm Süreci ve Karşılaşılan Sorunlar: Bir İlçe Belediyesi Örneği,” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.



- [16] Salgın, B. & Coşgun, N. (2018). Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Yapısal Atık Sorunu ve Çözümüne Yönelik Öneriler: Kayseri Örneği. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 465-476. DOI: 10.28948/ngumuh.387388
- [17] Özel, H. (2018). Kentsel Dönüşümde Yıkım Uygulamalarının İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Analizi Kocaeli Örneği. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep.
- [18] TS 13633. (2017). Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [19] HTİYAKY. (2004). Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [20] YİİSGY (2013). *Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.
- [21] AÇSGÖHY. (2013). Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.
- [22] TMMOB, (2018). İstanbul Asbest Raporu. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İstanbul İl Koordinasyon Kurulu, 6-31.
- [23] ÇGDYY. (2010). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [24] AYY. (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [25] ADDDY. 2010. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [26] Sta4-CAD. (2021). Structural Analysis for Computer Aided Design. v14, İstanbul, Türkiye.



# The Effectiveness of Transfer Learning and Fine-Tuning Approach for Automated Mango Variety Classification

Nagham Alhawas<sup>1\*</sup>, Zekeriya Tüfekci<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7407-1392), [nagham\\_hs@hotmail.com](mailto:nagham_hs@hotmail.com)

<sup>2</sup> Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7835-2741), [ztufekci@cu.edu.tr](mailto:ztufekci@cu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082217)

**ATIF/REFERENCE:** Alhawas, N. & Tüfekci, Z. (2022). The Effectiveness of Transfer Learning and Fine-Tuning Approach for Automated Mango Variety Classification. *European Journal of Science and Technology*, (34), 344-353.

## Abstract

For the mango-producing sectors, an accurate vision system for classifying distinct mango types is essential. The process is mostly done using manpower labor and it is cost-inefficient. However, actual success in this field is still narrow, and there is a significant shortage of studies on this issue. This paper presents the effectiveness of applying transfer learning and fine-tuning on the identification of mango types. An imagery dataset of eight Pakistani mango varieties is used to fulfill the study purpose. Based on the experiments different image preprocessing and data augmentation techniques are applied. Two main experiments are conducted on MobileNet and ResNet50. For MobileNet, the performance behavior was compared between loading only the modal's architecture with random weights, then with the use of transfer learning, and finally by cooperating fine-tuning. Different hyperparameter tuning was studied to improve the model's performance. For the ResNet50, a hybrid ResNet50 with machine learning models is built. The ResNet50 with transfer learning is used as a feature extractor and number of 2084 features have resulted. Principal component analysis PCA is applied to reduce the dimensionality of features. The 187 resulted feature is scaled, then fed to Naïve Bayes, Logistic Regression, SVM with different kernels all are tested with 10 stratified repeated kfold. Different performance evaluation metrics were used to assist the models' behaviors. We showed that transfer learning and fine-tuning is the best practice in terms of performance and execution time for the mango varieties identification. The best testing accuracy, recall, F1, and precision is 100%.

**Keywords:** computer vision, Resnet50, MobileNet, Transfer learning, fine-tune, hybrid CNN-ML models.

## Otomatik Mango Çeşitlerinin Sınıflandırması İçin Transfer Öğrenme ve İnce Ayarlama Yaklaşımının Etkinliğinin Değerlendirilmesi

### Öz

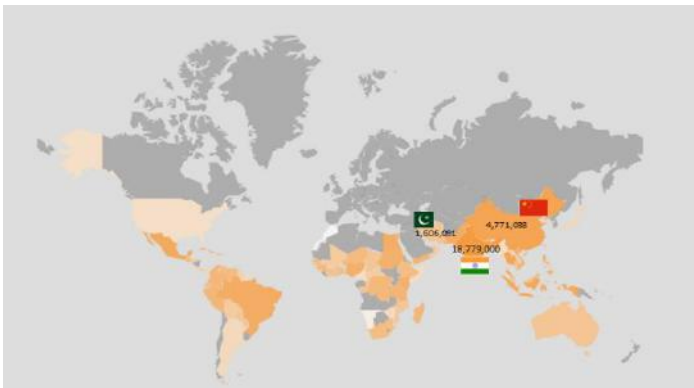
Mango üreten sektörler için, farklı mango türlerini sınıflandırmak için doğru bir görüş sistemi esastır. İşlem çoğunlukla insan gücü emeği kullanılarak yapılır ve maliyet etkin değildir. Ancak, bu alandaki gerçek başarı hala sınırlı ve bu konuda önemli bir çalışma eksikliği var. Bu makale, mango türlerinin tanımlanmasında transfer öğrenimi ve ince ayarın uygulanmasının etkinliğini sunar. Çalışma amacını yerine getirmek için sekiz Pakistan mango çeşidinden oluşan bir görüntü veri seti kullanılmıştır. Deneylere dayalı olarak farklı görüntü ön işleme ve veri büyütme teknikleri uygulanmaktadır. MobileNet ve ResNet50 üzerinde iki ana deney gerçekleştirildi. MobileNet için, performans davranışı, yalnızca modul mimarisini rastgele ağırlıklarla yükleme, ardından transfer öğrenme kullanımı ve son olarak ince ayar işbirliğiyle karşılaştırıldı. Modelin performansını iyileştirmek için farklı hiperparametre ayarlaması çalışıldı. ResNet50 için, makine öğrenimi modellerine sahip hibrit bir ResNet50 oluşturuldu. Transfer öğrenmeli ResNet50 öznetelik çıkarıcı olarak kullanıldı ve 2084 adet öznetelik elde edildi. Temel bileşen analizi PCA, özelliklerin boyutunu azaltmak için uygulanır. Elde edilen 187 öznetelik ölçeklendi, daha sonra Naïve Bayes'e, Lojistik Regresyon ve farklı çekirdeklere sahip SVM'e girdi olarak verilir 10 tabakalı tekrarlanan kfold ile test edildi. Modellerin davranışlarına yardımcı olmak için farklı performans değerlendirme metrikleri kullanıldı. Mango çeşitlerinin tanımlanması için performans ve uygulama süresi açısından transfer öğrenimi ve ince ayarın en iyi uygulama olduğunu gösterdik. En iyi test doğruluğu, geri çağırma, F1 ve kesinlik oranı %100'dür.

**Anahtar Kelimeler:** bilgisayarla görme, Resnet50, MobileNet, hibrit, Transfer öğrenme, ince ayar, CNN-ML modeller

\* Corresponding Author: [nagham\\_hs@hotmail.com](mailto:nagham_hs@hotmail.com)

## 1. Introduction

There are many intelligent systems to automate the process of sorting, grading, and classifying vegetables and fruits. We see multiple examples in this field, whether to classify dry grains, coffee beans, avocado, and other types. These studies use computer vision, machine learning techniques, and deep learning to classify the various types of these crops for goals related to either sorting, grading, or harvesting systems. The agricultural system can use such systems to increase quality and production while minimizing the manpower and time cost. The effectiveness and significance of these methods and research in the agricultural area are still being debated. One of the trends that still need to be addressed is the mango classification. The mango classification system is still needed on the market and in the agricultural field and there is a lack of this kind of study in literature. Mango is a delicate agricultural crop that can readily develop brown stains during postharvest processing, shipping, and marketing. Mango is a popular type of fruit because of its sweet taste. Most of the countries that produce it are India, China, and Pakistan Figure 1 shows the production of each country. The procedure of classifying mangos across the world is primarily carried out by farmers' manual work. The development of automatic system can decrease human labor and the cost while keeping the high-quality standards. Not much study is available in literature classifying mangos varieties compared to studies done for other fruit. This might be due to the lack of such available datasets. Because of the wide variety of geometric shapes, forms, and features, distinguishing the various mango types is a challenging task. Computer vision by involving machine learning and deep learning techniques makes the recognition of mango types and quality easier than ever before. The physical and geometrical appearance is the key factor to implementing useful models.



**Figure 1** The World Top Mango Production by Country

Different research in literature used shallow approaches to extract shape, size, area, texture, and color features from mango images. (Yossy et al., 2017) extracted the physical characteristic of 4 types of mangos for sorting purposes. Color conversion is done to convert RGB images into HSV color models, then convert it to grayscale image for segmenting ROI. Finally, they extracted size, area, and color information. These features are fed into artificial neural network model with a different number of hidden layers. With a 0.000001 learning rate and 40 hidden layers their accuracy is 94%.

Five mango varieties were classified by the Naïve Bayes model in (Win & Misigo, 2019) image processing techniques

were utilized to detect the mango features in a better way. All the RGB images were resized into  $300 \times 400$  then the median filter is applied to remove the noise from the images. To segment the region of interest first all a color conversion is considered to convert RGB images to HSV color model then the images are converted to binary images. To detect the edges even better Sobel mask operator is applied. Then the shape and texture features were extracted as Area, Perimeter, Major Axis length, and Minor Axis for the former. All features of 50 images of each five-mango class are fed to the Naïve Bayes classifier to distinguish. 20 images of each class were used for testing and the average accuracy is 94%.

In (Naik & Shah, n.d.) data sets of 1082 images of seven mango varieties were prepared to build a deep learning model that is able to distinguish between the different types. All RGB images were resized into  $512 \times 512$  then fed to Inception v3, Xception, DenseNet, and MobileNet achieved 90, 92.42, 91.42, and 88.57 % accuracy respectively. These pre-trained models are used without further fine-tuning steps. 60 images of each type were used for training and 10 for testing.

This study (Pandey et al., 2021) aims to classify 15 varieties of mango collected from markets using transfer learning. 1850 images were collected so, each category contains 100-200 samples. All images resized to  $277 \times 277$  and fed to AlexNet, GoogLeNet, ResNet50, and VGG16 pre-trained models. The mean, minimum, and maximum values of the F1 score and FPR were measured to evaluate models' performance.

(Abbas et al., 2018) use the texture and shape features to identify 7 types of mangos via a model designed mainly to process medical images which is B11 program. 140 features were obtained after applying PCA, the total testing accuracy is 83 %.

(Behera et al., 2019) proposed a method for automatic classification of 10 mango types using statistical features and SVM. The RGB input image goes under contrast enhancement and then transfers the color space from RGB to  $L^*a^*b$  color space to be able to use k-mean to detect the mango and extract 13 features. Then multiclass SVM was trained to classify 30 mango images. The accuracy 90%.

(Rizwan Iqbal & Hakim, 2022) enhance Inceptionv3, ResNet15, and VGG16 pre-trained models to classify eight mango types of 2400 samples. The images were resized into  $280 \times 260$ . Horizontal and vertical Sobel filters were applied to RGB images to detect the mangos edges so, all the RGB images are segmented and contain only mango. Rotation, translation, zooming, shearing, and horizontal flipping were used as augmentation techniques. The dataset was split into 85% for training and 15% for testing. The accuracy range from 96 to 99% and the highest result is 99.16% test accuracy and 0.1 test loss with 50 epochs and 32 batch sizes.

This study contributes to the classification of several mango varieties utilizing transfer learning and fine-tuning techniques. The study aims to find a model capable of differentiating different types of mangoes, even if they are of great and complex similarity, using advanced techniques. This study is the first of its kind in terms of building a hybrid CNN model with machine learning models to classify mango types. This study also makes a significant contribution to a detailed study of the dataset and provides various experiments of transfer learning techniques and their effectiveness, as well as a detailed study of each model's performance. Unlike previous studies in mango classification, this study gives detailed stages for improving images, preparing data,

building models, tuning the hyperparameters, and demonstrating the impact of this on performance. Also, previous studies do not show clear matrices related to the test process and the cost of time, but in this study, we present and analyze these results deeply and analytically in which other researchers could benefit. (Naik & Shah, n.d.) stated that there are no studies in the classification of mango types to compare his work with, and here we give an in-depth study that we hope helps researchers in the disciplines of classification, transfer learning, and fine-tuning to find this study serve them in their objectives, fields, and research area.

This paper is organized as follows in section 2 we provide a detailed explanation of the material and methods used to develop the proposed framework. The results and decision is presented in section 3 and section 4 respectively. The final words of this study are stated in section 5. At the end of the paper, all the cited references are shown.

## 2. Material and Method

In this section, the dataset and methodology that used in this study is illustrated in the following section.

### 2.1. Dataset

The imagery dataset (Hakim, 2021) is acquired from a public repository. This dataset is published in July 2021, and it's not been studied well before and this motivates us to work with it. The dataset contains Classification\_dataset folder that contains eight folders for eight varieties of Pakistani mangoes which are: Anwar Ratool, Chaunsa (Black), Chaunsa (Summer Bahisht), Chaunsa (White), Dosehri, Fajri, Langra, and Sindhri. Each folder contains 200 RGB images which are quite little to train deep learning model. Figure 2 Shows samples from the dataset with the appearance of each type.

trained models. Two efficient CNN architectures were inspected, Resnet50 (He et al., 2016) and MobileNet (Howard et al., 2017). MobileNet has a lightweight and small-size architecture, Resnet 50, on the other hand, is deeper in-depth and size. The input to the proposed models is RGB images and the output is one of the different eight mango types. The framework that we propose consists of two parts. The first is to use the MobileNet to carry out the multi-classification process to determine the types of mangos after preparing the images to be compatible with the model. The second part of the suggested framework is to build a hybrid deep learning model that uses the state-of-art deep learning model as a feature extractor then fed it to the state-of-art machine learning models after applying PCA to carry out the multi-classification task. For this purpose, Resnet50 is used as the feature extractor and Naïve Bayes, logistic regression, and SVM with different kernel functions were used as classification models. The Resnet50 is characterized by being very deep and has residual connection nature which makes it one of the best feature extractor choices (Sharma et al., 2018). In this framework, the effectiveness of applying transfer learning and fine-tuning will be studied after applying it to two parts then comparing performance and results. Figure 3 shows the proposed methodology to perform multi-classes mango classification then study the effectiveness of transfer learning and fine-tuning approach. The hardware and software configuration are shown in Table 1.

Table 1 Hardware and Software Configuration

Hardware / software	Parameter
Operating System	Windows 11 pro× 64
CPU	11th Gen Intel® Core™ 3.30 GH
GPU	NVIDIA GeForce RTX 3060 1
Programming language	Python
IDE	Jupyter
Deep learning library	TensorFlow
Computer Vision library	OpenCV

#### 2.2.1 MobileNet

MobileNet was the first deep learning model designed for mobile and embedded vision applications (Benjamin Planche & Eliot Andres, 2019). It is also known as Depth wise Separable Convolution Network as the network uses it as the core building block for the MobileNet layers apart from the first layer, which is a complete convolutional layer. By the mean of depthwise and pointwise convolutions, the network performs a single convolution on each RGB input channel individually. Unlike the standard convolution operation that is used in other models which rely on filtering and merging data based on convolutional kernels to create a new representation in one step, the MobileNet makes the filtering and combination in two steps. That is achieved by using depthwise convolution followed by pointwise convolution. The depth-wise applies a separate filter to each of the M input channels. It is a channel-wise of size  $D_k \times D_k$  spatial convolution. Then it is followed by pointwise convolution it applies a  $1 \times 1$  filter to combine the output from the depthwise convolution into a linear combination so it modifies the channel

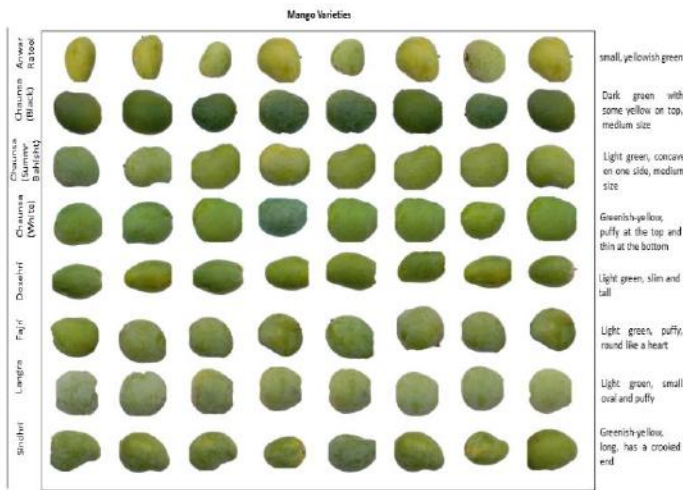


Figure 2 Mango Types Dataset

### 2.2. Method

The proposed methodology to build a robust multi-class classifier that can determine the different mango types take the advantage of transfer learning with fine-tuning based on pre-



of the images shows their feature map with 9 activations. We can notice that the filters on the earlier layers detect general features pattern, intensity, edges, corners, etc. This low-level feature can be shared among a wide range of computer vision tasks. While in the last layers as clear in same figure it contains a detailed mango object. So, the use of the pre-trained model to detect these low-level features in the earlier layer appears and further fine-tune the new add layers to address the compact mango object.

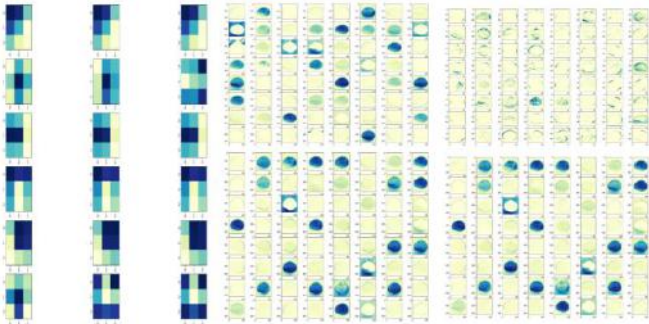


Figure 6 The Feature map for Convolutions Block with mango image

The following subsection demonstrates the specific stages that we follow for each part of developing the proposed framework based on the discussed methodology.

### 2.2.4 Experiments

To compare the effectiveness of TL and fine-tuning, we will do the following experiments on MobileNet architecture:

#### 2.2.4.1 MobileNet Experiments

*i. Use its elegant architecture and initialize the weights randomly.*

Here we use the MobileNet architecture without including the top layers and without using its weights. All the layers were set to be trainable thus we have 3,206,976 trainable parameters which is the total number of parameters in the whole model. Adam is used as optimizers and the loss is set to 'categorical\_crossentropy', and the accuracy is chosen as evaluation metrics. The model is fit with the training images and validation ones with different 10, 32 batch size and with 5, 50, and 100 epochs.

*ii. Use the pre-trained model with the pre-trained weights (Transfer Learning)*

Load the MobileNet model and load its pre-trained weights on ImageNet. Cut off the last 4 layers which is a task-specific layer and instead of it we add a Dense layer with SoftMax as an activation function to classify the 8 classes that we have in the dataset. The earlier layers were frozen, so the weights won't be updated throughout the learning stage as we want to get benefit from the model architecture as well as from the knowledge it has. This experiment was held with different batch sizes and a different number of epochs.

*iii. Fine Tune The transfer pre-trained MobileNet*

Load the MobileNet model and load its pre-trained weights on ImageNet. Cut off the last 4 layers which is a task-specific layer and instead of it we add a Dense layer with SoftMax as an activation function to classify the 8 classes. Freeze the weights in the first 22 layers, so the weights won't be updated as that layer

contributes more to detecting general features pattern. Then the rest layers are set to be trainable, so the total number of parameters is 3,237,064 and 1,870,856 trainable parameters while 1,366,208 non-trainable parameters. Batch size 10, and 32, and the step per epoch is 132 and 42. learning rate 0.001.

#### 2.2.4.2 ResNet50 Experiments

As discussed, before we intend here to create a hybrid deep learning and machine learning model. The ResNet50 is used as a feature extractor then the extracted features will be fed to ML models. To do this we load the pre-trained Resnet50 model with ImageNet weights without including the top layers. We extracted the features that equal to 2048 features from the last convolution 5 block and Global Average Pooling layer. The extracted features are saved in a data frame. Figure 7 presents the portion of the first row of data frame.

feature4	feature5	feature6	...	feature2039	feature2040	feature2041	feature2042	feature2043	feature2044	feature2045	feature2046	feature2047	feature2048
0.029922	0.00199	0.345765	...	0.026568	0.0	1.986224	0.142801	0.009956	0.0	0.05571	0.384578	0.020117	0.0

Figure 7 Example of the extracted Features From ResNet50

As shown in Figure 7 there are some zero features, and 2048 features is a huge number of features to feed the ML model and probably it degrades performance and causes overfitting. To avoid such problems, we apply the principal component analysis PCA to make dimensionality reduction (Shlens, n.d.). We study the 2048 PCA components and we found 187 principal components explain 80% of the total variance. Thus 187 features are kept in a data frame as shown in Figure 8.

PCA n°6	PCA n°7	PCA n°8	PCA n°9	PCA n°10	...	PCA n°175	PCA n°180	PCA n°181	PCA n°182	PCA n°183	PCA n°184	PCA n°185	PCA n°187	Label	
1.002570	-1.820766	-4.868489	-4.207813	0.677869	...	0.192624	0.484366	0.010494	0.685720	-0.239070	-0.035710	-0.002076	-0.484373	-0.842516	Langra
3.776774	-4.477458	1.651155	1.501931	-3.044599	...	-0.347239	-0.742401	-1.114967	-1.095128	0.077896	1.893518	1.099296	-0.038439	0.536149	Langra
3.089784	3.665230	-2.504724	-9.822440	-13.583184	...	-0.081180	-0.493386	-3.806086	-3.011707	0.740941	-1.613160	-1.553538	0.007485	-0.119579	Sindhi
2.385554	-7.028305	6.273039	3.614757	-3.582744	...	0.845319	1.538902	-0.568837	-0.681806	-0.619819	0.676393	1.636233	-0.214293	-0.144751	Langra
2.848694	-5.576341	-0.560865	8.953789	-5.719344	...	3.181737	0.540028	0.997123	-0.026570	-2.069035	0.338076	0.021442	4.315318	0.303050	Dooshi

Figure 8 Features with PCA

These features fed to Naïve Bayes, logistic regression, and SVM with radial basis function, polynomial, linear kernel function. The models are examined with 10-fold cross-validation.

#### 2.2.4.2.1 Image preparation for ResNet50

This stage is very crucial to enhance the model's performance by further improving the data from which models will learn from.

##### A. Data Augmentation

To prepare images for the ResNet50 Model different image augmentation techniques were used. This step is extremely significant and has a strong impact on the DL models. Data Augmentation is a simple and effective way to add extra data to prevent over-fitting. However, for the proposed methodology horizontal flipping, rotating, and zooming techniques were used. Hence, we created new augmented data on the training database. For this purpose, 4000 random samples were generated for the ResNet50 model as we want to use it with ML models which need quite a large number of learning samples.

##### B. Images Enhancements

Images of mangoes in the dataset are very similar and the differences that can be seen with the naked eye are confusing. And

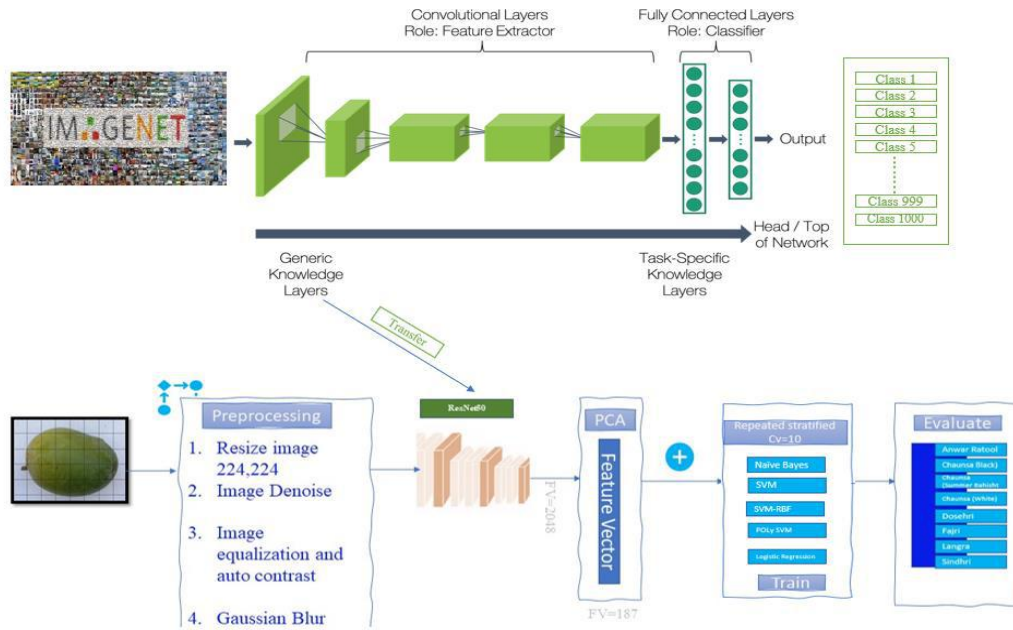


Figure 9 ResNet50 overall experiment

because we want to use these features in ML models, so we want to improve the images before feeding them into the ResNet50 model so that we improve the edges, colors, and clarity, and for this purpose, we have made the following enhancement:

**i. Resize**

Each image in each 8 types has a different sizes for example size of images in the type Chaunsa (White) folder has different values as  $798 \times 562$ ,  $741 \times$  image resolution with large model can give better performance according to a study done by Wu et al (Wu et al., 2015). For this, all the images were resized into  $224 \times 224 \times 3$ .

**ii. General preprocessing**

To make Images Denoising Equalization and Guessing Blur that remove the high frequency content. We use available functions with the mean of openCV library.

**iii. Using the ResNet50 preprocessing**

After converting the photos to BGR, each color channel is zero-centered with respect to the ImageNet dataset, with no scaling (TensorFlow, 2021).

Figure 10 shows all the image enhancements that were applied to all images in the dataset.

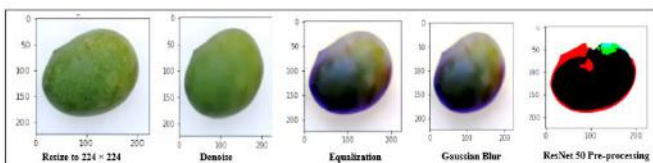


Figure 10 Images Enhancement process

The overall strategy that we follow for the ResNet50 Experiment is shown in Figure 9.

**2.3. Evaluation Matrices**

To evaluate the performance of each model under two main experiments, different performance evaluation matrices are used. The number of classifications a model successfully predicts divided by the total number of predictions is known as model accuracy. The accuracy of the training, validation, and testing data is measured which is defined as the number of classifications a model correctly predicts divided by the total number of predictions made. The precision is a fraction of relevant examples (true positives) among all the examples which were predicted to belong in a certain class. The recall defined as being a fraction of examples that were predicted to belong to a class with respect to all the examples that truly belong to that class. Then the precision, recall, and F1 are calculated for each class. Equations for accuracy, precision, recall, and F1 are given in equations 1,2,3,4 respectively. The confusion matrix for the testing data is plotted. The Confusion Matrix is a statistic for describing the machine learning model's prediction performance. It provides a comparison between the values and the classifier's estimated value. Understanding true positives, false positives, true negatives, and false negatives might aid in determining where the model went wrong. Rather of depending on the Accuracy, which is sometimes misinterpreted, this increases comprehension of the model's performance. To get a better insight of the model performance the run time of the model is measured, and the accuracy and loss plot is plotted with different numbers of epochs and batch size.

Actual Classes	Predicted Classes							
	Annona (Red) (Black)	Chaunsa (White) (Black)	Chaunsa (White) (Black)	Chaunsa (White) (Black)	Banana (Black)	Fajri (Black)	Iskander (Black)	Sisander (Black)
Chaunsa (White) (Black)	TP							
Chaunsa (White) (Black)		TP						
Chaunsa (White) (Black)			TP					
Chaunsa (White) (Black)				TP				
Banana (Black)					TP			
Fajri (Black)						TP		
Iskander (Black)							TP	
Sisander (Black)								TP

Figure 11 Confusion Matrix of Eight Classes Analogy

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{correct predictions}}{\text{all predictions}} \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{true positives}}{\text{true positives} + \text{false positives}} \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{True positives}}{\text{true positives} + \text{false positives}} \text{ (Eq. 2)}$$

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \text{ (Eq. 3)}$$

### 3. Results

Two leading experiments were applied to classify the mango varieties using advanced techniques. In all experiment the same software and hardware configurations were used as presented in Table 1. Two experiments heavily depend on MobileNet and ResNet50 models.

#### 3.1. MobileNet Experimental Result

In the first experiment, fine-tuning and transfer learning TL were studied on the MobileNet architecture with different batch sizes 32 and 10. The epochs examine with different values as well 5, 50, and 100. For all experiments with the MobileNet the dataset is split into 1320 training images, 240 samples for validation, and 40 images for testing. The experiments of the three different trails on MobileNet model without transfer learning, with transfer learning, and with fine-tune achieved different testing accuracy range from very low testing accuracy to full accuracy. We keep improving and tuning the hyperparameter of the models in every three trails to improve the testing accuracy. This is done to show how these different setting could affect the overall performance. The best testing accuracy achieved in every three trails on the MobileNet was 85%, 100% , and 100% testing accuracy respectively. The minimum run time required for good accuracy is 2:17 min. However, 17:20 min is time to train the model on more epochs and higher batch size, the model achieves 100% testing accuracy. Table 2 shows the complete results of each of the three trials of the first experiment.

Table 2 MobileNet Experimental results

A= Experiment on MobileNet	A (i)	10	5	132	64 %	13%	17%	0:06:38
		32	50	42	100%	85%	85%	1:03:20
		32	100	42	100%	72%	78%	2:53:54
	A (ii)	10	5	132	91%	95%	95%	0:02:14
		32	50	42	100%	99%	100%	0:19:13
		32	100	42	100%	99%	100%	0:34:09
	A (iii)	10	5	132	100%	100 %	93%	0:2:17
		32	50	42	100%	98%	100%	0:17:20
		32	100	42	100%	99.7 %	100%	0:34:49

i: MobileNet only as architecture, ii: MobileNet with transfer learning, iii: MobileNet with transfer learning and fine-tuning

The plot of every trial is shown in Figure 12.

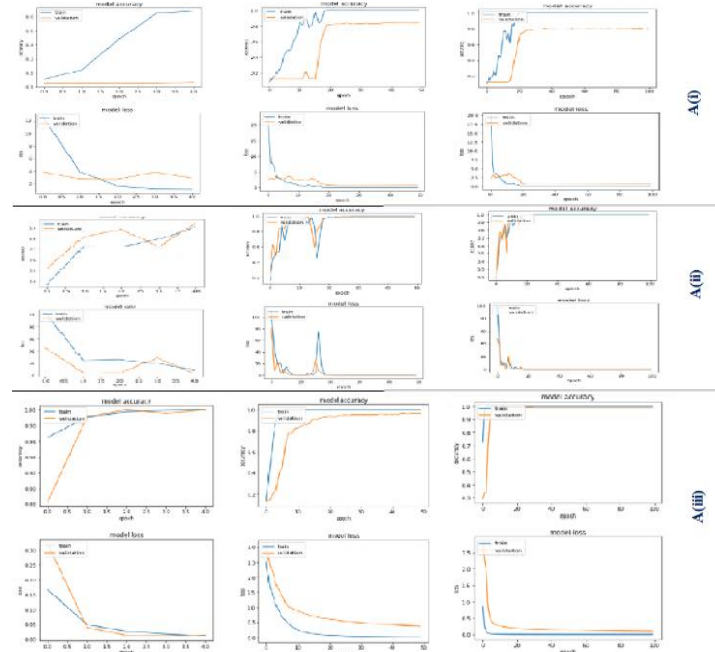


Figure 12 Accuracy and Loss Plot of MobileNet Model trails with 5, 50, and 100 epochs respectively

The confusion matrix for the testing images of this experiment on MobileNet is shown in Figure 13 .

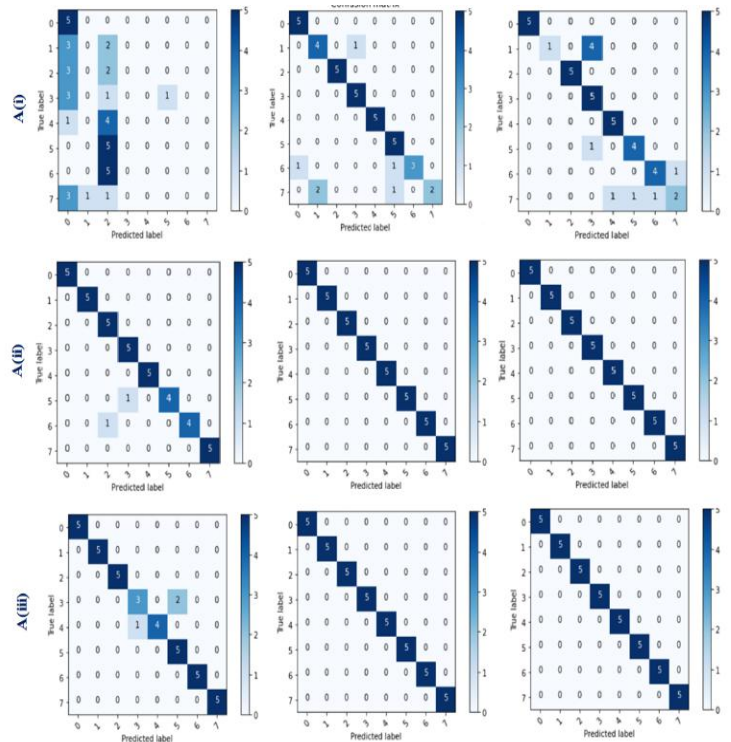


Figure 13 Confusion Matrix for MobileNet Experiments

Precision and recall and F1 for the testing samples are shown in Figure 14.



Table 3 ResNet50 Performance Results

MODEL	NO. SAMPLES	NO. CLASSES	IMAGES PREPROCESSING		TRAINABLE PARAMETER	EXTRACTED FEATURES		PCA	
			APPLIED	TIME		NO.	TIME	APPLIED	N-COMPONENTS
			Yes	20:44 m		2084	7:46	Yes	185
ReNet50	4000	8			23,534,592				

	precision	recall	f1-score	precision	recall	f1-score	precision	recall	f1-score
Anwar Ratool	0.28	1.00	0.43	0.83	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (Black)	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.73	1.00	0.20	0.33
Chaunsa (Summer/Bahisht)	0.10	0.40	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (White)	0.00	0.00	0.00	0.83	1.00	0.91	0.50	1.00	0.67
Dowahi	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.91
Fairi	0.00	0.00	0.00	0.71	1.00	0.82	0.80	0.80	0.80
Lengra	0.00	0.00	0.00	1.00	0.60	0.75	0.80	0.80	0.80
Sindhri	0.00	0.00	0.00	1.00	0.40	0.57	0.67	0.40	0.50

	precision	recall	f1-score	precision	recall	f1-score	precision	recall	f1-score
Anwar Ratool	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (Black)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (Summer/Bahisht)	0.81	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (White)	0.81	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dowahi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fairi	1.00	0.80	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lengra	1.00	0.80	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sindhri	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

	precision	recall	f1-score	precision	recall	f1-score	precision	recall	f1-score
Anwar Ratool	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (Black)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (Summer/Bahisht)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Chaunsa (White)	0.75	0.60	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dowahi	1.00	0.80	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fairi	0.71	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lengra	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sindhri	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Figure 14 The complete classification report

3.2. ResNet50 Experimental Results

Panda sample () is used to generate 4000 random samples to extract the features. All the images are resized and go under the proposed pre-processing discussed in the methodology section. The ResNet50 pre-trained model was loaded with ImageNet weights without including the top layer. All layers are set to be trainable, 23,534,592 is the total number of trainable parameters. The 2048 extracted features are reduced to 185 by applying PCA. The features are scaled using standard scalar then fed to ML classifiers and tested with 10 Repeated Stratified K-Fold. However, the total time to apply pre-processing with the OpenCV library is 20:44 minutes. The total execution time of the features extraction is 7:46 minutes. The total time required to train the 5 ML classifiers with 10 kfold RepeatedStratifiedKFold is 11 s. Table 3 Shows these performance results. The best-scored ML classifiers are logistic regression, linear, and RBF SVM. However, Naïve Bayes and polynomial SVM show slightly comparable performance with 10-Fold, Figure 15 shows the performance distribution of these models in the 10-fold.

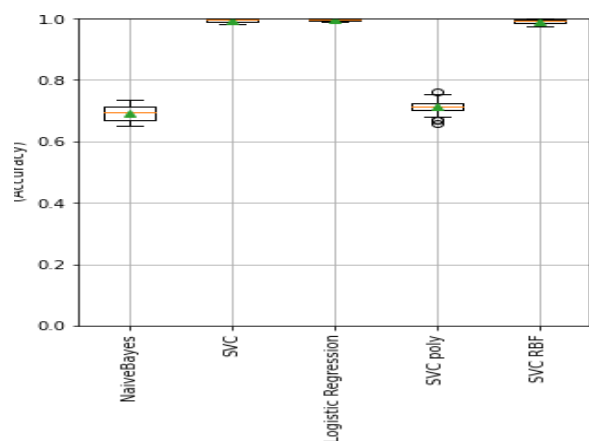


Figure 15 Models accuracy with 10-Fold

4. Discussion

Both Experiments that were conducted to classify 8 mango varieties gave good results. The result of the three trails on MobileNet led us even to improve the performance of the second experiment to build a hybrid ResNet50-ML classification framework. MobileNet, as discussed before, has elegant and lightweight architecture, however, using the model and initializing the weights randomly, without enhancing the transfer learning or fine-tuning techniques gave low performance compared to the same architecture with such consideration. Even the trial to improve the performance by tuning the hyperparameter doesn't contribute significant improvement. Without any doubt using a very small batch size 10 with a small number of epochs degrades the model performance. The accuracies were 64%, 13% and 17% for training, validation, and testing which reflects underfitting, as the model cannot capture the relation between input and output. The small batch size is noisy and led to generalization error due to the huge number of parameters and the with the given dataset. But as expected the running time for this model configuration is faster than other models that have different configurations, the model run time is about 6 minutes. Nevertheless, we know that the number of trainable parameters is 3,608,392 using the same configurations but with transfer learning decline run time to 2:14 m and with fine-tune to 2:17 however, the accuracy differs according to the used approach. The run time with fine-tuning is a little higher than TL and that is due to freezing and unfreezing some layers. Increasing the batch size to 32 which is pretty default in literature improves the performance with 50 epochs for the validation and testing accuracy improved from 13-17% to 85% which is quite good. However, the run time take 1:03:20 hour which is relatively costly compared to the same batch size and epochs configuration but with transfer learning and fine-tuning. With transfer learning, the testing accuracy is 100% with 19:13 m for execution time. While it takes 17:20 m with fine-tuning to score 100% accuracy. On the other hand, increasing the epochs to 100 affects the mobileNet stability when it is trained with random weights. The model is overfitted and fails to generalize to unseen data and it took about 3 h to train the model as seen in Figure 12 the gap between the accuracy and validation accuracy is high and the loss is increasing.

However, this does not appear as a problem while using transfer learning and fine-tune and the execution time is about 35 m. In most of the different experiments, the best-classified mango class is Anwar Ratool, and this was expected as it has very distinguishable features than other types.

**Table 4** Comparison Between our study and Previous Work, [1](Yossy et al., 2017),[2](Win & Misigo, 2019), [3](Naik & Shah, n.d.),[4](Pandey et al., 2021),[5](Abbas et al., 2018),[6](Behera et al., 2019), [7](Rizwan Iqbal & Hakim, 2022)

	Year	study	Mango Types	No. Training	No. validation	No. testing	Model	Testing accuracy	Time
<b>Referenced Study</b>	2017	[1]	4	52	-	-	ANN	94%	40 s
	2019	[2]	5	250	-	20	Naïve Bayes	94%	-
	2022	[3] With TL	10	600	-	70	Inception v3, Xception, DenseNet and MobileNet	90% 92.42% 91.42% 88.57 %	-
	2021	[4] With TL	15	100-200 for each class	-	-	AlexNet, GoogLeNet, ResNet50, VGG16	F1 Score were only measured	-
	2018	[5]	7	140 Features extracted after applying PCA			B11 program for process medical images	83%	-
	2019	[6]	10	13 Features from 30 images			SVM	90%	-
	2022	[7]	8	2040	-	240	Inceptionv3, ResNet15 and VGG16	Range from 96% to 99%	
<b>Our study</b>	2022	Mobile Net	8	1320	240	40	MobileNet Transfer learning	100%	19:13m
				1320	240	40	MobileNet Fine-Tune	100%	17:20
		Hybrid ResNet50		4000 sample, 185 extracted features with 10Fold validation			Resnt50-Naïve Bayes Resnet50-LinerSVM Resnt50PolySVM ResNet50LogisticRegression	Range from 70 -100 in 10-Fold	For all 11s

For the ResNet50 results, we can see how the application of transfer learning and fine-tuning improve the extracted features and lower the run time to 7:46 m which is quite good. The pre-processing step was cost in time but contribute to results improvements. The use of ResNet50 as a feature extractor is led to better performance with less effort and time compared to the traditional methods to extract the most significant features. This method is outperformed all the results of the traditional way that used to extract features manually to classify mango types in the literature comparing the test accuracy. Compared our results with (Win & Misigo, 2019), (Abbas et al., 2018), (Behera et al., 2019) in which preprocessing, segmentation, and feature extraction were performed in the traditional way to fed features to ML models; we can see that our hybrid ResNet50 with ML models give better performance with less required effort and steps. In addition, the use of transfer learning and fine-tune shows that this approach is more effective when it is used in the proper way. In (Naik & Shah, n.d.), using the MobileNet pre-trained model the accuracy was 88.47% compared to 100 testing accuracy in our transfer learning and fine-tuning proposed work. we have comparable results with (Rizwan Iqbal & Hakim, 2022); however, we use more lightweight architecture which is MobileNet also, they use transfer learning, and the best accuracy of 99.16% was achieved with 50 epochs with 32 batch sizes. However, in our study we have achieved 100% testing accuracy by using transfer learning with fine tuning with even 50 epochs and 32 batch sizes and the plot of our accuracy and model loss compared to their models shows that our model with the same parameter configuration is more satiable due to fine-tuning. As it is clear from Table 4 most of the previous work did not take into account the validation data samples. It is true that the validation data samples are considered optional for some, but it is very useful to tune the parameter and to avoid the overfitting of the model. As discussed before our dataset was split into training, validation, and testing. In addition, we provide a complete measurement of the required training time, hyperparameter configuration, and full evaluation of the models' performance.

## 5. Conclusion

The applications of artificial intelligence in various fields of life have moved the world to a stage that cannot be compared with the past. Thanks, for computer vision with deep learning techniques that made sorting, grading, and harvesting tasks for different fruits and crops easier than it was before. There are many studies in the field but very few on mango varieties classification. There are various reasons, and the lack of a suitable dataset may be one of the most prominent reasons. We have looked at all the previous studies that we were able to access related to the classification of different types of mangoes and found that most of them were not completed as required. As discussed earlier there is no sufficient information about the performance evaluation process. Most of the studies ignore the effect of the learning execution time on the performance. Also, the clearness of the split of a dataset for training, validation, and testing is confusing. As a result, we didn't come across a study that shows in deep the effect of tuning the models' parameters. Therefore, we conducted a study that shows the impact of using deep learning with the application of transfer learning and fine-tuning in the automatic classification of 8 mangoes varieties. We applied two experiments, the first on MobileNet with, and without transfer learning and fine-tuning. The second is done to build a hybrid ResNet50 with logistic regression, liner SVM, Poly SVM and Naïve bayes ML classifiers. For both experiments, we have shown successfully how transfer learning and fine-tuning improve the learning and generalization of the models with low learning time, small batch sizes, and epochs numbers. Compared to the use of MobileNet architecture without transfer learning or fine-tuning which makes the model overfit easily on the training data even with different hyperparameter tuning considerations. And trying to improve its performance made the learning time jump to 2 hours without a real improvement in the testing Accuracy. On the other hand, applying transfer learning by using the pre-trained weights with the same architecture improves the training and validation accuracy and gives 95% testing accuracy while minimizing the

learning time to 2:05m with only 5 epochs and 10 batch sizes. The best testing accuracy with transfer learning and fine-tuning is 100%. The fine-tuned MobileNet model is more stable and requires about 17m for the learning phase to score 100% testing accuracy. For the second experiment, the hybrid ResNet50 with ML classifiers gives very good results for all classifiers with 10 stratified repeated kfold. The execution time required to extract 2048 features with pre-trained ResNet50 from 4000 pre-processed and enhanced random samples of the 8 mango classes is 7:46m. Even though both experiments give good and comparable results. Therefore, the fine-tuned MobileNet and the hybrid ResNet50-ML can be deployed in the real-world application. However, the choice between the two models is a trade-off between the execution time and the required stages. While that fine-tuned MobileNet requires no significant preprocessing and post-processing techniques other than the resizing of the images, the pre-trained ResNet50 requires important preprocessing for image enhancement and post processing to apply PCA to reduce the dimensionality of the features. Fine-tuned MobileNet is faster and requires minor effort to acquire a 100% testing accuracy to classify the 8 mango varieties, compared the other models presented in this study. The study that we have presented in this paper can be used in the pre-sorting, grading, and classification processes, and can also be used for purely research purposes. We believe that we have been able to present a new and good study in the process of mangoes identification with the most advanced trend in deep learning techniques. Our proposed fine-tuned MobileNet is outperformed better than all the previous models in the literature in terms of testing accuracy and time.

## References

Abbas, Q., Iqbal, M., Niazi, S., Noureen, M., Muddasir Iqbal, M., Saeed Ahmad, M., & Nisa, M. (2018). Mango Classification Using Texture & Shape Features. In *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security* (Vol. 18, Issue 8). <http://www.eletel.p.lodz.pl/programy/mazda/index.php?action=mazda>

Behera, S. K., Sangita, S., Rath, A. K., & Sethy, P. K. (2019). Automatic Classification of Mango Using Statistical Feature and SVM. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 41, pp. 469–475). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3122-0\\_47](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3122-0_47)

Benjamin Planche, & Eliot Andres. (2019). *Hands-On Computer Vision with TensorFlow 2* (1 st). Packt Publishing.

Hakim, A. R. I. H. M. (2021, July 6). Mango Variety and Grading Dataset. <https://Data.Mendeley.Com/Datasets/5mc3s86982/1>.

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>

Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., & Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. <http://arxiv.org/abs/1704.04861>

Naik, S., & Shah, H. (n.d.). Classification of Mango (*Mangifera Indica* L.) fruit varieties using Convolutional Neural Network.

Pandey, C., Sethy, P. K., Behera, S. K., Rajpoot, S. C., Pandey, B., Biswas, P., & Panigrahi, M. (2021). Evaluation of Transfer Learning Model for Mango Recognition. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 213 SIST, 467–474. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-4443-3\\_45](https://doi.org/10.1007/978-981-33-4443-3_45)

Rizwan Iqbal, H. M., & Hakim, A. (2022). Classification and Grading of Harvested Mangoes Using Convolutional Neural Network. *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 95–109. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2023069>

Sharma, J., Granmo, O.-C., & Olsen, M. G. (2018). Deep CNN-ELM Hybrid Models for Fire Detection in Images. *ICANN*.

Shlens, J. (n.d.). A Tutorial on Principal Component Analysis.

Sik-Ho Tsang. (2018, September 15). Review: ResNet — Winner of ILSVRC 2015 (Image Classification, Localization, Detection). <https://Towardsdatascience.Com/Review-Resnet-Winner-of-Ilsvrc-2015-Image-Classification-Localization-Detection-E39402bfa5d8>.

TensorFlow. (2021). [tf.keras.applications.resnet50.preprocess\\_input](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/applications/resnet50/preprocess_input). [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf/keras/applications/resnet50/preprocess\\_input](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/applications/resnet50/preprocess_input)

Turgut, Z. (n.d.). A THEORETICAL COMPARISON OF RESNET AND DENSENET ARCHITECTURES ON THE SUBJECT OF SHORELINE EXTRACTION.

Win, O., & Misigo, R. (2019). Classification of Mango Fruit Varieties using Naive Bayes Algorithm. Published in *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (Ijtsrd)*, 5, 1475–1478. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd26677>

Wu, R., Yan, S., Shan, Y., Dang, Q., & Sun, G. (2015). Deep Image: Scaling up Image Recognition. <http://arxiv.org/abs/1501.02876>

Yossy, E. H., Pranata, J., Wijaya, T., Hermawan, H., & Budiharto, W. (2017). Mango Fruit Sortation System using Neural Network and Computer Vision. *Procedia Computer Science*, 116, 596–603. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.10.013>

You, Y., Zhang, Z., Hsieh, C.-J., Demmel, J., & Keutzer, K. (2017). ImageNet Training in Minutes. <http://arxiv.org/abs/1709.05011>

Zhuang, F., Qi, Z., Duan, K., Xi, D., Zhu, Y., Zhu, H., Xiong, H., & He, Q. (2019). A Comprehensive Survey on Transfer Learning. <http://arxiv.org/abs/1911.02685>



# Yakma Alın Kaynağıyla Birleştirilmiş S355JR Yapı Çeliklerinde ITAB'ın Karakterizasyonu

Gazi Emre Kocamanoğlu<sup>\*1</sup>, Uğur Arabacı<sup>2</sup> ve Uğur Özdemir<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7125-425X),  
[g.kocamanoglu@hotmail.com](mailto:g.kocamanoglu@hotmail.com)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4850-3275), [uarabaci@gazi.edu.tr](mailto:uarabaci@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0521-4617), [uozdemir@gazi.edu.tr](mailto:uozdemir@gazi.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082837)

**ATIF/REFERENCE:** Kocamanoğlu, G. E., Arabacı, U., Özdemir, U. (2022). Yakma Alın Kaynağıyla Birleştirilmiş S355JR Yapı Çeliklerinde ITAB'ın Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 354-359.

## Öz

Kaynak, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden biridir. Bu nedenle kaynak yapılacak parçaların güvenliği, kaynaklı birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapının güvenilirliği için büyük önem taşımaktadır. Termal dönüşümler ITAB'ın geometrisi ve kaynak nüfuziyetindeki bilgileri sağlar. Bununla birlikte termal dönüşümlerin kontrolü kaliteli bir kaynağın kritiğidir. Bu çalışmada kaynak işlemi için kaynak yöntemi olarak yakma alın kaynağı seçilmiştir. Kaynak işlemi için uygun boyutlara getirilen numunelere belirli aralıklarla delikler açılarak kaynak işlemi esnasında termokupl ve datalogger yardımıyla kaynak işlemi boyunca sıcaklık değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda kaynak esnasında termal kamera kullanılarak kaynak bölgesinin ulaşabildiği maksimum sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kaynaklı birleştirilen deney parçalarının birleştirme bölgelerinde meydana gelen mikroyapısal değişiklikler, ışık mikroskopunda ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi adına mikro sertlik ölçümleri alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yakma alın kaynağı, Kaynaklanabilirlik, Termal analiz, Kaynak metalurjisi, Yapı çelikleri.

## HAZ Characterization of S355JR Structural Steels Joined by Flush-Butt Welding

### Abstract

Welding is one of the most widely used joining methods today. Therefore, the safety of the welded parts is of great importance for the reliability of the entire structure in which welded joints are used. Thermal conversions provide information on the geometry and weld penetration of the ITAB. However, control of thermal conversions is critical for the weld quality. In this study, flash butt welding was chosen as the welding method for the process. Holes were drilled at regular intervals in the samples to place thermocouples, which were brought to the appropriate dimensions for the welding process. During the welding process, the changing temperature values during the welding process were measured and recorded with the help of thermocouples and a datalogger. At the same time, the maximum temperature reached by the welding and HAZ region was measured by using a thermal camera during welding. The microstructural changes in the joining regions of the welded test pieces were examined under light microscope and scanning electron microscope (SEM). Microhardness measurements were taken to determine the mechanical properties.

**Keywords:** Flash-butt welding, Weldability, Thermal analysis, Welding metallurgy, Structural steels.

\* Sorumlu Yazar: [g.kocamanoglu@hotmail.com](mailto:g.kocamanoglu@hotmail.com)

## 1. Giriş

Kaynak, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden biridir. Bu nedenle kaynak yapılacak parçaların güvenliği, kaynaklı birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapı güvenirliliği için büyük önem taşımaktadır [1].

Yakma alın kaynağı günümüzde sık kullanılan bir kaynaklı birleştirme yöntemidir. Yakma alın kaynağında aynı kesit ölçülerine sahip olan birleştirilecek parçalar öncelikle hareketli çenelere sıkıştırılır. Kaynak akımı hareketli çeneler üzerinden malzemeye iletilir. Malzemeler birbirine temas ettirilerek, yüksek yoğunluktaki akımın geçişi sağlanır. Parçalar birbirlerine alın alına birleştirilir. Alın bölgesi denilen kısmın yakın çevresinde kaynak işlemi esnasında ortaya çıkan yüksek ısıdan etkilenerek belli başlı değişimlere uğrayan bir bölge meydana gelir. Bu bölge ısının tesiri altında kalan, ana malzemeden daha farklı özelliklere sahip olabilen ITAB bölgesidir [2,3].

Genellikle kaynaklı yapıda ITAB bölgesinin mekanik özellikleri çok etkilememesi adına dar olması istenir. Kaynak bölgesinin özellikle de kaynaklı yapının güvenliği için çok önemli olan ITAB'ın mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için kaynak yöntemi olarak yakma alın kaynağı seçilmiştir.

Yapı çelikleri bulunabilirliği ve kaynak kabiliyeti açısından önemlidir. Yapı çeliklerinin kaynak kabiliyeti oldukça iyidir. Bu amaçla kaynak işlemi numune olarak S355JR yapı çeliği seçilmiştir.

Günümüzde birçok kaynak uygulamasında ısının tesiri altındaki bölgenin ve kaynak edilen malzemede ısı enerjisi girdisinin kaynak kalitesine etkileri söz konusu olmaktadır. Kaynak esnasında kaynak bölgesi üzerindeki sıcaklık dağılımları kaynağın yapılmasına bağlı olarak ihtiyaçlar doğrultusunda önceden belirlenmesi gerekebilmektedir. Kaynaklı birleştirmelerdeki sıcaklık değişimine bağlı olarak oluşabilecek sorunlardan imalat aşamasına geçmeden önce haberdar olmak hem zaman hem maliyet hem de yapılan işin kalitesi yönünden oldukça önemlidir [4,5].

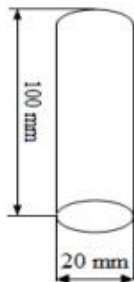
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

DeneySEL çalışmalar için Ø20x100 mm boyutlarında S355JR yapı çeliği malzemesi kullanılmıştır.

Tablo 1. S355JR malzemesine ait kimyasal bileşim

Malzeme	(%) Kimyasal Bileşim					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355JR	0,24	0,16	1,30	0,045	0,0020	0,004

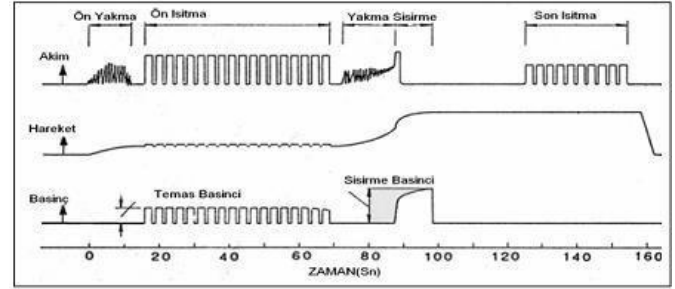


Şekil 1. Kaynak numunesinin ölçüleri

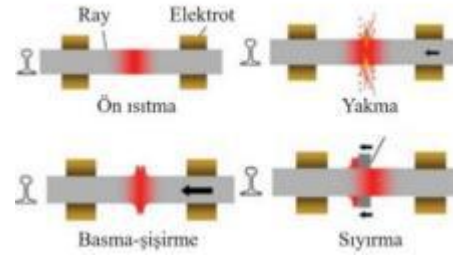
### 2.2. Metot

Numuneleri birleştirmek için yöntem olarak yakma alın kaynağı kullanılmıştır.

Yakma alın ray kaynağı yöntemi, kaynaklanacak ray uçlarının elektrik yardımıyla ısıtılıp ergitilerek birleştirilmesine dayanır. Ergiyene kadar ısıtılan ray uçları daha sonra birbirine doğru basınç yardımıyla birleştirilir. Bu yöntem hizalama, ilk yanma, ön ısıtma, yakma, basma-şişirme ve sıyırma işlemlerinden oluşur. Bu kaynak yönteminde kullanılan ekipmanlar ise transformatör, elektrotlar, basma ve hidrolik düzeltme aparatlarıdır [6].



Şekil 2. Yakma alın kaynağı prensibi [7].

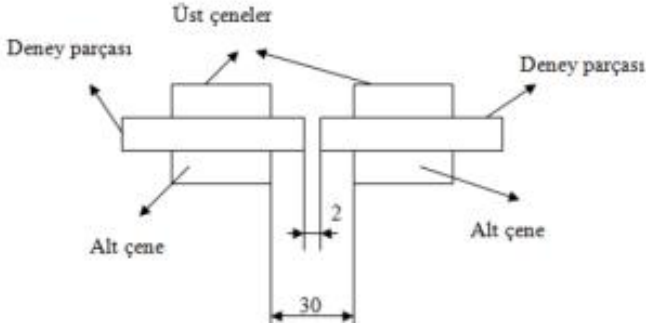


Şekil 3. Yakma alın kaynağı işlem basamakları [8].



Şekil 4. Yakma alın kaynağında örnek yanma işlemi [9].

Numuneler Şekil 1'de gösterildiği ölçülerde hazırlanarak, kaynak makinesine Şekil 5'de gösterildiği şekilde bağlanarak, Tablo 2'de verilen parametreler altında birleştirme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5. Numunelerin çeneye bağlanması

Tablo 2. Kaynak işlemi için kullanılan parametreler

Ön ısıtma zamanı (sn)	3
Voltaj (V)	3
Ampermetre (A)	30
Vuruş Basıncı (Bar)	2
Yığıma Basıncı (Bar)	3
Çene Sıkma Basıncı (Bar)	3
Yığıma Akın Zamanı (sn)	2

### 3. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar

#### 3.1. Sıcaklık Ölçümü

Kaynak işlemine başlamadan önce malzeme makine haznesine uygun şekilde yerleştirildikten sonra önceden açılmış olan deliklere termokupl uçları yerleştirilmiştir. Kaynak esnasında ve kaynak gerçekleştikten sonra yani soğuma esnasında uygun datalogger ile sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir.

Kaynak işlemi esnasında termokupllar ve datalogger ile sıcaklık ölçümü yapılırken eş zamanlı olarak termal kamera yardımıyla kaynak bölgesinin ulaştığı maksimum sıcaklığın tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Kullanılan termal kamera ile kaynak işlemi boyunca video çekimi yapılmıştır.

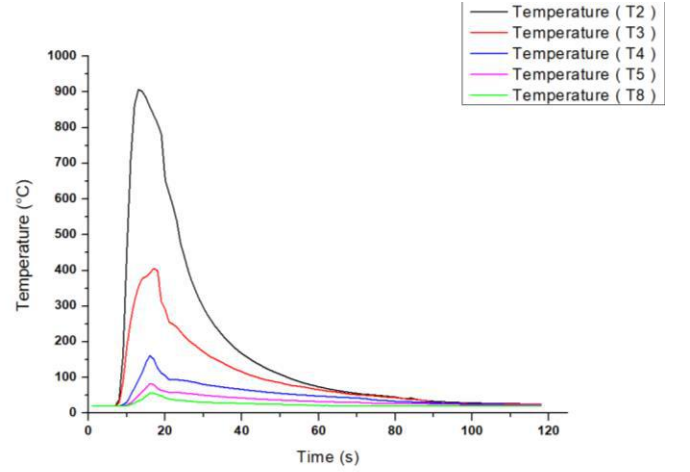


Şekil 6. Termokuplların numune üzerindeki dizimliliği

Şekil 6'da görüldüğü üzere kaynak yapılacak olan bölgeye yani alın bölgesine en yakın termokupl T2 ve en uzak olan termokupl T8 termokuplıdır. Grafiklerde bunlar göz önünde bulundurulurken inceleme yapılmalıdır.

Kaynak bölgesine en yakın termokuplın ölçebileceği maksimum sıcaklığın daha yüksek olması beklenmektedir.

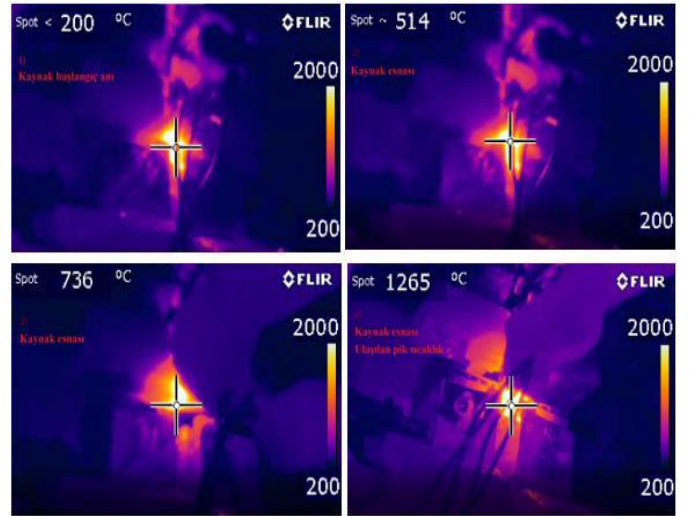
Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ölçülen maksimum sıcaklık değerleri doğal olarak daha azdır.



Şekil 7. Termokupllar ile ölçülen sıcaklık grafikleri

Şekil 7' de görüldüğü üzere kaynak bölgesine en yakın olan T2 termokuplu en yüksek sıcaklık değerlerini ölçmüştür ve soğuması daha fazla zaman almıştır.

Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ulaşılan pik sıcaklık değeri düşmüştür ve soğuma süresi kısalmıştır. Kaynak bölgesinden en uzak olan T8 Termokuplunda ise sıcaklık değişimi çok az olmuştur. O bölgede herhangi bir dönüşüm olup olmadığının yorumlanması ise mikroyapı incelemeleri esnasında tespit edilecektir.



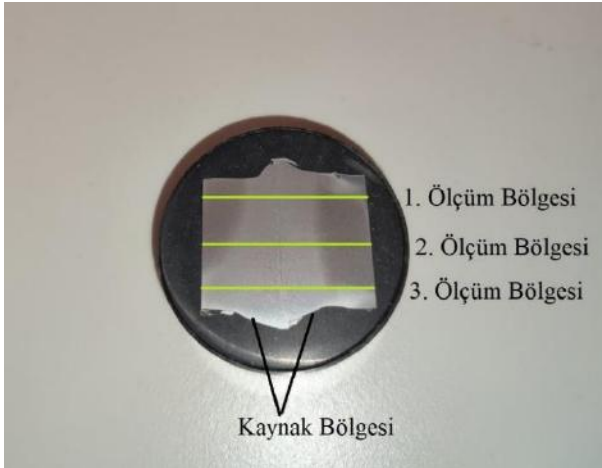
Şekil 8. Termal kamera görüntüleri

Termal kamera ile çekilen ekran görüntülerinden 4 adet görüntü Şekil 8'de gösterilmiştir. Alınan ekran görüntüleri kaynak esnasında çekilen videodan sırası ile alınmıştır. 4. Ekran görüntüsünden anlaşıldığı üzere kaynak bölgesi maksimum sıcaklığının 1265 °C olduğu tespit edilmiştir. Ulaşılan bu pik sıcaklıktan sonra kaynak işlemi tamamlanarak soğuma süreci başlamıştır.

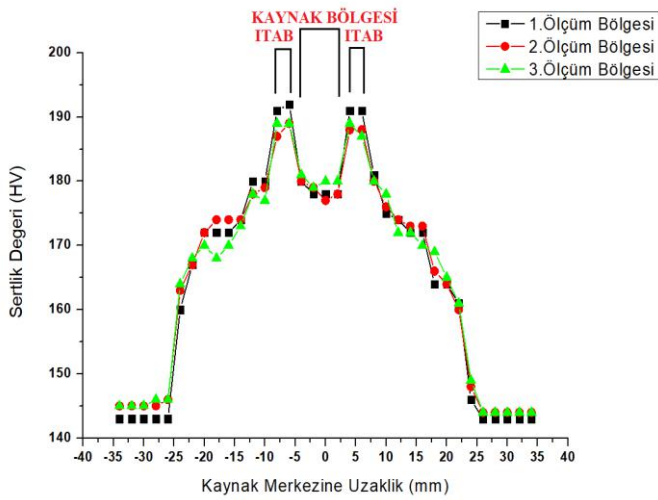
#### 3.2. Sertlik Ölçümü

Bu çalışmada sertlik ölçümleri için hazırlanan test numuneleri, mikro sertlik ölçüm cihazında 5 kgf yük altında 3 farklı bölgeden olmak üzere kaynak bölgesi "0" (referans) kabul edilerek her iki taraftan ITAB ve ana malzemeye ilerleyecek

şekilde 2 mm aralıklarla ölçümler yapılarak HV cinsinden sertlik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 9. Sertlik testinin yapıldığı bölgeler



Şekil 10. Sertlik testi sonuçlarının grafiği

Şekil 10'da görüldüğü üzere sıcaklık etkisinden en az etkilenen bölge de yani numunenin en uç bölgelerinde sertlik değerleri düşük çıkmıştır. Bu bölgeler dönüşüme uğramamıştır yani malzemenin kendi sertlik değerleridir. Kaynak bölgesine yaklaştıkça hızlı ısınma ve soğumanın etkisiyle malzeme yapısı değişerek sertleşme durumu meydana gelmiştir. Kaynak bölgesinde meydana gelen ısı türbülansı ve tane irileşmesinden dolayı sertlik değeri ITAB bölgesine göre daha düşük fakat ana metale göre daha yüksek çıkmıştır. Kaynak bölgesine yakın olan kısımda yani ısı etkisi altında kalan bölgede (ITAB) sertlik değeri kaynak bölgesine ve kaynak metaline göre daha yüksek çıkmıştır.

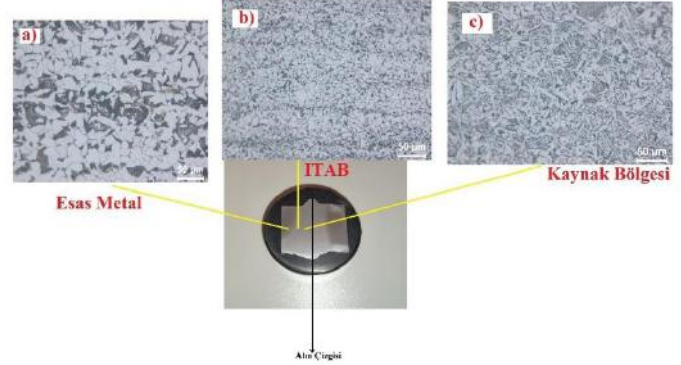
### 3.3. Mikroyapı Sonuçları

Malzemelerin iç yapılarının incelenmesini konu alan bilim dalına metalografi denir. Kalite kontrol, hasar tespiti gibi işlemler için malzemenin iç yapılarını incelemek gerekir. Metalografik muayene ile malzemenin üretim yöntemini, ısıl işlem görüp görmediğini, mikro yapısını, mikro yapı kusurları incelenebilir. Metalografi deneylerinde malzemelerin mikro yapılarına 4 aşamada ulaşılır;

- Numune alma
- Zımparalama

- Parlatma
- Dağlama

Yapılan metalografi işlemlerinin sonucunda optik mikroskop altında numunelerden elde edilen mikro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir. Mikroyapı görüntülerinin alındığı bölgeler ayrıca Şekil 11'de numune üzerinden gösterilmiştir.

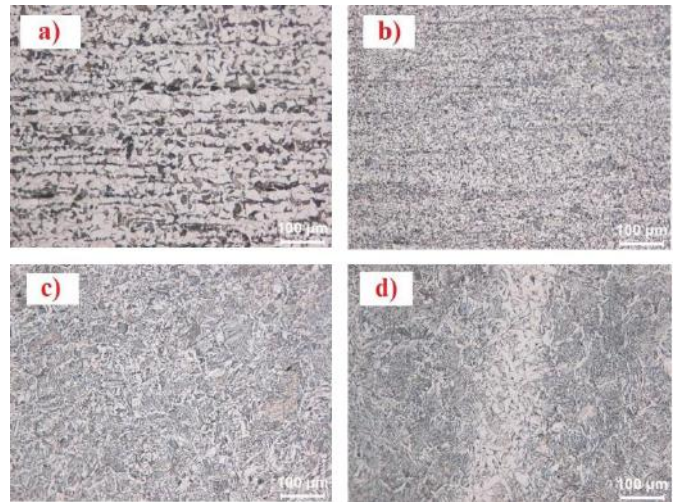


Şekil 11. Mikroyapıların alındığı bölgelerin numune üzerinden gösterimi (20x büyütme) a) Esas metal b) ITAB c) Kaynak bölgesi

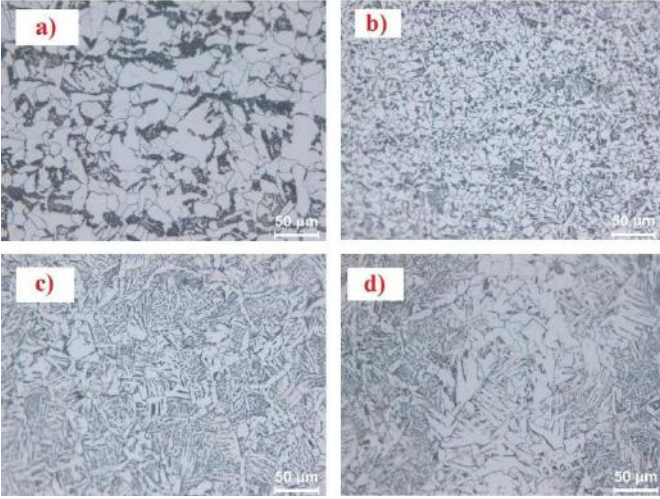
Şekil 11'de görüldüğü üzere a bölgesinde sıcaklık değişimi olmadığı için mikroyapı değişikliği olmamıştır. Yani herhangi bir dönüşüm meydana gelmemiştir.

B bölgesinde kaynak bölgesine yakın ısıdan etkilenen bölge olan ITAB bölgesidir. Ana malzemeye göre perlit kolonilerinin küçüldüğü ve ferrit fazları arasında biraz daha homojen dağıldığı görülmektedir.

C bölgesi kaynak bölgesidir. Bu bölge incelendiğinde de tane yapısının ince ve uzun şekilli dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli taneler iğnemişi bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak değerlendirilebilir.

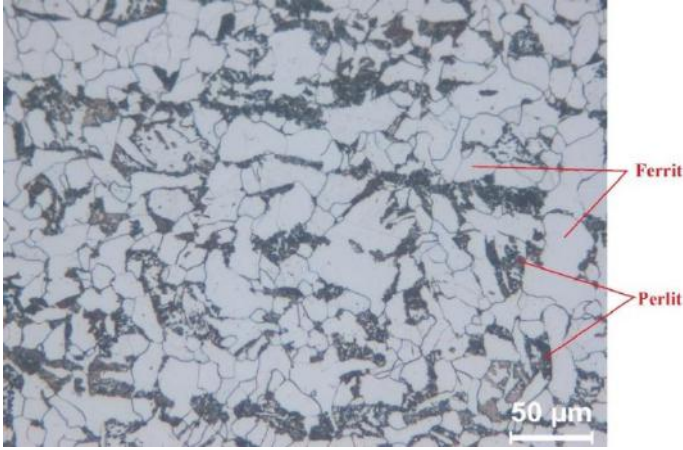


Şekil 12. Numune üzerinden alınan 10x büyütme görüntüleri a) Esas metal b) İnce taneli bölge c) İri taneli bölge d) Kaynak bölgesi



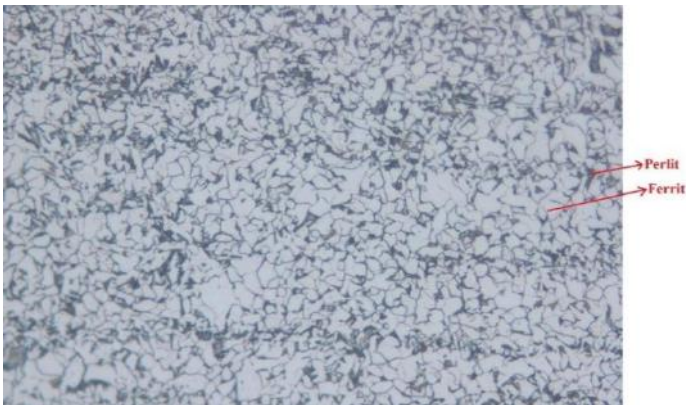
Şekil 13. Numune üzerinden alınan 20x büyütme görüntüleri a) Esas metal b) ITAB c) Kaynak bölgesi d) Kaynak bölgesi

Elde edilen mikroyapı analizlerinde oluşan yapıların daha detaylı görülebilmesi adına 20x büyütmede incelenerek, oluşan yapılar aşağıda gösterilmiştir.



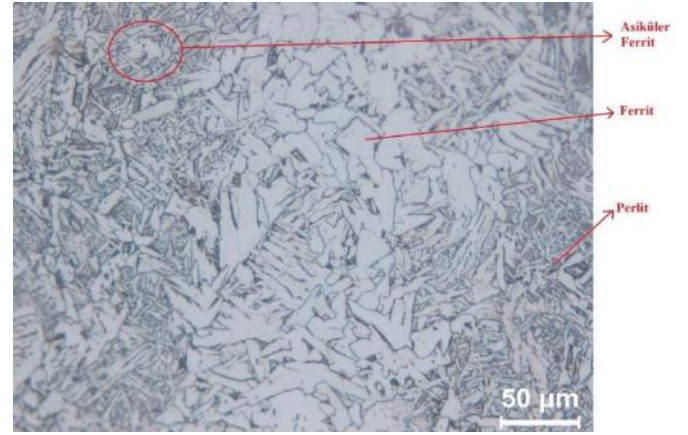
Şekil 14. Isı değişimine uğramamış bölgenin (esas metal) 20x büyütmedeki görüntüsü

Şekil 14'de görüldüğü üzere kaynak bölgesinden en uzakta olan bölgede herhangi bir mikroyapı değişimi olmamıştır. Malzeme ana metalin mikroyapısı olan Ferrit ve Perlitik yapı karışımından oluşmaktadır.



Şekil 15. Isının tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) 20x büyütmedeki görüntüsü

Şekil 15'de görüldüğü üzere kaynak bölgesinde oluşan yoğun ısıdan ve hızlı soğumadan dolayı iç yapı değişikliğine uğrayan bir bölge meydana gelmektedir. Bu bölgede ana malzemeye göre perlit kolonilerinin daha küçüldüğü ve ferrit fazları arasında ana metale göre biraz daha fazla homojen dağıldığı görülmektedir.

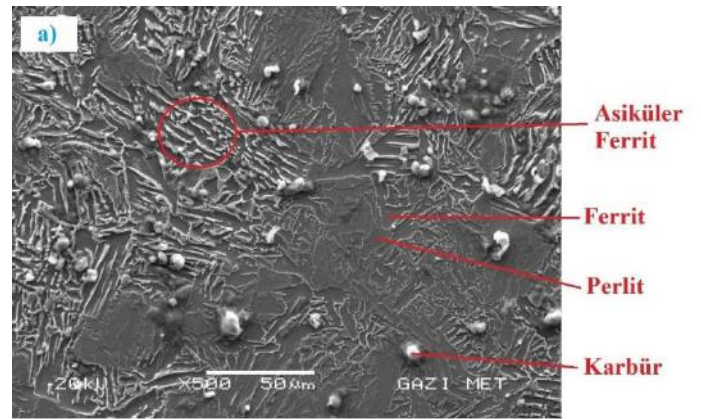


Şekil 16. Kaynak bölgesinin 20x büyütmedeki görüntüsü

Şekil 16'da görülen kaynak bölgesinin mikroyapısı incelendiğinde birleşme yüzeylerinde, yoğun ferritik yapı bulunurken, birleşme çizgisinin hemen yanında yer yer asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşan iri taneli bir yapı mevcuttur. Tane yapısının bu bölgelerde ince ve uzun şekilli dendritik tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu ince ve uzun şekilli taneler iğnemsî bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak da değerlendirilebilir.

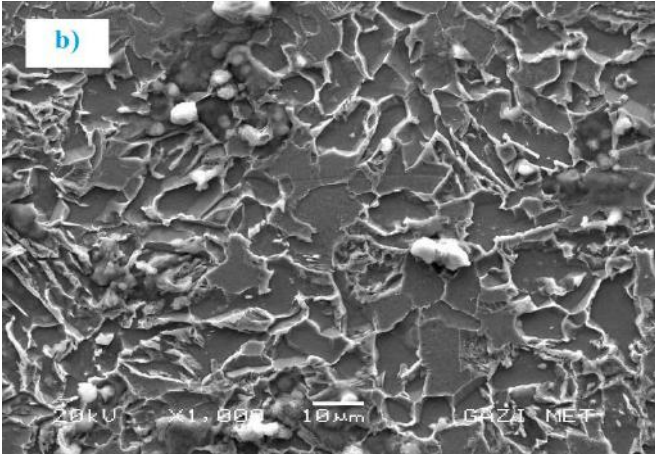
### 3.4. Sem Görüntüleri

Deneyisel çalışmalarda yakma alın kaynağı yöntemiyle birleştirilen parçalardan standartlara uygun olarak tüm kaynak bölgesini ve ana metali temsil edebilecek şekilde olan numunelerden, mikroyapı değişikliklerini incelemek amacıyla farklı büyütmelerde görüntü alabilen Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) (Scanning Electron Microscope) kullanılmıştır.



Şekil 17. Kaynak bölgesinin 500x büyütmedeki görüntüsü





Şekil 18. Kaynak bölgesinin 100x büyütmedeki görüntüsü

Bölüm 3.3’ de incelenen mikroyapı görüntülerinin daha net görünüşleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilmiştir. Kaynak bölgesindeki dendritik yapı bu görüntülerde net olarak görülmektedir.

## 4. Genel Sonuçlar ve Tartışma

### 4.1. Genel Sonuçlar

ITAB bölgesinde oluşan taneler ısı akış yönünün tersine olacak şekilde kaynak metali merkezine doğru yönelmektedir.

Kaynak metalinde oluşan taneler farklı bir birleşim materyali kullanılmadığı için ana malzeme tanelerinin bir devamı şeklinde oluşmaktadır ve kaynak metali çok fazla gözenek, oksit vb. gibi olumsuzluk içermemektedir.

Malzemede meydana gelebilecek olan gözeneklilik gibi süreksizlerin yığılma bölgelerine doğru ilerlediği ve işlem sonucunda uygun temizleme işlemlerinin yapılması halinde giderilebilecek şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynak bölgesine etki eden basınç, direnç ve soğuma şartlarına bağlı olarak oluşan etkiler sebebiyle herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamaktadır.

Kaynak merkezine ait bölge incelendiğinde birleşme yüzeyinde yoğun ferritik yapı bulunurken, birleşme çizgisinin hemen yanında asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşan iri taneli yapı mevcuttur. Geçiş bölgesinde yine bu yapılar varlığını korurken, daha homojen bir görünüme sahip olduğu görülmektedir.

### 4.2. Öneriler ve Tartışma

Deneysel çalışma kısmında kaynak parametrelerini sabit tutarak kaynak sırasının planı değiştirilmeden deney tamamlanmıştır. Bu çalışma farklı kaynak parametreleri kullanılarak karşılaştırma şeklinde bir çalışma yapılabilir.

Bu çalışmada numuneler herhangi bir açı olmadan direkt olarak birleştirme yapılmıştır. Farklı açılarda birleştirme yapılarak inceleme sağlanabilir.

Farklı malzemeler (paslanmaz çelik, yüksek karbonlu çelik, alaşımli çelikler, vb.) kullanarak benzer çalışmalar yapılabilir.

Makine tasarımlarında sıkça karşılaşılan; farklı malzemelerin ve farklı geometrilerin kaynak edilme durumu göz önüne alınarak tasarım değiştirilebilir.

Malzemelerin kalınlıkları ile orantılı ısı girdisi ve değişen kaynak parametreleri baz alınarak deney tekrarlanabilir.

Kaynaklı birleştirmelerin eğme, kırma gibi mekanik testleri için modeller oluşturulup analizi yapılabilir.

## 5. Teşekkür

Yapılan bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: FGA-2021-7011) teşekkür ederim.

## Kaynakça

- [1] Kökçe, Y. (2002). *Demiryolu taşıt ve raylarının üretim ve tamir-bakımında uygulanan kaynak yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [2] Onay, M. (2011). *Demiryollarında Alüminotermit Kaynak ile Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*, (yüksek lisans tezi), Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [3] Fischer, S., Eller, B., Kada, Z. and Nemeth, A. (2015). *“Railway construction”*, ISBN: 978- 615-5298-69-1.
- [4] Kудay, N. ve Ertürk, İ. (1997). *Raylarda Yakma Alın Kaynağı*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi 1. Ulusal Kongresi, 13-15 Kasım 1997, Ankara, Türkiye.
- [5] Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*, MRT Productions, Hollanda.
- [6] M. Fujii, H. Nakanowatari and K. Nariai, *“Rail flash butt welding technology,”* JFE Technical Report, no. 20, pp. 159-163, 2015.
- [7] E. Turan, M. Dursunlar and H. Çuğ, *“Investigation of welding residual stress in flash-butt joint of R260 grade rail,”* Fourth International Railway Systems Symposium (ISERSE’18), Karabük, Türkiye, 2018, pp. 735-733.
- [8] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [9] M.E. Turan, *“R260 kalite tren raylarında kalıntı gerilmenin belirlenmesi ve bunun mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi,”* M.Sc. dissertation, Dept. Metallurgy and Materials Eng., Karabük Univ., 2015.



# Covid-19 Geçici Aşılama Kliniklerinin Atanmasına Sezgisel Bir Yaklaşım

Esra Çakır<sup>1</sup>, Mehmet Ali Taş<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Galatasaray University, Faculty of Engineering and Technology, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4134-7679), [ecakir@gsu.edu.tr](mailto:ecakir@gsu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3333-7972), [mehmetali.tas@tau.edu.tr](mailto:mehmetali.tas@tau.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082773)

**ATIF/REFERENCE:** Çakır, E., & Taş, M. A. (2022). COVID-19 Geçici Aşılama Kliniklerinin Atanmasına Sezgisel Bir Yaklaşım. *European Journal of Science and Technology*, (34), 360-366.

## Öz

Covid-19 virüsü nedeniyle Dünya Sağlık Örgütü tarafından 2020 yılında pandemi ilan edildi. Çeşitli ülkelerde, Covid-19 virüsüne karşı insan vücuduna bağışıklık kazandıran çok sayıda aşının üretimi çalışmaları halen devam etmektedir. Bu virüsle baş etmek için toplu aşılama çalışmaları yapılmaktadır. Toplu aşılama, aşıları ulaştırma ve süreç yönetimi açısından çok zor ve karmaşık bir iştir. Tüm hastaneler ve diğer sağlık merkezleri insanları aşılamak için kullanılsa da, sağlık merkezlerindeki Covid-19 hastalarını diğer hastalardan ayırmak ve aşıya daha hızlı erişim sağlanması için geçici aşı klinikleri de düşünülebilir. Bu çalışmada, İstanbul/ Türkiye'de yer alan bir ilçenin altı bölgesine hizmet verecek geçici aşı kliniklerinin aday yerlere atamaları incelenmiştir. Problemin doğrusal formülasyonu verilerek, Covid-19 aşılması için çoklu tesis yerleşim problemi, revize edilmiş sezgisel tasarruf algoritması ile araştırılmıştır. Buna ek olarak, daha uygun maliyetli atama sonuçları incelenmiştir. Bölgenin tüm taleplerinin karşılanmak zorunda olunmadığı durumda toplam maliyeti gözlemlemek için Lagrange gevşetmesi kullanılmış ve ana modelle karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar gelecekteki geçici merkezleri atama çalışmalarına rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19, Sezgisel Tasarruf Algoritması, Lagrange Gevşetmesi, Çoklu Tesis Yerleşim Problemi, Geçici Aşılama Kliniği.

## A Heuristic Approach for Assignments of Covid-19 Temporary Vaccination Clinics

### Abstract

Due to the Covid-19 virus, a pandemic is declared by World Health Organization in 2020. In various countries, studies on the production of many vaccines that give immunity to the human body against the Covid-19 virus still continue. Mass vaccination has been carried out to deal with this virus. This process is a very difficult and complex task in terms of fast transportation and process management. Although all hospitals and other health centers are used to vaccinate people, temporary vaccination clinics can also be considered to separate Covid-19 patients in health centers from other patients and provide faster access to the vaccine. In this study, the location assignments of temporary vaccination clinics that will serve six regions of a district in İstanbul/Turkey are examined. The linear formulation of the problem is given, and the multi-facility location problem for Covid-19 vaccination is investigated with the revised saving heuristic algorithm. In addition, more cost-effective assignment results more examined and compared with the main model using Lagrange relaxation to observe the total cost of not assigning all demands of regions. The results are intended to guide future temporary center assignment studies.

**Keywords:** Covid 19, Saving Heuristic Algorithm, Lagrange Relaxation, Multi-Facility Location Problem, Temporary Vaccination Clinic.

\* Sorumlu Yazar: [mehmetali.tas@tau.edu.tr](mailto:mehmetali.tas@tau.edu.tr)

## 1. Giriş

Aşılar, yaklaşık üç yüzyıldan daha fazla zamandır çeşitli hastalıkların önlenmesinde ve kontrolünde kritik rol oynamıştır (Plotkin, 2014). Aşılama için genellikle hastaneler ve doktor muayenahaneleri gibi geleneksel sağlık merkezleri tercih edilse de, bu merkezlere ek olarak bir epidemi ya da pandemi sırasında eczaneler gibi alternatif yerler de aynı amaç için kullanılabilir (Bartsch vd., 2018). Söz konusu yerler çoğunlukla kolayca erişilebilir noktalarda yer aldıklarından geleneksel sağlık merkezlerine girmesi tehlikeli olan kişileri de aşılama imkanı sunar (Kim & Mountain, 2017; Leibowitz vd., 2021).

Covid-19 virüsü nedeniyle milyonlarca insan hayatını kaybetti ve çok daha fazlası hastanelerde tedavi altına alındı (WHO, 2022). Salgının başlangıcının ardından tüm dünyada aşılama faaliyetlerine başlandı. 2021 yılının sonunda yaklaşık 4,5 milyar kişi en az bir doz aşı olmuştur (NY Times, 2022). Aşılama için alt yaş gruplarının da uygun görülmesi ve birden fazla doz gerekliliği nedeniyle aşılama faaliyetlerinin sürekli olarak devam etmesi gerekir (Ackerson vd., 2021). Ortaya çıkan bir salgınla toplu aşılama çalışmaları ile başa çıkmak mümkündür (Heymann & Aylward, 2006). Bu kadar çok insanın aşılama için sabit lokasyonlara ek olarak farklı aşı lokasyon alternatifleri düşünülebilir. Aşıların tüm insanlara uygun koşullarda uygulanabilmesi için aşı merkezine ihtiyaç olabilir (Gianfredi vd., 2021). Hastane ve eczane gibi geleneksel ve geleneksel olmayan yerlerde aşılama yapılabilir de, bu yerleşik merkezler tüm insanları aşılama için yeterli görülmemektedir.

Aşılama faaliyetlerini artırmak ve kolaylaştırmak için kullanılan alternatiflerden biri de geçici aşılama klinikleridir. Geçici aşı klinikleri, kısa veya uzun süreler için herhangi bir yere kurulabilir. Bu alternatifin geçmişte çeşitli durumlar için kullanıldığı görülmüştür. Giles vd. (2018), geçici aşılama kliniklerinde yardıma muhtaç ve risk grubundaki kişiler için influenza aşısı uygulamasının sonuçlarını gözden geçirmiştir. Hannings vd. (2019), 27 geçici noktada kurulan ve eczane öğrencilerinin işlettiği influenza geçici aşılama kliniğinde aşılama hastalardaki algıları incelemiştir. Chen vd. (2020), Amerika Birleşik Devletleri Houston'daki çocuklar için aşı sağlayan bir geçici klinik programını takip etmiştir. Böylece, geçici aşı kliniklerinin, Covid-19 aşılama da kullanılabileceği düşünülmektedir. Pandemi, geçici aşı kliniklerinin belirli bir bölgede nereye yerleştirileceği konusunu hızlı bir şekilde belirlemek gerekir. Uygun bir atama programı ile insanlara daha az maliyetle ve daha etkin bir şekilde ulaşılabilir. Böylece kamu kaynakları daha doğru yönetilebilir. Bu atama problemi, çoklu tesis yerleşim problemi olarak kategorize edilebilir (Çakır vd., 2021; Çakır vd., 2022).

Atama problemleri, ulaştırma problemlerinin özel bir durumu olarak gösterilebilir. Literatürde, acil sağlık hizmetlerinin (Yang vd., 2004), ambulansların (Van Barneveld vd., 2016), hastane departmanlarının (Abdel-Basset vd., 2018) atama problemleri incelenmiştir. Bu özel problemler; Wimmert (Wimmert, 1958), dal-sınır (Ross & Soland, 1975), Hungarian (Mills-Tettey vd., 2007) vb. algoritmalarla çözülebilir. Bunlara ek olarak, sezgisel algoritmalar da bu problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Sezgisel algoritmalar, büyük ölçekli problemler için kısa sürede optimum sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmesini sağlar. Literatürdeki birçok çalışmada aday yere atama problemleri için sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Srivastava'nın (1993) ortaya koyduğu sezgisel algoritma, tüm tesislerin başlangıçta açık

olduğunu varsayar. Ardından kapatılacak tesisin belirlenmesi amaçlanır. Bu durum, açık tesisler için yaklaşık rotalama maliyetlerinin kullanılmasına mümkündür. Bir başka çalışmada, tasarruf algoritmasının bir versiyonu olan C-W algoritması Clark ve Wright (1964) tarafından kullanılmıştır. Araştırmada, tek depo araç rotalama problemlerine bir tasarruf konsepti sunulmuş ve optimum yapıya yakın bir araç rotalama yapısı bulmak için sezgisel bir greedy yöntem önerilmiştir. Kapasitesiz tesis yerleşim problemi için benzer bir greedy yaklaşım, Kuehn ve Hamburger'in (1963) çalışmasında yer almıştır. Çalışmada tüm tesislerin açık olduğu varsayılır ve ardından kapanışı kârda en büyük artışa yol açan tesisler teker teker kapatılmaktadır. Başka bir tasarruf sezgisel yöntemi ise Hansen vd. (1994) tarafından uygulanmıştır. Önerilen yöntem, çoklu araç ve kapasiteye sahip tesislerin bulunduğu bir problemde kullanılmıştır. Yöntemin temel mantığı problemi üç alt probleme ayırmaya dayanır. Daha fazla maliyet iyileştirmesi mümkün olmadığı sezgisel algoritma durur.

Bu çalışma, önceki çalışmalara ek olarak, çoklu tesis yerleşim problemi için bir sezgisel tasarruf algoritmasını revize ederek literatüre katkıda bulunmaktadır. Metodoloji, bölgelerin tüm taleplerinin atanmak zorunda olmadığı durumda toplam maliyeti gözlemlemek için Lagrange gevşetmesi kullanılarak, kurulan modelin bir uzantısını da sunmaktadır. Önerilen algoritma, pandemi için geçici aşılama kliniklerinin atanmasında ilk kez uygulanmıştır.

Makalenin genel yapısı şu şekildedir: İkinci bölümde, çoklu tesis yerleşim problemi ve Lagrange gevşetmesi tanıtılmıştır. Daha sonra önerilen metodoloji sezgisel bir algoritma ile açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, İstanbul'daki bir ilçenin altı bölgesi için önerilen metodolojinin uygulandığı bir geçici aşılama kliniği vaka analizi çalışması yer almaktadır. Ayrıca, Lagrange gevşetmesi kullanılarak, bölgedeki nüfusun tamamının aşılama gerekmediği varsayımı altında, tüm talepleri geçici aşılama kliniklerine atanmak zorunda olmadığı durumu da incelenmiştir. Çalışmanın son bölümü olan dördüncü bölümde ise sonuçlar yer almaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, uygulama konusu ve problemin yapısı ve önerilen sezgisel algoritma tanıtılmaktadır.

### 2.1. Problemin Yapısı

Çoklu tesis yerleşim probleminin doğrusal programlama formülasyonu aşağıdaki gibidir:

*Girdiler:*

$c_{ij}$  =  $i$ 'deki müşterinin talebini  $j$ 'den karşılama (atama) maliyeti (mesafe veya seyahat süresine bağlı maliyet) ( $i=1,2,\dots,n$  ve  $j=1,2,\dots,m$ )

$d_i$  =  $i$ 'deki müşterinin talebi (kişi sayısı)

$f_j$  =  $j$ . aday yere tesis yerleşiminin maliyeti

$k$  = Yerleşim yapılacak tesis sayısı.

*Denklemler:*

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} d_i x_{ij} + \sum_{j=1}^m f_j y_j \quad (1)$$

*Şu koşullara göre:*

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq ny_j \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = k \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (5)$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer tesis } j \text{ konumuna atanmışsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (6)$$

Amaç fonksiyonu (1), talep ağırlıklı atama ve tesislerin yerleştirilmesini içeren toplam maliyeti en aza indirir. Kısıt denklemi (2), her müşterinin talebinin tamamının atanması gerektiğini belirtir. Kısıt denklemi (3), j aday yerine atanan toplam müşteri talep oranının, atanan müşteri sayısını geçemeyeceğini tanımlar. Kısıt denklemi (4), yalnızca k adet aday yerin yerleşim için seçilmesi gerektiği anlamına gelir. Kısıt denklemi (5), i'deki müşterinin j. aday yere atanan talep oranının pozitif bir reel sayı olduğunu ifade eder. Son olarak kısıt (6), eğer tesis j konumuna atanmışsa y değişkeninin değerinin 1, atanmamışsa 0 değeri alacağını göstermektedir.

Bir bölgedeki müşterilerin tüm taleplerinin karşılanmasının zorunlu olmadığı durumda toplam maliyetini gözlemlemek için kısıt (2) gevşetilir. Dolayısıyla, gevşetilmiş çoklu tesis yerleşim probleminin doğrusal formülasyonu aşağıdaki gibi değişir:

Girdiler:

$c_{ij}$  = i'deki müşterinin talebini j'den karşılama (atama) maliyeti (mesafe veya seyahat süresine bağlı maliyet) (i=1,2,...,n) ve (j=1,2,...,m)

$d_i$  = i'deki müşterinin talebi (kişi sayısı)

$f_j$  = j. aday yere tesis yerleşiminin maliyeti

k = Yerleşim yapılacak tesis sayısı

$u_i$  = Lagrange çarpanı

Denklemler:

$$Z(u)_{min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (c_{ij}d_i - u_i)x_{ij} + \sum_{j=1}^m f_j y_j + \sum_{i=1}^n u_i \quad (7)$$

Şu koşullara göre:

Kısıt denklemi (3-4-5-6).

## 2.2. Sezgisel Algoritma

Çoklu tesis yerleşim problemi için önerilen sezgisel algoritmada Kuehn ve Hamburger (1963) ile Clarke ve Wright (1964) tarafından yapılan çalışmalar temel alınmıştır. Önerilen yaklaşımımıza göre, ilk tesis minimum maliyetli bir aday yere yerleştirilir. Her tesisin yerleştirildiği yeni yer, çözümü daha da geliştirmelidir. Minimum maliyeti oluşturan düzende tesislerin sayısı ve yeri belirlenir. Sözü edilen sezgisel algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir:

**Adım 1:** Müşteri ile aday yer arasındaki mesafe maliyeti (veya seyahat süresine bağlı maliyet) ve müşteri talebi bilgileriyle başlangıç matrisi oluşturulur.

**Adım 2:** Müşteri talebi ile mesafe maliyeti (veya seyahat süresine bağlı maliyet) çarpılarak taşıma maliyeti matrisi oluşturulur ve sütunların toplamı hesaplanır. (Hesaplama tasarruflar pozitif, maliyetler negatiftir).

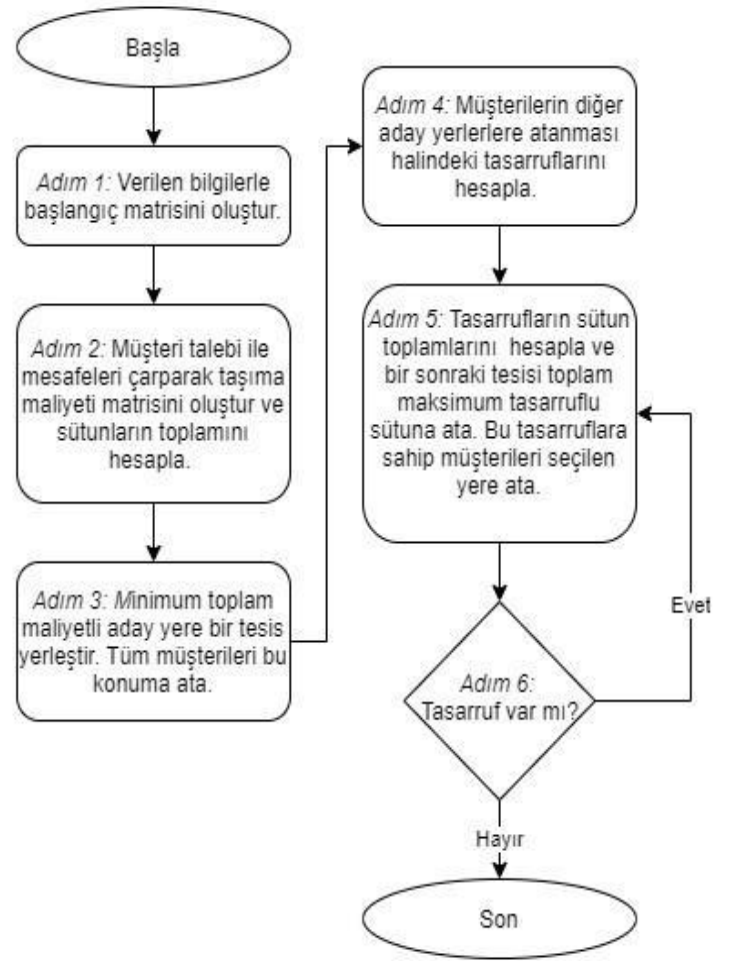
**Adım 3:** Bir tesis, minimum toplam maliyeti olan aday yere yerleştirilir (atanır). Bu yere, tüm müşterilerin atanması yapılır.

**Adım 4:** Müşterilerin diğer aday yerlere atanması halinde, yer değiştirmelerinin tasarrufları hesaplanır.

**Adım 5:** Tasarrufların sütun toplamları hesaplanır ve bir sonraki tesis toplam maksimum tasarruflu sütuna atanır. Bu tasarruflara sahip müşteriler seçilen yere atanır.

**Adım 6:** Tasarruf matrisi gözden geçirilir. Tasarruf varsa Adım 5'e dönlür. Aksi takdirde, algoritma sonlandırılır.

Algoritma, minimum toplam maliyete ulaşıldığında biter. Bu, aynı zamanda kurulacak yeni bir tesisin ek bir tasarruf sağlamadığı noktadır. Şekil 1, önerilen algoritmanın akış şemasını göstermektedir.



Şekil 1. Önerilen Algoritmanın Akış Şeması

## 3. Vaka Analizi

Covid-19 virüsüne karşı aşılama çalışmaları için ilk etapta Türkiye'deki geleneksel sabit sağlık merkezlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada, aşılama hızlandırmak ve Covid-19 temaslı ve hastalarını diğer hastalardan ayı tutmak için geçici aşılama klinikleri önerilmiştir. Ayrıca geçici aşılama kliniklerinin sağlık merkezlerindeki yoğunluğu azaltarak daha dengeli bir kapasite kullanımına hizmet edeceği düşünülmektedir.

Vaka analizi olarak, uzmanlar tarafından İstanbul'un seçilen bir ilçesi hizmet alacak altı bölgeye ayrılmıştır. Hizmet verecek geçici aşı klinikleri için beş aday yer belirlenmiştir. Hangi aday yerlere klinik yerleştirileceği ve açılan kliniklerin hangi bölgelere hizmet vereceği araştırılmak istenmiştir.

Söz konusu uygulama için önerilen metodolojinin adımları aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

**Adım 1:** İlk matris, müşteri bölgesi ile aday yerleşim yeri arasındaki uzaklık maliyeti (₺) ve bölgede yaşayan insanların nüfusu (talebi) ile ilgili bilgilerle oluşturulur (Tablo 1).

Tablo 1. Başlangıç Matrisi

ADAY YER	1	2	3	4	5	TALEP (NÜFUS)
<i>BÖLGE</i>						
<i>A</i>	4	8	3	1	7	3000
<i>B</i>	5	5	3	4	3	4000
<i>C</i>	4	9	2	4	6	2000
<i>D</i>	6	3	7	5	7	2400
<i>E</i>	4	12	4	2	9	2000
<i>F</i>	10	13	6	9	3	1500

**Adım 2:** Müşteri talebi ile seyahat sürelerine bağlı maliyet çarpılarak oluşturulan taşıma maliyeti matrisi Tablo 2'de yer almaktadır. Elde edilen değerlere göre sütun toplamları alınır.

Tablo 2. Taşıma Maliyeti Matrisi

ADAY YER	1	2	3	4	5
<i>BÖLGE</i>					
<i>A</i>	12000	24000	9000	3000	21000
<i>B</i>	20000	20000	12000	16000	12000
<i>C</i>	8000	18000	4000	8000	12000
<i>D</i>	14400	7200	16800	12000	16800
<i>E</i>	8000	24000	8000	4000	18000
<i>F</i>	15000	19500	9000	13500	4500
<b>KLİNİK MALİYETİ (₺)</b>	5000	3000	6000	7000	2000
<b>TOPLAM MALİYET (₺)</b>	<b>82400</b>	<b>115700</b>	<b>64800</b>	<b>63500</b>	<b>86300</b>

**Adım 3:** Minimum toplam maliyeti 63.500 ₺ olan 4. aday yere ilk geçici aşı kliniği yerleştirilir. Tüm bölgeler bu aday yere (4. aday yer) atanır.

**Adım 4:** Müşterileri diğer aday yerlere atayarak değerlendirilen yer değiştirme tasarrufları Tablo 3'teki tasarruf matrisinde yer almaktadır.

Tablo 3. Tasarruf Matrisi

ADAY YER	1	2	3	4	5
<i>BÖLGE</i>					
<i>A</i>	-	-	-	A*	-
<i>B</i>	-	-	4000	B	4000*
<i>C</i>	0	-	4000	C	-
<i>D</i>	-	4800	-	D	-
<i>E</i>	-	-	-	E*	-
<i>F</i>	-	-	4500	F	9000*
<b>KLİNİK MALİYETİ (₺)</b>	5000	3000	6000	-	2000
<b>TOPLAM MALİYET (₺)</b>	<b>-5000</b>	<b>1800</b>	<b>6500</b>	<b>-</b>	<b>11000</b>

**Adım 5:** Bir başka geçici aşılama kliniği ise 11.000 ₺ ile maksimum toplam tasarruf sağlayan 5. aday yere atanır. Bölge B ve F, 5. aday yere atanır.

**Adım 6:** Müşterilerin diğer aday yerlere atama durumu incelenmiş ve tasarruf matrisi Tablo 4'te revize edilmiştir. 2. aday yerin tasarrufa sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle algorithmada Adım 5'e geri dönülür ve 1.800 ₺ ile maksimum tasarruf sağlayan 2. aday yere başka bir geçici aşılama kliniği atanır. Bölge D, 2. aday yere atanır.

Tablo 4. Birinci Düzenlenmiş Tasarruf Matrisi

ADAY YER	1	2	3	4	5
<i>BÖLGE</i>					
<i>A</i>	-	-	-	A*	-
<i>B</i>	-	-	0	-	B*
<i>C</i>	0	-	4000	C	-
<i>D</i>	-	4800	-	D	-
<i>E</i>	-	-	-	E*	-
<i>F</i>	-	-	-	-	F*
<b>KLİNİK MALİYETİ (₺)</b>	5000	3000	6000	-	-
<b>TOPLAM TASARRUF (₺)</b>	<b>-5000</b>	<b>1800</b>	<b>-2000</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Birinci düzenlenmiş tasarruf matrisi Tablo 5'te bir kez daha revize edilmiştir. Tablo 5'e göre, aday yerlere başka atama yapmanın herhangi bir tasarruf oluşturmadığı görüşür. Böylece yeni bir kliniğe ihtiyaç duyulmadığı anlaşılır ve algoritma sona erer.

Tablo 5. İkinci Düzenlenmiş Tasarruf Matrisi

ADAY YER	1	2	3	4	5
<b>BÖLGE</b>					
<b>A</b>	-	-	-	A*	-
<b>B</b>	-	-	0	-	B*
<b>C</b>	0	-	4000	C	-
<b>D</b>	-	D*	-	-	-
<b>E</b>	-	-	-	E*	-
<b>F</b>	-	-	-	-	F*
<b>KLİNİK MALİYETİ (₺)</b>	5000	-	6000	-	-
<b>TOPLAM TASARRUF (₺)</b>	-5000	-	-2000	-	-

Atamaların ve oluşan maliyetlerin son halini içeren final matrisi Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Final Matrisi

ADAY YER	1	2	3	4	5	MALİYET (₺)
<b>BÖLGE</b>						
<b>A</b>	-	-	-	A	-	3000
<b>B</b>	-	-	0	-	B	12000
<b>C</b>	0	-	4000	C	-	8000
<b>D</b>	-	D	-	-	-	7200
<b>E</b>	-	-	-	E	-	4000
<b>F</b>	-	-	-	-	F	4500
<b>KLİNİK MALİYETİ (₺)</b>	-	3000	-	7000	2000	12000
<b>TOPLAM MALİYET (₺)</b>	-	-	-	-	-	50700

Önerilen sezgisel algoritmanın uygulandığı geçici aşılama kliniği atama problemi sonucunda, üç geçici aşılama kliniğinin hizmet vermesinin uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu klinikler, 2., 4. ve 5. aday yerlere atanmıştır. Atamalara göre; 2. aday yere atanan klinik, sadece D bölgesine (bir bölge) hizmet verecektir. 4. aday yere atanan klinik, A ve E olmak üzere iki bölgeye; son olarak 5. aday yerde bulunan klinik ise B, C ve F olmak üzere üç bölgeye hizmet vermektedir.

Altı bölgeye hizmet verecek üç geçici aşı kliniği atamanın toplam maliyeti 50.700 ₺ olarak hesaplanmıştır. Tablo 6'da olduğu gibi, 3. aday yerdeki B bölgesinin ve 1. aday yerdeki C bölgesinin tasarruf maliyetleri sıfıra eşittir. Bu durum, söz konusu aday yerlere geçici aşı kliniklerinin atanması durumunda, bu bölgelerin alternatif bir yer ile ilişkili olabileceği anlamına gelir. Fakat algoritma sonucunda 1. ve 3. bölgeye klinik yerleştirmek uygun bulunmamıştır. Bu nedenle, vaka çalışmasında aynı anda iki aday yere hiçbir bölge atanmamıştır. Problemin doğrusal programlama versiyonu GAMS 23.6 yazılımı kullanılarak çözülmüş ve optimum sonuç ile önerilen metodoloji aynı sonuçları elde etmiştir.

Metodolojinin devamında, geçici aşı klinikleri problemine Lagrange gevşetme yöntemi uygulanır. Buradaki amaç, nüfusun

hepsinin aşılınması gerekmeyeceği varsayılarak, bir bölgedeki tüm taleplerin atanma zorunluluğu olmadığı durumda toplam maliyeti gözlemlemektir. Vaka analizindeki problemin Lagrange gevşetmesi ile oluşturulan doğrusal programlama modeli aşağıda yer almaktadır:

Girdiler:

$c_{ij}$ = i'deki müşterinin talebini j'den karşılama (atama) maliyeti (mesafe veya seyahat süresine bağlı maliyet) (i=1,2,...,n) ve (j=1,2,...,m)

$d_i$ = i'deki müşterinin talebi

$f_j$ = j. aday yere tesis yerleşiminin maliyeti

k= Yerleşim yapılacak tesis sayısı

$u_i$ = Lagrange çarpanı

Denklemler:

$$Z(u)_{min} = (4 * 3000 - u_1)x_{11} + (8 * 3000 - u_1)x_{12} + (3 * 3000 - u_1)x_{13} + (1 * 3000 - u_1)x_{14} + (7 * 3000 - u_1)x_{15} + (5 * 4000 - u_2)x_{21} + (5 * 4000 - u_2)x_{22} + (3 * 4000 - u_2)x_{23} + (4 * 4000 - u_2)x_{24} + (3 * 4000 - u_2)x_{25} + (4 * 2000 - u_3)x_{31} + (9 * 2000 - u_3)x_{32} + (2 * 2000 - u_3)x_{33} + (4 * 2000 - u_3)x_{34} + (6 * 20 - u_3)x_{35} + (6 * 2400 - u_4)x_{41} + (3 * 2400 - u_4)x_{42} + (7 * 2400 - u_4)x_{43} + (5 * 24 - u_4)x_{44} + (7 * 2400 - u_4)x_{45} + (4 * 2000 - u_5)x_{51} + (12 * 2000 - u_5)x_{52} + (4 * 20 - u_5)x_{53} + (2 * 2000 - u_5)x_{54} + (9 * 2000 - u_5)x_{55} + (10 * 1500 - u_6)x_{61} + (13 * 1500 - u_6)x_{62} + (6 * 1500 - u_6)x_{63} + (9 * 1500 - u_6)x_{64} + (3 * 1500 - u_6)x_{65} + 5000y_1 + 3000y_2 + 6000y_3 + 7000y_4 + 2000y_5 + u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5 \quad (6)$$

Şu koşullara göre:

$$x_{11} \leq 6y_1 \quad (7)$$

$$x_{12} \leq 6y_2 \quad (8)$$

$$x_{13} \leq 6y_3 \quad (9)$$

$$x_{14} \leq 6y_4 \quad (10)$$

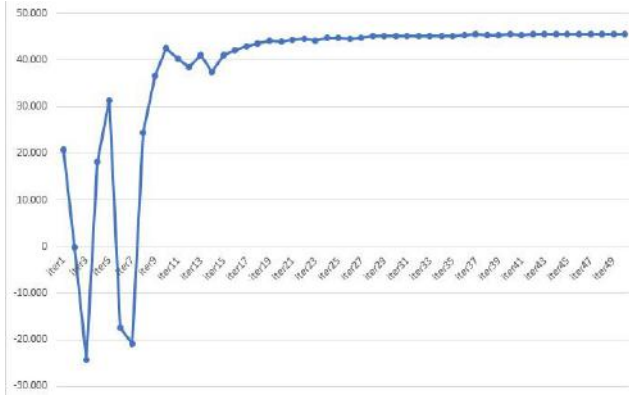
$$x_{15} \leq 6y_5 \quad (11)$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = 3 \quad (12)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (13)$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer tesis } j \text{ konumuna atanmışsa,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (14)$$

Ana problemde bulunan klinik sayısı üç olduğundan, problem toplamda üç klinik için gevşetilmiştir (k=3). Oluşturulan doğrusal programlama modeli GAMS 23.6 yazılımı kullanılarak 0.063 sn'de çözülmüştür. Yazılım ile çözülen model, 50 iterasyonda sonuca ulaşmıştır. Kısıt (2)'nin Lagrange gevşetmesi için elde edilen iterasyonlar Şekil 2'de görselleştirilmiştir.



Şekil 2. Kısıt (2)'nin Lagrange Gevşetmesi İçin Elde Edilen İterasyonlar

Sonuçlara göre toplam maliyet yaklaşık 45.485.540 ₺ olarak hesaplanmıştır. Toplam maliyet, Lagrange gevşetmesi işlemi öncesinde hesaplanan maliyete göre 5.214,46 ₺ (ilk sonuca göre %10,28 daha az) azalmıştır. Böylelikle aday yerlere toplam 3 adet geçici aşı kliniği atanmış ve tüm nüfusun aşılmasını gerektirmediği varsayımı altında toplam maliyet azalmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Covid-19 virüsünün neden olduğu salgına karşı geliştirilen aşılarda büyük umutlar taşımaktadır. Fakat kitleleri aşılamanın büyük bir yönetsel sorun teşkil ettiği düşünülmektedir. Bilinen sabit konumlu sağlık merkezlerine ek olarak, aşılama hızlandırmak ve Covid-19 süreçlerini diğer hastalıklardan ayırtmak için geçici aşılama kliniklerinin kullanımı önerilmiştir. Vaka çalışmasında, İstanbul'un bir ilçesi altı bölgeye bölünmüş ve beş uygun lokasyon aday yer olarak belirlenmiştir. Önce problemin doğrusal programlama modeli kurulmuş ve model Covid-19 aşılması için çoklu tesis yerleşim problemi için, revize edilmiş tasarruflu sezgisel algoritma ile çözülmüştür. Ayrıca, bölgelerdeki nüfusun tamamının aşılmasını gerektirmediği varsayılarak, ana modeldeki bir kısıt Lagrange gevşetmesi uygulanarak gevşetilir ve bulunan sonuç ana modelle karşılaştırılır. Geçici aşılama kliniği atama problemi sonucunda beş aday yerden üçüne geçici aşı kliniği yerleştirilmesi 50.700 ₺ ile optimum sonuç vermiştir ve tüm talepler bu kliniklerden karşılanmıştır. Lagrange gevşetmesi ile her talebin atanması koşulu kaldırılarak, üç geçici aşı kliniğinin toplam maliyeti 45.485.540 ₺'ye gerilemiştir.

Gelecek çalışmalar için, aday yerlerde hizmet kapasitesi, konum ağırlığı, yönlendirme maliyeti, bölge atama yasağı vb. gibi yeni kısıtlamalar düşünülebilir. Önerilen çoklu tesis atama sezgisel algoritması araç rotalama problemlerine uygulanabilir. Ayrıca, algoritmaların seçilen problemler üzerindeki etkinliğini göstermek için literatürdeki diğer çoklu tesis yerleşim algoritmaları ile karşılaştırılması önerilmektedir.

#### Kaynakça

Abdel-Basset, M., Manogaran, G., El-Shahat, D. & Mirjalili, S., 2018. Integrating the Whale Algorithm with Tabu Search for Quadratic Assignment Problem: A New Approach for

Locating Hospital Departments. *Applied Soft Computing*, 73, 530-546. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.08.047>

Ackerson, B. K., Sy, L. S., Glenn, S. C., Qian, L., Park, C. H., Riewerts, R. J., & Jacobsen, S. J. (2021). Pediatric vaccination during the COVID-19 pandemic. *Pediatrics*, 148(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2020-047092>

Bartsch, S. M., Taitel, M. S., DePasse, J. V., Cox, S. N., Smith-Ray, R. L., Wedlock, P., Singh, T. G., Carr, S., Siegmund, S.S. & Lee, B. Y., 2018. Epidemiologic and Economic Impact of Pharmacies as Vaccination Locations during an Influenza Epidemic. *Vaccine*, 36(46), 7054-7063. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.09.040>

Chen, W., Misra, S. M., Zhou, F., Sahni, L. C., Boom, J. A. & Messonnier, M., 2020. Evaluating Partial Series Childhood Vaccination Services in a Mobile Clinic Setting. *Clinical Pediatrics*, 59(7), 706-715. <https://doi.org/10.1177/0009922820908586>

Clarke, G. & Wright, J. W., 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568-581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

Çakır, E., Taş, M.A. & Ulukan, Z. 2021. Neutrosophic Fuzzy Weighted Saving Heuristic for COVID-19 Vaccination. In *2021 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, IEEE, 1-4. <https://doi.org/10.1109/SIEDS52267.2021.9483794>

Çakır, E, Taş, M.A. & Ulukan, Z., 2022. Spherical Bipolar Fuzzy Weighted Multi-facility Location Modeling for Mobile COVID-19 Vaccination Clinics. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 237 – 250. <https://doi.org/10.3233/JIFS-219189>

Gianfredi, V., Pennisi, F., Lume, A., Ricciardi, G. E., Minerva, M., Riccò, M., ... & Signorelli, C. (2021). Challenges and opportunities of mass vaccination centers in COVID-19 times: a rapid review of literature. *Vaccines*, 9(6), 574. <https://doi.org/10.3390/vaccines9060574>

Giles, M. L., Hickman, J., Lingam, V. & Buttery, J., 2018. Results from a Mobile Outreach Influenza Vaccination Program for Vulnerable and High-risk Populations in a High-income Setting: Lessons Learned. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 42(5), 447-450. <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12810>

Hannings, A. N., Duke, L. J., Logan, L. D., Upchurch, B. L., Kearney, J. C., Darley, A., Welch, L. H., Brooks, K. L. & McElhannon, M. B., 2019. Patient Perceptions of Student Pharmacist-run Mobile Influenza Vaccination Clinics. *Journal of the American Pharmacists Association*, 59(2), 228-231. <https://doi.org/10.1016/j.japh.2018.10.018>

Hansen, P. H., Hegedahl, B., Hjortkjær, S. & Obel, B., 1994. A Heuristic Solution to the Warehouse Location-routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 76(1), 111-127. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90010-8)

Heymann, D. L. & Aylward, R. B., 2006. *Mass Vaccination: When and Why*. Mass Vaccination: Global Aspects—Progress and Obstacles, Springer, Berlin, Heidelberg, 1-16. [https://doi.org/10.1007/3-540-36583-4\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-36583-4_1)

- Kim, N. & Mountain, T. P., 2017. Role of Non-traditional Locations for Seasonal Flu Vaccination: Empirical Evidence and Evaluation. *Vaccine*, 35(22), 2943-2948. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.04.023>
- Kuehn, A. & Hamburger M. J., 1963. A Heuristic Program for Locating Warehouses. *Management Science*, 9, 643-666. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.4.643>
- Lee, B. Y., Mehrotra, A., Burns, R. M. & Harris, K. M., 2009. Alternative Vaccination Locations: Who Uses Them and Can They Increase Flu Vaccination Rates?. *Vaccine*, 27(32), 4252-4256. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.04.055>
- Leibowitz, A., Livaditis, L., Daftary, G., Pelton-Cairns, L., Regis, C., & Taveras, E. (2021). Using mobile clinics to deliver care to difficult-to-reach populations: A COVID-19 practice we should keep. *Preventive Medicine Reports*, 24, 101551. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2021.101551>
- Mills-Tettey, G. A., Stentz, A. & Dias, M. B., 2007. *The Dynamic Hungarian Algorithm for the Assignment Problem with Changing Costs*. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, Tech. Rep. CMU-RI-TR-07-27. [https://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/pub4/mills\\_tettey\\_g\\_ayorkor\\_2007\\_3/mills\\_tettey\\_g\\_ayorkor\\_2007\\_3.pdf](https://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/mills_tettey_g_ayorkor_2007_3/mills_tettey_g_ayorkor_2007_3.pdf)
- New York Times (NY Times). (2022). *Tracking Coronavirus Vaccinations Around the World*. <https://www.nytimes.com/interactive/2021/world/covid-vaccinations-tracker.html>
- Plotkin, S. (2014). History of vaccination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(34), 12283-12287. <https://doi.org/10.1073/pnas.1400472111>
- Ross, G. T. & Soland, R. M., 1975. A Branch and Bound Algorithm for the Generalized Assignment Problem. *Mathematical Programming*, 8(1), 91-103. <https://doi.org/10.1007/BF01580430>
- Srivastava, R., 1993. Alternate Solution Procedures for the Location-routing Problem. *Omega*, 21(4), 497-506. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(93\)90082-V](https://doi.org/10.1016/0305-0483(93)90082-V)
- Van Barneveld, T. C., Bhulai, S. & van der Mei, R. D., 2016. The Effect of Ambulance Relocations on the Performance of Ambulance Service Providers. *European Journal of Operational Research*, 252(1), 257-269. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.022>
- World Health Organization (WHO). (2021). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. <https://covid19.who.int/>
- Wimmert, R. J., 1958. A Mathematical Method of Equipment Location. *Journal of Industrial Engineering*, 9, 498-505.
- Yang, S., Hamedi, M. & Haghani, A., 2004. Integrated Approach for Emergency Medical Service Location and Assignment Problem. *Transportation research record*, 1882(1), 184-192. <https://doi.org/10.3141/1882-22>





# Investigation of Morphology, Size Distribution and Surface Area of ZnO Crystallization Using Taguchi Experimental Design

Muhammed Bora Akin<sup>1\*</sup>, Ömer Faruk Dilmaç<sup>2</sup>, Barış Şimşek<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Çankırı Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: : 0000-0003-3841-1633), [mbakin@karatekin.edu.tr](mailto:mbakin@karatekin.edu.tr)

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9660-0638), [ofdilmac@karatekin.edu.tr](mailto:ofdilmac@karatekin.edu.tr)

<sup>3</sup> Çankırı Karatekin University, Department of Chemical Engineering, Çankırı, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0655-4368), [barissimsek@karatekin.edu.tr](mailto:barissimsek@karatekin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082634)

**ATIF/REFERENCE:** Akin, M.B., Dilmaç, Ö.F., & Şimşek, B. (2022). Investigation of Morphology, Size Distribution and Surface Area of ZnO Crystallization Using Taguchi Experimental Design. *European Journal of Science and Technology*, (34), 367-373.

## Abstract

Length, width and specific surface area are among the important criteria representing ZnO crystallization. The average width, average length and surface area of the synthesized ZnO crystals are important because they directly change the application area in which the material will be used. In this study, the factors affecting these criteria were determined as the amount of poly(sodium 4-styrenesulfonate), ultrasonication power, reactant concentration and reaction temperature. The effects of the factors on the selected criteria are analyzed and determined using the Taguchi experimental design method and main effect analysis. The results showed that if the ZnO crystals to be produced are to be used as catalysts, a lower PSSS concentration should be preferred for the synthesis of these crystals, which are smaller in size and have a larger surface area. Another result is; It is seen that the amount of additive and ultrasonication are the two most effective parameters on the average width, average length and specific surface area properties of the synthesized ZnO crystals.

**Keywords:** Zinc oxide, Crystallization, Additive, PSSS, Ultrasonication, Taguchi method.

## ZnO Kristalizasyonunun Morfolojisi, Boyut Dağılımı ve Yüzey Alanının Taguchi Deneysel Tasarımı Kullanılarak İncelenmesi

### Öz

Uzunluk, genişlik ve spesifik yüzey alanı ZnO kristalizasyonunu temsil eden önemli kriterler arasında bulunur. Sentezlenen ZnO kristallerinin ortalama genişliği, ortalama uzunluğu ve yüzey alanı malzemenin kullanılacağı uygulama alanını direkt olarak değiştirdiği için önemlidir. Bu çalışmada bu kriterleri etkileyen faktörler olarak poli(sodyum 4-stirensülfonat) (PSSS) miktarı, ultrasonikasyon gücü, reaktan konsantrasyonu ve reaksiyon sıcaklığı belirlenmiştir. Faktörlerin seçilen kriterler üzerindeki etkileri, Taguchi deney tasarımı yöntemi ve ana etki analizi kullanılarak analiz edilmekte ve tespit edilmektedir. Sonuçlar, Üretilen ZnO kristallerinin katalizörler olarak kullanımı söz konusu ise, boyut olarak daha küçük ve yüzey alanı daha büyük olan bu kristallerin sentezi için daha düşük PSSS konsantrasyonunun tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir. Bir diğer sonuç ise; sentezlenen ZnO kristallerinin ortalama genişlik, ortalama uzunluk ve spesifik yüzey alanı özellikleri üzerinde katkı miktarı ve ultrasonikasyonun en etkili iki parametre olarak karşımıza çıktığı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çinko oksit, Kristalizasyon, Katkı, PSSS, Ultrasonikasyon, Taguchi metodu.

\* Corresponding Author: [mbakin@karatekin.edu.tr](mailto:mbakin@karatekin.edu.tr)

## 1. Introduction

Zinc oxide (ZnO) emerges as a material with a wide range of uses, where piezoelectric (Yang and Kim, 2021), photocatalytic (Akin and Oner, 2013) and antimicrobial (Akin and Akyüz, 2020) properties are emphasized. The combination of semiconductor and piezoelectric properties makes it unique. There is a necessity to control the morphology and dimensions according to the areas where it is used. It has been possible to synthesize nano- or micron-sized ZnO crystals of varying morphologies, under certain conditions, by different methods: combs, rings, coils, springs, belts, wires etc. Additives stand before us as the most effective method in controlling crystal size and morphology.

Chemical precipitation method plays an important role especially in the synthesis of metal oxides. In addition to being inexpensive, it is easy to apply at low temperature and allows fine-tuning of material properties during crystallization.

In one study, while ZnO nanoparticles were synthesized by chemical precipitation method, this process was clarified. The nanoparticles synthesized in the study are characterized using TEM, EDS, XRD, Raman and FTIR spectroscopy, and it has been revealed that the size is around 30 nm. It was formed in the pure hexagonal-wurtzite phase of ZnO nanocrystals (Sahai and Goswami, 2014). In another study, nanocrystalline ZnO powders, were successfully synthesized at four different pH values by chemical precipitation method. In this way, the role of the pH value of the solution is revealed. It has been proven that the pH value is effective on various properties of ZnO nanoparticles synthesized by chemical precipitation. It was seen that the crystalline synthesized by XRD and SEM analyzes was wurtzite. In addition, since the UV-Vis absorption of ZnO nanoparticles synthesized at pH=6 is higher than the other, it has been revealed that it can be used as a UV absorber (Chithra et al., 2015). In another study, chitosan (CHT)-ZnO nanocomposites were synthesized using chemical precipitation method. In addition, CHT-ZnO-TiO<sub>2</sub> composites have been synthesized also. Observed CHT, ZnO and TiO<sub>2</sub> patterns in the XRD analysis of the samples are proved that the samples were prepared successfully. DLS analysis results that the average particle size of ZnO nanoparticles was 18 nm. Also, antibacterial activity tests were done these samples. The results showed strong antibacterial activity for the cotton sample treated with CHT-ZnO nanocomposite compared to the untreated and CHT cut treated fabric. SEM-EDS analysis has been used to prove the found by ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the cotton fabric surface. The findings prove the use of fabrics treated with CHT-ZnO nanocomposite in the areas where antimicrobial and UV protective functions are needed (Turemen et al., 2021). In another study, ZnO nanoparticles were synthesized at low temperature chemical precipitation method, and it was revealed that both the structural and optical properties of the obtained ZnO products depend on the annealing temperature. The XRD results revealed that the crystallite sizes increase with increase in annealing temperature. It is reason that the coalescence of smaller crystallites at high temperatures. SEM images showed that the particles became almost spherical by agglomeration and increased in size with increasing temperature (Goswami et al., 2018).

There are different methods to synthesize materials by changing their properties: additives, selected production method, reactants, reaction temperature, initial pH, initial concentration of reactants, reaction media etc. During the production of ZnO

*e-ISSN: 2148-2683*

materials, its properties can be controlled easily with additives added to the medium. Additives vary depending on the property of the substance to be changed. In general, the literature is examined, it is seen that metals, metal oxides and polymers are used as additives. Even a small amount of additive used can change the material properties, and composite production is realized with the increase in the amount of additive.

Sun et al. (2011) showed that modified ZnO nanorods is synthesized using gold nanoparticles as additive and thus it is improved the photocatalytic activity. Akin and Oner (2012) obtain by a simple wet chemical method using zinc nitrate hexahydrate and hexamethylenetetramine as the starting materials in the presence of carboxymethyl inulin (CMI). Effect on the morphology, surface area, particle size, and size distribution of zinc oxide has been investigated with changed reaction temperature and CMI concentration. X-ray diffraction analyses showed the XRD patterns of synthesized materials were similar the wurtzite structure. The investigated ZnO material consisted of micrometer-sized hexagonally shaped bipyramidal crystals and nanocrystals. Palms et al. (2007) investigated the crystallization kinetics of zinc oxide in the presence of different polymers according to the amperometry theory. They found that the polymeric materials used as additives significantly changed the morphology of the ZnO films as they affected the relative growth rate of the crystal faces.

Although mechanical or magnetic stirring is sufficient, ultrasonic sound waves are also used for homogenization of solutions in some applications. The application of ultrasonic sound waves among alternative metal oxide material production methods is called sonochemical method. Sonochemical method is preferred because it provides fast material production. In a study by Pholnak et al., while synthesizing zinc oxide nanoparticles, solutions in glass containers of various shapes, such as cubes, cylinders, and spheres, were produced by sonicating with a 45 W 20 kHz ultrasonic pulse for 60 minutes under ambient conditions. A commercial ultrasonic homogenizer was used in the sonochemical reaction used here. Average particle diameters of about 70 nm were confirmed by crystalline ZnO phase, powder X-ray diffraction, and scanning electron microscopy (Pholnak et al., 2013). By Intaphong et al., heterostructured Pd/ZnO nanocomposites with different weight Pd contents were synthesized by sonochemical assisted deposition method and they have been successful in removing dyestuffs for photocatalysis using UV radiation (Intaphong et al., 2021). Bao et al. have presented a simple route of the ethylene glycol-assisted sonochemical method for fabricating highly crystalline ZnO twin-sphere-like, hexagonal-prism-like, and bouquet-like. In this route, water content, alkaline medium, reaction pH, and ultrasound time were came forward key factors in the morphology control of ZnO. It was observed that higher water content increased the growth rate and incorporation of ZnO (Bao et al., 2021) In another study, Satdeve et al. (2019) sonochemically produced ZnO nanoparticles and Ag-ZnO nanocomposite. The mean crystallite size of ZnO nanoparticles and Ag-ZnO nanocomposite prepared were found to be 17.525 nm and 18.725 nm, respectively. Photocatalytic activity and properties of the synthesized photocatalysts were investigated by using the decolorization of MB dye under sunlight.

Yu et al. (2008) synthesized and investigated ZnO in the presence of Poly (sodium 4-styrenesulfonate (PSSS)). Thus, it was seen that ZnO micro sized rods with tunable aspect ratios under hydrothermal conditions. It were clarified that the morphological

variations of those ZnO microstructures were highly dependent on the PSSS concentration. Keeping the PSSS concentration relatively low in this study (0-0.5 g.L<sup>-1</sup>), the aspect ratios of the ZnO micro sized rods obtained are reduced due to selective adsorption of the in the polar ZnO (001) crystal plane by increased polymer amount.

In this study, the effect of PSSS concentration between 150-750 mg L<sup>-1</sup> as a synthetic additive on ZnO crystallization was investigated and the effects of temperature, reactant concentration and ultra-sonication power on morphology, size and BET surface area of ZnO were also investigated using Taguchi experimental design.

## 2. Materials and Method

The route of the study was decided by applying the Taguchi method. The ZnO characterization process, which was synthesized using the conditions of the decided experiments, was applied. Using the levels created by the experimental design, the effects of the parameters are examined with the help of the MiniTab program, based on the findings with characterization (Length and width in SEM photos and BET specific surface areas) obtained in only nine experiments.

### 2.1. Materials

The reactants, zinc nitrate hexahydrate (ZnNO<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) and hexamethyltetramine (HMT) and the additive, Poly (sodium 4-styrenesulfonate) (PSSS) were purchased from the Sigma-Aldrich (>99.0% pure). The molecular weight of PSSS is 70,000 g. The type II water used for doing experiments and cleaning experimental was produced with the Merck Millipore Elix Essential 10.

Crystallization experiments were performed with a 250 mL double-jacket reactor. The temperature control of the reactor was carried out with a circulating oil bath (Polyscience - AP07R-20-A12E). The circulating oil bath was controlled by a probe that measures the temperature inside the reactor used. Reactor has been mixed using a magnetic stirrer (IKA, C-MAG – HS7). The temperature, conductivity and pH of experiments were recorded directly to a computer with the multimeter (WTW, 9420). The ultrasonic homogenizer, Sonics – VCX500 was used for ultrasonication.

### 2.2. Method

The reactants were heated the desired temperature before the mixing in the reactor. The zinc oxide production experiments

were obtained spontaneously in the reactor at constant temperature. During these experiments, ultra-sonication (US) was applied 5 s per 15 s in reactor. Reactant mixing process has been waited for ten minutes after PSSS was added into the reactor. Experimental system is given Figure 1.

In the experimental design, Taguchi method was used (Simsek et al., 2013). L9 (4<sup>3</sup>) orthogonal design was preferred, thus number of experiment is reduced. In Table 1, parameters and levels have been given and also in Table 2, details of experiments have been shown.

Table 1. Parameters used in the experiments and their levels

Parameters	Level 1	Level 2	Level 3
PSSS amount (mg/L)	150	450	750
Ultrasonication Power (%)	20	30	40
Reactant Concentration (mM)	15	30	45
Temperature (°C)	65	75	85

Table 2. Details of Experiments

Exp. Code	PSSS amount (mg/L)	US Power (%)	[Reactant] (mM)	Temp. (°C)
Exp1	150	20	15	65
Exp2	150	30	30	75
Exp3	150	40	45	85
Exp4	450	20	30	85
Exp5	450	30	45	65
Exp6	450	40	15	75
Exp7	750	20	45	75
Exp8	750	30	15	85
Exp9	750	40	30	65

### 2.3. Characterization

Scanning Electron Microscopy (SEM) photographs has been taken in LEO 1430 VP.

The Brunauer, Emmett and Teller (BET) surface area measurements was used to determine the specific surface area of the synthesized samples. Quantachrome Instruments – Novatouch Lx4 has been used for these analyses. All samples were degassed at 80 °C and helium atmosphere for 3 hour. Multipoint BET analysis has been used in calculations for each measurement.

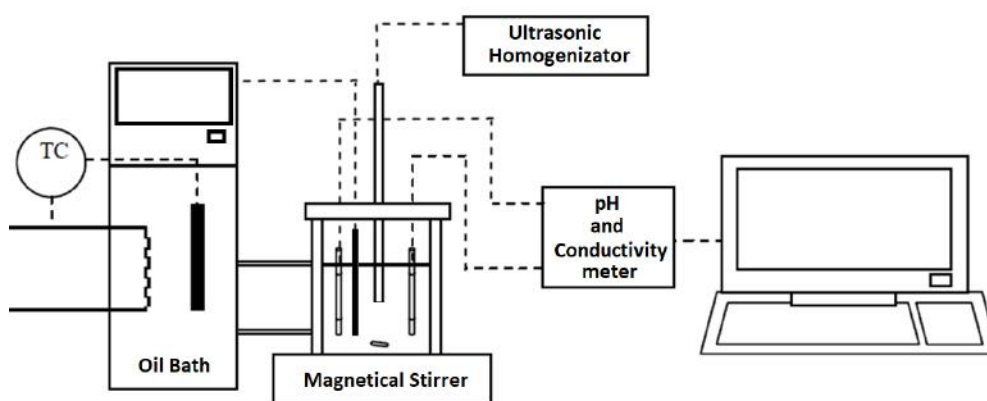


Figure 1. Experimental system

### 3. Results

SEM photographs of the experiments were used to determine the size of each sample in statistical analysis. Minimum

investigation number was about hundred and called frequency. Detailed statistical analysis was given in a Table 3 for samples. Besides, a graphical size distribution for length and width is given on the SEM photographs in Figure 2, Figure 3 and Figure 4.

Table 3. Statistical analyses of crystal sizes, and BET surface area values

Experiment	Parameter	Frequency (number)	Average (nm)	St. Dev. (nm)	Min. (nm)	Median (nm)	Max. (nm)	BET (m <sup>2</sup> /g)
Exp1	Length	105	312.57	98.33	162.16	288.29	657.66	53.4
	Width	103	140.30	41.70	81.08	135.14	342.34	58.3
Exp2	Length	110	211.63	64.35	90.09	216.22	396.40	25.4
	Width	103	185.87	39.69	99.10	189.19	306.31	22.1
Exp3	Length	108	291.37	81.28	153.15	279.28	585.59	22.5
	Width	101	123.54	31.14	63.06	117.12	207.21	18.5
Exp4	Length	103	249.72	54.35	135.14	243.24	432.43	14.6
	Width	105	206.61	50.21	117.12	198.20	387.39	12.2
Exp5	Length	107	252.42	72.31	117.12	243.24	459.46	21.2
	Width	108	209.29	46.00	126.13	207.21	369.37	18.1
Exp6	Length	101	487.91	80.23	315.32	486.49	765.77	24.0
	Width	108	288.37	64.07	162.16	283.78	441.44	21.1
Exp7	Length	91	268.10	59.88	128.21	256.41	538.46	18.9
	Width	102	204.50	35.46	128.21	205.13	333.33	23.0
Exp8	Length	95	378.27	69.87	230.77	384.62	666.67	2.0
	Width	125	305.33	67.59	141.03	307.69	474.36	3.2
Exp9	Length	118	705.60	283.83	198.20	675.68	1558.56	4.4
	Width	111	370.91	141.47	144.14	360.36	981.98	4.9

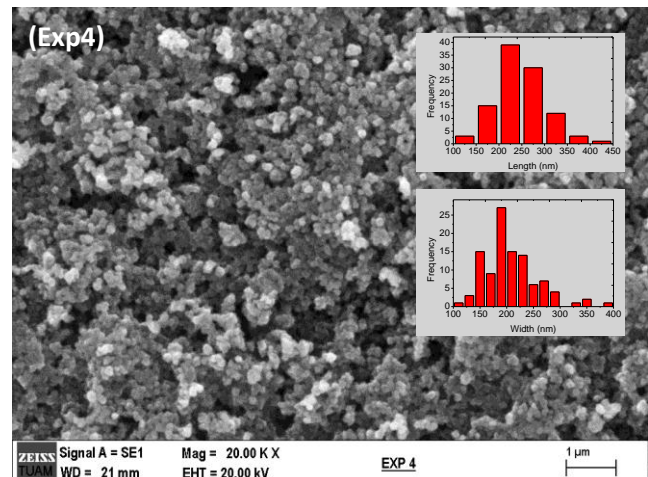
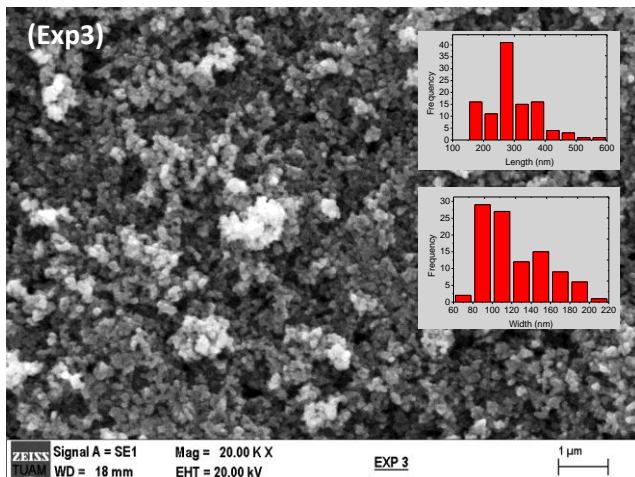
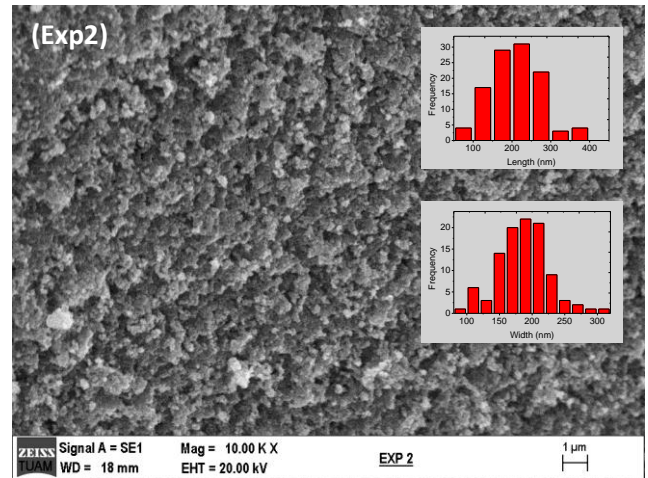
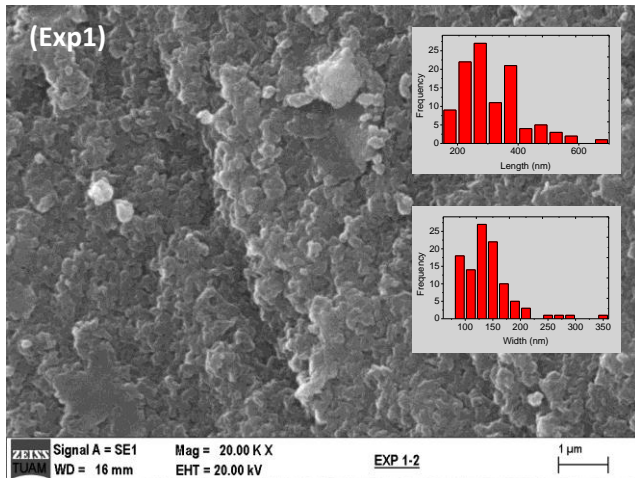


Figure 2. SEM photographs and size distributions of the materials: Exp1, Exp2, Exp3, and Exp4

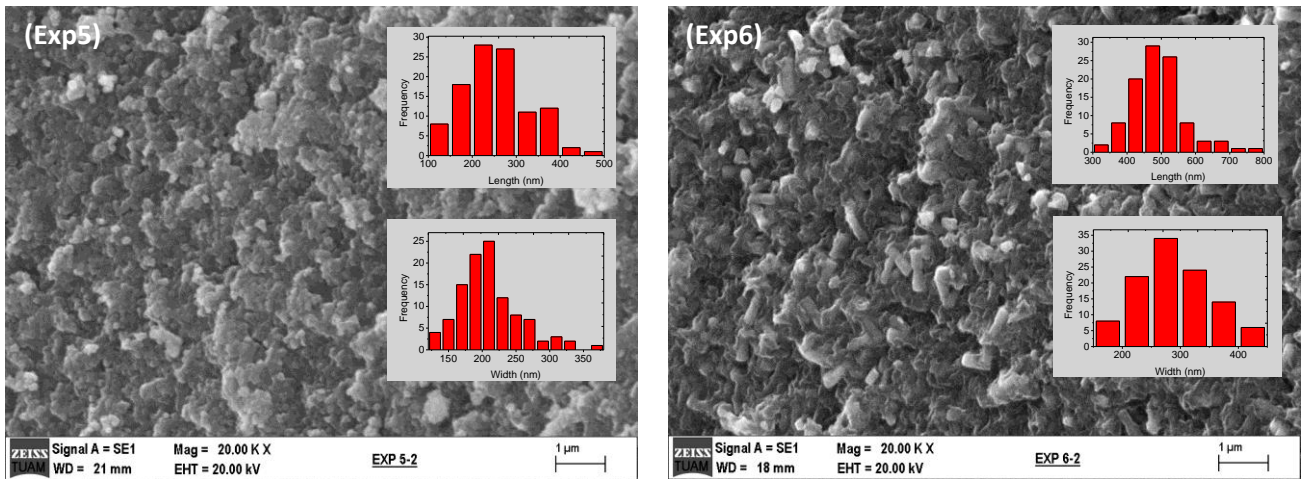


Figure 3. SEM photographs and size distributions of the materials: Exp5, and Exp6

As a result of measurements made using the Exp1 SEM photograph in Figure 2, the mean length ( $L_{ave}$ ) and mean width ( $W_{ave}$ ) were found to be  $312.6 \pm 98.3$  nm and  $140.3 \pm 41.7$  nm, respectively. Among the measured lengths, the value of the largest crystal was 657.7 nm, and the value of the smallest crystal was 162.2 nm. Similarly, the smallest one among the width values was 81.08 nm and the largest one was 342.34 (Table 3 and Figure 2). BET surface areas of the Exp1 were measured 53.4 and 58.3 m<sup>2</sup>/g.

From the Exp2 SEM images given in Figure 2, result of the measurements obtained  $L_{ave}$  and  $W_{ave}$  values were found to be  $211.6 \pm 64.4$  nm and  $185.9 \pm 39.7$  nm, respectively. As a result of the measurements made from the SEM image, it was seen that the length value changed between 90.1 nm and 396.4 nm, and the width value changed between 99.1 nm and 306.3 nm. (Table 3 and Figure 2). BET surface areas of the Exp2 were 25.4 and 22.1 m<sup>2</sup>/g.

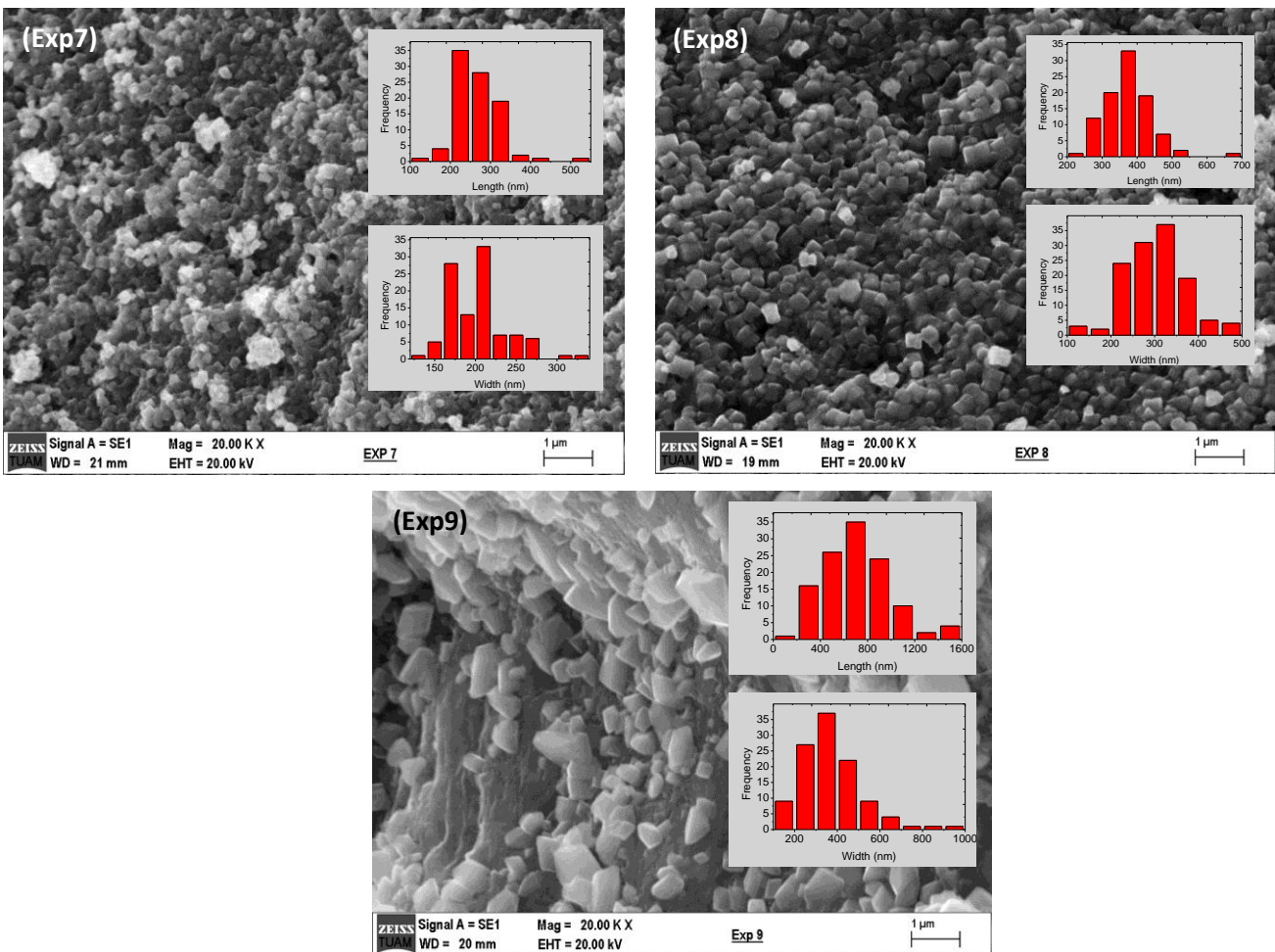


Figure 4. SEM photographs and size distributions of the materials: Exp7, Exp8, and Exp9

$L_{ave}$  and  $W_{ave}$  values obtained using SEM images from the synthesized Exp3 sample were calculated as  $291.4 \pm 81.3$  nm and  $123.5 \pm 31.1$  nm, respectively. The length value varies between 153.1 nm and 585.6 nm, while the width value varies between 63.1 nm and 207.2 nm (Table 3 and Figure 2). Two different analyzes of the Exp3 sample were made and the BET specific surface areas were found to be  $22.5$  m<sup>2</sup>/g and  $18.5$  m<sup>2</sup>/g.

$L_{ave}$  and  $W_{ave}$  values calculated by examining the SEM image for Exp4 were  $249.7 \pm 54.4$  nm and  $206.6 \pm 50.2$  nm, respectively. It can be seen that while the length value is between 135.1 nm and 432.4 nm, the width value is between 117.1 nm and 387.4 nm. (Table 3 and Figure 2). The BET surface area values of the Exp4 sample were determined as  $14.6$  m<sup>2</sup>/g and  $12.2$  m<sup>2</sup>/g in the analyses.

The length values of  $252.4 \pm 72.3$  nm and  $209.3 \pm 46.0$  nm, respectively, corresponded to the  $L_{ave}$  and  $W_{ave}$  values of the synthesized Exp5 sample. As a result of the examination, it was determined that the smallest length value was 117.1 nm, the biggest length value was 459.5 nm, while the smallest width value was 126.1 nm, and biggest width value was 369.4 nm (Table 3 and Figure 3). Measured BET specific surface areas of the Exp4 sample were  $21.2$  m<sup>2</sup>/g and  $18.1$  m<sup>2</sup>/g.

As can be seen in Figure 3,  $L_{ave}$  and  $W_{ave}$  values for Exp6 were found to be  $487.9 \pm 80.2$  nm and  $288.4 \pm 64.1$  nm, respectively. Length value was changed between 315.3 nm and 765.8 nm. Width value was changed between 162.2 nm and 441.4 nm (Table 3). The size distributions of the Exp6 material in Figure 3 are given for both length and width. BET surface area values of the sample were  $24.0$  m<sup>2</sup>/g and  $21.1$  m<sup>2</sup>/g.

For the Exp7 sample, the  $L_{ave}$  value,  $268.1 \pm 59.9$  nm, and the  $W_{ave}$  value  $204.5 \pm 35.5$  nm presented in Table 3 were found using the SEM image in Figure 4. The result of the examination on Figure 4 is given in Table 4. In the same manner, it is given in Table 3 that the width value varies between 128.2 nm and 333.3 nm and the BET surface areas of the sample measured  $18.9$  m<sup>2</sup>/g and  $23.0$  m<sup>2</sup>/g.

As a result of the SEM images investigated for the Exp8 sample (Figure 4),  $L_{ave}$  and  $W_{ave}$  were achieved to be  $378.3 \pm 69.9$  nm and  $305.3 \pm 67.6$  nm, respectively. Length value was differed between 230.8 nm and 666.7 nm. The measured width of the Exp8 sample differed between 141.0 nm and 474.4 nm. BET surface areas of the Exp8 were  $2.0$  m<sup>2</sup>/g and  $3.2$  m<sup>2</sup>/g (Table 3 and Figure 4).

For Exp9 (Figure 4),  $L_{ave}$  and  $W_{ave}$  values have been found  $705.6 \pm 283.8$  nm and  $370.9 \pm 141.5$  nm respectively. Length value was differs between 198.2 nm and 1558.6 nm, besides width value was differs between 144.1 nm and 982.0 nm (Table 3 and Figure 4). BET surface areas of the sample were  $4.4$  m<sup>2</sup>/g and  $4.9$  m<sup>2</sup>/g.

The obtained values are used in the Taguchi analysis in response, thereby clarifying the effects of the parameters for the levels studied.

#### 4. Discussion

In this section, the main effect diagrams for length, width and BET surface area are examined and information is given about the effects of the parameters. Thus, it is clarified that which parameter will most effective the result during material synthesis in this study.

The most effective parameter on the average length of the synthesized ZnO crystals is ultra-sonication power and it is determined that the zinc oxide crystals produced grow as the ultra-sonication power increases. Another important factor on the average length of zinc oxide crystals is the amount of additive and it is observed that as the amount of additive increases, the length value of ZnO crystals increases. As the reaction temperature increased, the average length of the zinc oxide crystals decreased. Considering the reaction concentration, it can be said that higher molarity reactant should be used for ZnO synthesis at a smaller length (Figure 5).

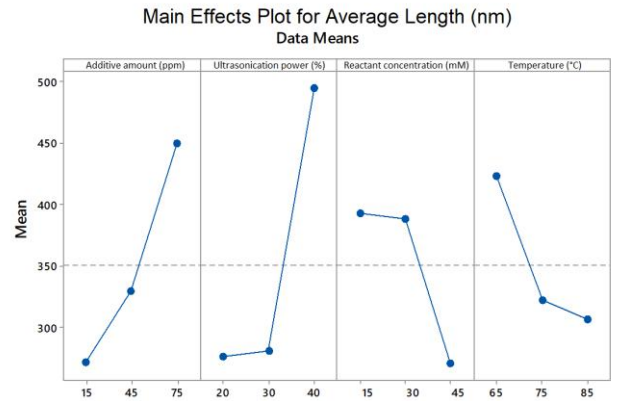


Figure 5. Main effects plot for average length (nm)

It is determined that the most effective parameter is the additive amount on the average width of the synthesized zinc oxide crystals and that as the concentration of the additive increases, the width of the zinc oxide crystals produced increases. Another important factor on the average width of the zinc oxide crystals is the ultra-sonication power and it is observed that the enrichment of the zinc oxide crystals increases as the ultra-sonication power increases. As the reaction temperature increased, the average width of the zinc oxide crystals decreased. Considering the reaction concentration, it can be said that higher molarity should be used for zinc oxide synthesis at a smaller width (Figure 6).

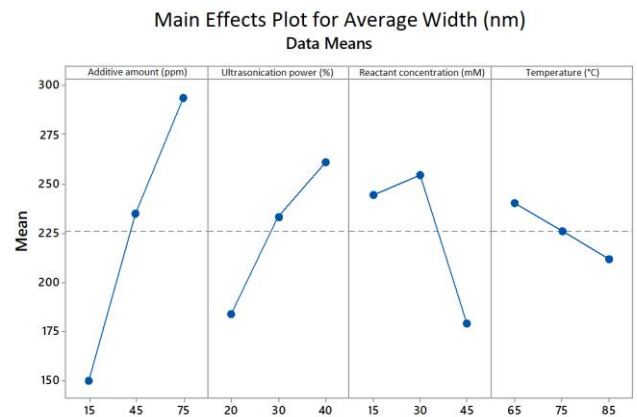


Figure 6. Main effects plot for average width (nm)

The most effective parameter on the surface area of the synthesized zinc oxide crystals is the additive amount and it is determined that the surface area of the zinc oxide crystals produced decreases as the amount of additive increases. The second important factor on the surface area of the zinc oxide crystals is the reaction temperature, and as the reaction

temperature increases, the surface area of the zinc oxide crystals decreases. Considering the reaction temperature and reaction concentration, it can be said that higher molarity reactant and ultra-sonication power should be used for zinc oxide synthesis with larger surface area (Figure 7).

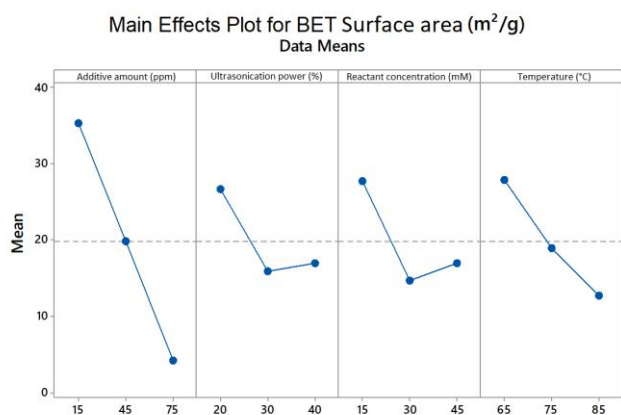


Figure 7. Main effects plot for BET surface area (m<sup>2</sup>/g)

## 5. Conclusion

A summary of the results obtained is listed below:

As a result of Taguchi experimental design for both width and surface area, the most effective parameter was found to be PSSS polymer used as additive. For length value, the most effective parameter was found to be ultra-sonication power.

Surface areas of zinc oxide materials decrease with the effect of increasing additive concentration. This result is supported by the increase in length and width values with increasing additive amount.

With increasing ultra-sonication power, both the length and the width of ZnO crystals increase. By the side of, the results of the applied Taguchi Experimental Method also support the knowledge that the growing particle is caused a decrease in the specific surface area value.

## 5. Acknowledge

The authors are grateful to the Çankırı Karatekin University, Project Administration Unit for their financial support of this research (Project number: MF060416B28).

## References

- Akin, B. and Akyüz, T. (2020). Antibacterial effect of ZnO crystals on foodborne pathogens: an optimization study, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10:(3), 484-489.
- Akin, B. and Oner, M. (2012). Aqueous pathways for formation of zinc oxide particles in the presence of carboxymethyl inulin. *Res Chem. Intermed.*, 38, 1511–1525.
- Akin, M.B. and Oner, M. (2013). Photodegradation of methylene blue with sphere-like ZnO particles prepared via aqueous solution, *Ceramics International*, 39, 9759–9762.
- Bao, Y. Gao, L. Feng, C. Ma, J. and Lyu, S. (2021). Systematically controlled synthesis of shape-selective ZnO superstructures via sonochemical process, *Materials Science and Engineering: B*, 263, 114887.

- Goswami, M., Adhikary, N. C. and S. Bhattacharjee, (2018). Effect of annealing temperatures on the structural and optical properties of zinc oxide nanoparticles prepared by chemical precipitation method, *Optik*, 158, 1006-1015.
- Intaphong, P. Phuruangrat, A. Yeebu, H. Akhbari, K. Sakhon, T. Thongtem, S. and Thongtem, T. (2021). Sonochemical Synthesis of Pd Nanoparticle/ZnO Flower Photocatalyst Used for Methylene Blue and Methyl Orange Degradation under UV Radiation, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 66(14), 2123–2133.
- Jay Chithra, M., Sathya, M. and Pushpanathan, K. (2015). Effect of pH on Crystal Size and Photoluminescence Property of ZnO Nanoparticles Prepared by Chemical Precipitation Method, *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, 28, 394–404.
- Palms, D. Norwig, J. and Wegner, G. (2007). Electrochemically Induced Growth of Zinc Oxide, *Chem. Phys. Chem.*, 8, 2260-2264.
- Pholnak, P. Sirisathitkul, C. Danworaphong, S. and Harding, D. (2013). Sonochemical Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using an Ultrasonic Homogenizer, *Ferroelectrics*, 455, 15-20.
- Sahai, A. and Goswami, N., (2014). Structural and vibrational properties of ZnO nanoparticles synthesized by the chemical precipitation method, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 58, 130-137.
- Satdeve, N.S. Ugwekar, R.P. Bhanvase, B.A. (2019). Ultrasound assisted preparation and characterization of Ag supported on ZnO nanoparticles for visible light degradation of methylene blue dye, *Journal of Molecular Liquids*, 291, 111313.
- Simsek, B. Ic, Y. T. and Simsek, E. H. (2013). A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of the high strength self-compacting concrete, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 125, 18-32.
- Sun, L., Zhao, D., Song, Z., Shan, C., Zhang, Z., Li, B. and Shen, D. (2011). Gold nanoparticles modified ZnO nanorods with improved photocatalytic activity, *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 175-181.
- Türemen, M., Demir, A. and Gokce, Y. (2021). The synthesis and application of chitosan coated ZnO nanorods for multifunctional cotton fabrics, *Materials Chemistry and Physics*, 268, 124736.
- Yang, Y. and Kim, K. (2021). Simultaneous acquisition of current and lateral force signals during AFM for characterising the piezoelectric and triboelectric effects of ZnO nanorods, *Sci. Rep.*, 11, 2904.
- Yu, J. Li, C. and Liu, S. (2008). Effect of PSS on morphology and optical properties of ZnO, *Journal of Colloid and Interface Science*, 326(2), 433-438.



# Tek Kanallı Akciğer Seslerinde Süzgeç Tipi Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Solunum Patolojisinin Teşhisi

M. Alptekin Engin<sup>1\*</sup>, Latif Akçay<sup>2</sup>, Selim Aras<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bayburt, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3399-9343), [maengin@bayburt.edu.tr](mailto:maengin@bayburt.edu.tr)

<sup>2</sup> Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bayburt, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2580-2643), [lakcay@bayburt.edu.tr](mailto:lakcay@bayburt.edu.tr)

<sup>3</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1231-5782), [selim.aras@omu.edu.tr](mailto:selim.aras@omu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082560)

**ATIF/REFERENCE:** Engin, M. A., Akçay, L., Aras, S. (2022). Diagnosing Respiratory Pathology Using Filter-Type Feature Selection Methods in Single-Channel Lung Sounds. *European Journal of Science and Technology*, (34), 374-380.

## Öz

Yapılan çalışmada, tek kanallı yaygın akciğer sesleri kullanılarak patolojik ve sağlıklı denekler üzerinde detaylı bir öznelik analizi gerçekleştirilmiştir. 94 kişiden elde edilen normal, ronküs, ince ral ve kaba ral seslerine ait 594 adet solunum döngüsünün otomatik tespiti ile elde edilen veri tabanı kullanılmıştır. Daha sonra, sıfır geçiş oranı, enerji, enerjinin entropisi, spektral merkezilik, bir çerçevenin yayılımı, spektral entropi, spektral akı, spektral devrilme, Mel-frekans cepstral katsayıları, harmonik oran, pencerenin temel frekansı ve renk vektörü öznelik çıkarma yöntemleri veri tabanına uygulanmıştır. Sonsuz gizli öznelik seçimi, sonsuz öznelik seçimi, özvektör merkeziliği, minimum artıklık, maksimum ilgililik, relief, karşılıklı bilgi, laplace skoru, çoklu küme, fisher, denetimsiz ayırmacı, yerel öğrenmeye dayalı kümeleme, korelasyona dayalı öznelik seçim yöntemleri eğitim aşamasında kullanılmıştır. Sınıflandırma için destek vektör makinesi, k en yakın komşu, naive bayes ve karar ağaçları algoritmaları kullanılmıştır. Sonuç olarak, öznelik sayısı sınırlı olmadığı durumda, k en yakın komşuluk sınıflandırıcısı ve çoklu küme öznelik seçim yöntemi kullanılarak %97,5 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Öznelik sayısı 3 ile sınırlandırıldığında ise k en yakın komşu sınıflandırıcısı ve özvektör merkeziliği veya sonsuz öznelik seçimi yöntemleri kullanılarak %91,6 sınıflandırma doğruluğu elde edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer sesleri, Solunum Döngüsü, Sınıflandırma, Öznelik Çıkarımı, Öznelik Seçimi.

## Diagnosing Respiratory Pathology Using Filter-Type Feature Selection Methods in Single-Channel Lung Sounds

### Abstract

In this study, detailed feature analysis was performed on the pathological and healthy subjects via single-channel common lung sounds. The database obtained from the automatic detection of 594 respiratory cycles of normal, rhonchi, fine crackle, and coarse crackle sounds obtained from 94 people was used. Then, zero-crossing rate, energy, the entropy of energy, spectral centroid, the spread of a frame, spectral entropy, spectral flux, spectral roll-off, Mel-frequency cepstral coefficients, harmonic ratio, the fundamental frequency of a window, and chroma vector feature extraction methods have been applied to the database. Infinite latent feature selection, infinite feature selection, eigenvector centrality, minimum redundancy maximum relevance, relief, mutual information, laplacian score, multi-cluster, fisher, unsupervised discriminative, local learning-based clustering, correlation-based feature selection methods are used in the training phase. Support vector machine, k nearest neighbors, naive bayes, and decision trees algorithms were used for classification. As a result, 97.5% classification accuracy was achieved by using the k nearest neighbor classifier and the multi-cluster feature selection method when the number of features is not limited. When the number of features is limited to 3, 91.6% classification accuracy is achieved by using the k nearest neighbor classifier and the eigenvector centrality or infinite feature selection methods.

**Keywords:** Lung Sounds, Respiratory Cycle, Classification, Feature Extraction, Feature Selection.

\* Corresponding Author: [maengin@bayburt.edu.tr](mailto:maengin@bayburt.edu.tr)



## 1. Giriş

Teknolojik gelişmeler, hastalık teşhisinde gün geçtikçe kullanımı kolay ve yüksek doğrulukta yöntemlerin geliştirilmesine ön ayak olmaktadır. Özellikle sinyal işleme alanındaki gelişmeler ile birçok hastalık erken dönemde teşhis edilebilmekte bu sayede tedavi ve iyileşme süresi de kısalmaktadır. Akciğer seslerini dinleyerek akciğer rahatsızlıklarının tespiti de bu yöntemlerden biridir. Akciğer seslerinin vücudun belirli bölgelerinden dinlenmesi işlemine oksültasyon adı verilir. Oksültasyon kadar kolay, hızlı ve girişimsel olmayan (noninvaziv) başka bir tanı kaynağı bulunmamaktadır (Emeksiz vd., 2018). Akciğer seslerinin dinlenilmesi ile hastalık teşhisi ilk uygarlıklardan bu yana hekimin kulağını hastanın göğsüne dayaması ile uygulanan bir yöntem olmasına rağmen 1816'da Fransız bir doktor olan Laennec'in stetoskopu keşfi ile boyut değiştirmiştir (Lehrer, 2018). Günümüze kadar çok az değişime uğrayan stetoskop doktorun damgası olarak isimlendirilmektedir (Bohadana vd., 2014). Fakat akciğer seslerinden hastalık teşhisinde doktorun iyi bir işitme yeteneğine sahip olması, iyi eğitilmiş olması ve yeterli tecrübeye sahip olması gerekmektedir. Tıp fakültesini yeni bitiren doktorların bu konuda yetersiz deneyime sahip olmalarından dolayı zorlandıkları bilinmektedir (Aras vd., 2018). Ancak elektronik stetoskopların kullanılması akciğer seslerinin sınıflandırılmasında dijital ortamdan faydalanılmasına imkân sağlamıştır. Elektronik stetoskoplar, akciğer seslerinden hastalık teşhisinde standart bir karar verme mekanizmasına, depolayıp tekrar dinlemeye ve gürültü bileşenlerini süzmeye olanak sağlamaktadır.

Literatürde akciğer sesleri üzerine yapılan çalışmalar, ses sinyallerinin kaydedilmesinde tek kanallı veya çok kanallı kayıt yöntemlerinin uygulanmasına dayanmaktadır. Çok kanallı kayıt yöntemleri akciğer sesleri hakkında daha fazla veri barındırmasına rağmen çoklu mikrofonların hastanın vücuduna yerleştirilmesi oldukça karmaşık ve zor bir eylemdir. Hastaların kilolu ve kılı olmaları durumunda bu işlem oldukça fazla zaman almaktadır. Bu yüzden yapılan çalışmada, tek kanal kayıt yöntemi sonucunda elde edilen akciğer sesleri kullanılmıştır. Çok kanallı akciğer sesleri üzerine yapılan mevcut bir çalışmada 21 adet patolojik ve 27 adet sağlıklı deneklerin solunum sesleri frekans spektrumu ve autoregressive (AR) model parametreleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu çalışmada 14 kanallı solunum sesi verileri inspirasyon ve ekspirasyon için ayrı ayrı oluşturulmuştur. K en yakın komşuluk (k-NN) sınıflandırma yöntemini kullanan bu çalışmada sırası ile %77.8 ve %68.9 sınıflandırma başarımına ulaşılmıştır (Yılmaz vd., 2006). Diğer bir çalışma ise 5 farklı akciğer sesi üzerine 120 kayıttan oluşan bir veri tabanı üzerinde gerçekleştirilmiştir (Palaniappan vd., 2016). Bu çalışmada da AR Katsayıları ve Mel Frekans Cepstral Katsayıları (MFCC) öznelikleri ayırt edilmiş solunum döngülerinden elde edilerek kullanılmıştır. Destek vektör makineleri (DVM) sınıflandırıcısı kullanılan bu çalışmada AR katsayılarının kullanılması ile %88.72, MFCC katsayılarının kullanılması ile %89.68 sınıflandırma başarımına ulaşılmıştır. Akciğer seslerinden öznelik çıkarımı üzerine hızlı fourier dönüşümü (Göğüş vd., 2016), dalgacık dönüşümü (Koeipensri vd., 2016), Doğrusal Öngörülül Kodlama (Sankur vd., 1994) gibi farklı yöntemleri kullanan çalışmalar da mevcuttur.

Literatürdeki akciğer sesleri üzerine yapılan mevcut birçok çalışmanın içerisinde bu çalışmada tamamen otomatik bir sınıflandırma yöntemi amaçlanmıştır. Ayrıca literatürdeki var olan mevcut çalışmalar incelendiğinde detaylı bir öznelik

araştırmasının yapıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Tek kanal kayıt yöntemi ile elde edilen akciğer seslerinin, çok kanallı kayıt yöntemi ile elde edilen akciğer seslerinden daha az veriye sahip olması nedeniyle yüksek sınıflandırma başarımı değerlerine ulaşabilmek oldukça zordur. Yapılan çalışmada bu zorluğun üstesinden gelebilmek için detaylı bir öznelik araştırılmasına gidilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada kaydedilen akciğer seslerine ait solunum döngülerinin otomatik olarak tespitini sağlayan yöntem ile veri tabanı oluşturulmuştur. Bu sayede seslerin elde edilmesinden sınıflandırılmasına yani hastalığın teşhisine kadar tam otomatik bir sistemin tasarımı mümkün olmaktadır.

Çalışmanın geri kalan bölümleri: 2. Bölümde materyal ve metot, 3. Bölümde araştırma sonuçları, 4. Bölümde sonuçlar ve tartışmalar şeklinde organize edilmiştir. Materyal ve metot bölümü, hem çalışmanın çerçevesi hem de veri seti hakkında bilgi sağlamaktadır. Bulgular bölümünde, çalışma veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç ve tartışma bölümünde, çalışmanın ana hatları doğrultusunda diğer çalışmalara göre farklılıkları ve performansı yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmanın blok şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Veri tabanı oluşturmak için 94 farklı kişiden elde edilen tek kanal akciğer seslerine ait solunum döngüleri otomatik olarak tespit edilmiştir. Elde edilen 150 adet sağlıklı, 444 adet patolojik solunum döngüsü veri tabanı olarak kullanılmıştır. Daha sonra zaman ve frekans bölgesinde yaygın olarak kullanılan 12 farklı öznelik çıkarım yöntemi uygulanmasıyla 35 birim uzunluğunda öznelik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen bu özneliklere 12 adet filtre tipi öznelik seçim yöntemi kullanılarak 4 farklı sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 1. Sistemin blok şeması

### 2.1. Veri Tabanı

Veri tabanı sınıflandırma işleminde en önemli materyallerden biridir. Gurung, akciğer seslerinin sınıflandırılmasında standart bir veri tabanının bulunmamasının ticari bir aygıt geliştirmekteki en önemli eksiklik olduğunu vurgulamıştır (Gurung vd., 2011). Yapılan çalışmada kullanılan akciğer sesleri, ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışma ile elde edilmiştir. Bu veri tabanının oluşturulmasında standartlar önceden belirlenmiş ve Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Etik Kurulu'ndan çalışma için izin belgesi alınmıştır. Veri toplama aşamasında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları bölümünde bulunan iki uzman hekim vasıtasıyla tüm ses kayıtları alınmış ve elde edilen kayıtların etiketleri belirlenmiştir. Kayıtları elde edilmesinde tek kanallı, analog çıkışlı ve akciğer ses frekans aralığına (20-2000 Hz.) uygun olan diyafram seçeneğinde bir elektronik stetoskop (Thinklabs ds32a +) kullanılmıştır. Kayıtlar birden fazla solunum döngüsü içerdiği için nefes alış ve veriş evresini içeren bir solunum döngüsünün otomatik olarak tespiti için (Aras vd., 2018)'de belirtilen yöntem kullanılmıştır. Bu şekilde 94 farklı denekten elde edilen 150 adet sağlıklı, 444 adet

patolojik solunum döngüsü veri tabanı olarak kullanılmıştır. Kullanılan veri tabanının detayları Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Kaydedilen akciğer seslerinden otomatik olarak belirlenen solunum döngüleri

Ses Tipi	Denek Sayısı	Solunum Döngü Sayısı
Normal	30	150
Ronküs	23	150
İnce Ral	20	148
Kaba Ral	21	146
Toplam	94	594

## 2.2. Özniteliklerin Elde Edilmesi

Yapılan çalışmada, sıfır geçiş oranı (zero crossing rate-ZCR) Denklem 1’de, enerji (energy) Denklem 2’de, enerji entropisi (entropy of energy) Denklem 3’de, spektral merkezi (spectral centroid) Denklem 4’de, bir çerçevenin yayılımı (spread of a frame) Denklem 5’de, spektral entropi (spectral entropy) Denklem 6’da, spektral akı (spectral flux) Denklem 7’de, spektral devrilme (spectral rolloff) Denklem 8’de belirtilmek üzere öznitelik çıkarma yöntemleri kullanılmıştır. Özniteliklerin elde edilmesinde kullanılan formüller Tablo 2’de gösterilmiştir. Ayrıca bu özniteliklere ek olarak, MFCC, harmonik oran (harmonic ratio), pencerenin temel frekansı (Fundamental frequency of a window) ve renk vektörü (chroma vector) öznitelikleri de kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan öznitelik çıkarım yöntemleri ve formülleri

Yöntem	Öznitelik	Formül
Sıfır geçiş oranı	$f_1$	$\frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N  sgn[x_i(n)] - sgn[x_i(n-1)] $ (1)
Enerji	$f_2$	$E(i) = \sum_{n=1}^N [x_i(n)]^2$ (2)
Enerji entropisi	$f_3$	$H_i = - \sum_{j=1}^M e_j \cdot \log_2(e_j)$ (3)
Spektral merkezi	$f_4$	$C_i = \frac{\sum_{k=1}^{N/2} k X_i(k)}{\sum_{k=1}^{N/2} X_i(k)}$ (4)
Bir çerçevenin yayılımı	$f_5$	$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N/2} (k - C_i)^2 X_i(k)}{\sum_{k=1}^{N/2} X_i(k)}}$ (5)
Spektral entropi	$f_6$	$H = - \sum_{f=0}^{L-1} n_f \cdot \log_2(n_f)$ (6)
Spektral akı	$f_7$	$SF_{(i,i-1)} = \sum_{k=1}^{\frac{N}{2}} (X_i(k) - X_{i-1}(k))^2$ (7)
Spektral devrilme	$f_8$	$\sum_{k=1}^m X_i(k) = 0.85 \sum_{k=1}^{N/2} X_i(k)$ (8)

MFCC insan işitme sistemini modelleyerek kullanan bir yöntemdir. Yapılan çalışmada MFCC yöntemi, solunum

döngülerindeki dengeli akustik özelliklere sahip olduğu düşünülen kısa çerçeveler üzerinde kullanılmıştır. Bu yöntemde Önce FFT uygulanarak frekans bölgesine geçilir daha sonra güç spektrumu bulunur. Bu güç spektrumu, 20 üçgen filtreden oluşan bir Mel filtre bankasından geçirilir. Daha sonra duyarlılığı azaltmak için logaritma hesaplanır ve son aşamada ayırık kosinüs dönüşümü (DCT) uygulanarak MFCC katsayıları hesaplanır. Yapılan çalışmada MFCC yöntemi kullanılarak 13 adet katsayı elde edilmiş ve bu katsayılar öznitelik olarak kullanılmıştır ( $f_9 \dots f_{21}$ ). Harmonik oran ve pencerenin temel frekans değerleri (Kim vd., 2007)’de belirtilen yöntem ile hesaplanmıştır ( $f_{22}, f_{23}$ ). Armoni ile yakından ilişkili olan renk tabanlı ses özellikleri, müzik verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesinde yaygın kullanım alanına sahip bir öznitelik çıkarım yöntemidir. Yapılan çalışmada 12 adet öznitelik (Bartsch vd., 2005)’de belirtilen renk vektörü yöntemi ile elde edilmiştir ( $f_{24} \dots f_{35}$ ). Sonuç olarak hesaplanan tüm öznitelikler Denklem 9 da gösterilmektedir.

$$F = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_{35}) \quad (9)$$

## 2.3. Özniteliklerin Seçimi

Elde edilen özniteliklerin ilgili sınıfın ayırt edici özelliklerini tanımlayabilmesi ve özgün yani birbirleri cinsinden ifade edilmemeleri, sınıflandırma sürecinin en önemli gereksinimlerindedir. Bu bakımdan öznitelik seçimi, veri setinden elde edilen en uygun özniteliklerin belirlenmesi işlemidir (Forman, 2003).

Öznitelik seçiminin avantajları (Ladha vd., 2011) şu şekilde belirtilmektedir;

- Öznitelik vektör boyutunu düşürerek depolama alanını azaltır.
- Gereksiz ve gürültülü verileri kaldırarak veri kalitesini yükselir.
- Veri toplama ve kullanımında kaynak tasarrufu sağlar,
- Veri kümesinin daha basit şekilde görselleştirilmesini sağlayarak anlaşılabilirliği artırır.
- Veri analizinde öğrenme algoritmalarının çalışma süresini kısaltır.
- Sonuç modelinde doğruluk değerini yükseltir.

Öznitelik seçim yöntemleri süzgeç, sarıcı ve gömülü yöntemler olmak üzere üç farklı sınıfta incelenmektedir (Guyon vd., 2006). Gömülü yöntemlerde öznitelik seçim süreci ile sınıflandırıcının öğrenme yöntemi eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Sarıcı yöntemlerde ise belirli öznitelik alt kümelerinin sınıflandırmadaki doğrulukları hesaplanarak en uygun alt kümenin tespiti gerçekleştirilmektedir. Süzgeç yöntemlerinde ise sınıflandırıcı göz ardı edilerek özniteliklerin iç özellikleri analiz edilir (Şekil 2). Süzgeç tipi yöntemler daha az karmaşık ve hızlı çalışmalarından dolayı büyük veri setlerinin analizinde daha çok tercih edilmektedir (Guyon vd., 2003). Ayrıca öznitelik seçim yöntemleri denetimli ve denetimsiz olarak iki grupta da incelenebilmektedir. Denetimli öznitelik seçim yöntemlerinde ilgili sınıfa ait etiket değerleri kullanılmaktadır. Denetimli öznitelik seçim yöntemlerindeki temel hipotez, iyi bir öznitelik alt kümesinin, ilgili sınıfla yüksek oranda ilişkili (öngörülebilir) ancak birbirleri ile ilişkisiz (öngörülemez) özellikleri barındıran bir küme olmasıdır (Gennari vd.,1989) Denetimsiz öznitelik seçim yöntemlerinde ilgili sınıflara ait etiket

değerleri verilmez. Denetimsiz öznelik seçim yöntemleri, ilgili özneliklerin de aynı zamanda tespiti gerektiğinden oldukça zor bir problemdir.

Yapılan çalışmada filtre tipi öznelik seçim algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan teknikler Tablo 3’de gösterilmektedir. Bu tekniklerden Relief-F (Liu vd., 2007), özneliklerin kalitesini, değerleri birbirine yakın olan veri örneklerini ne kadar iyi ayırt ettiğine göre tahmin eden iteratif, rastgele ve denetimli bir yaklaşımdır. Bu yöntem gereksiz özellikler arasında ayırım yapmaz ve az sayıda veri kullanımı durumunda düşük performans gösterir. Etkili ve hızlı bir süzgeç yöntemi olan Fisher (Gu vd., 2012) yönteminde, bir özelliğin puanı sınıflar arası ayırım ve sınıf içi varyansın oranı olarak hesaplanır. Burada öznelikler bağımsız olarak sıralama ile değerlendirilir.



Şekil 2. Süzgeç tipi öznelik seçim yöntemlerinin genel blok şeması

Tablo 3. Kullanılan öznelik seçim yöntemleri

Sıra No	Yöntem	Tipi
1	ILFS	Denetimli
2	Inf-FS	Denetimsiz
3	EC-FS	Denetimli
4	mRMR	Denetimli
5	Relief-F	Denetimli
6	MI	Denetimli
7	LS	Denetimsiz
8	MCFS	Denetimsiz
9	Fisher	Denetimli
10	UDFS	Denetimsiz
11	LLCFS	Denetimsiz
12	CFS	Denetimsiz

Yaygın kullanım alanına sahip karşılıklı bilgiye dayanan MI (Mutual Information) (Zaffalon vd., 2002) yönteminde, belirli bir öznelik değerinin dağılımı ile belirli bir sınıfa üyelik arasındaki karşılıklı bilgi bir seçim kriteri olarak kabul edilir. Özneliklerin seçimi bu kriter ile sıralanmaları ile gerçekleştirilir. Sonsuz Gizli Özellik Seçimi (Infinite Latent Feature Selection, ILFS) (Roffo vd., 2016), birleşimsel problemi atlayarak tüm olası öznelik alt kümelerini göz önünde bulundurarak sıralama adımını gerçekleştiren, olasılık tabanlı bir öznelik seçim yaklaşımıdır. Bu yöntemin en karakteristik özelliği, kaynağını olasılıksal gizli semantik analizden (Probabilistic Latent Semantic Analysis, PLSA) alan bir süreç kullanarak ilgili öznelikleri modelleme hedefidir. Özvektör Merkeziliği (Eigenvector Centrality EC-FS) yoluyla öznelik seçimi (Roffo vd., 2016), özneliklerin düğümler olarak gösterildiği bir yakınlık grafiği üzerinde haritalayan bir yöntemdir. Bu yöntemde özneliklerin sırası, özvektör merkeziliği göstergeleri aracılığıyla düğümlerin önemi değerlendirilerek verilir. Denetimsiz öğrenme yöntemlerinden biri olan Sonsuz Öznelik Seçiminde (Infinite Feature Selection, Inf-FS) (Roffo vd., 2015), her bir öznelik grafik üzerinde bir düğüm olarak temsil edilmektedir. Bu yöntemde olası tüm öznelik alt kümeleri grafikte yollar olarak hesaba katılarak her özneliğe bir

önem puanı verilir. En büyük veya en farklı değerdeki merkezilik puanı, en önemli özneliği belirtir. Bir başka denetimsiz yöntem ise bir özneliğin önemini yerellik koruma gücüyle değerlendiren Laplacian Skorudur (Laplacian Score, LS) (He vd., 2005). Bu yöntemde yerel bir geometrik yapıyı modellemek için en yakın komşuluk grafiği oluşturulur. Öznelik sıralaması bu grafiğin yapısına göre gerçekleştirilir. Korelasyon Tabanlı Özellik Seçimi (Correlation based Feature Selection, CFS) (Hall, 1999) yönteminde, özneliklerin arasındaki iç korelasyon değerleri dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım, en iyi öznelik alt kümesinin ilgili sınıf ile yüksek oranda ve bu alt kümeyi oluşturan özneliklerin birbirleri ile düşük oranda korelasyona sahip olması hipotezine dayanmaktadır. Minimum Artıklık Maksimum İlgililik (Min Redundancy Max Relevance, mRMR) (Ding vd., 1989), yönteminde ilgili sınıfla en ilgili öznelikler seçilmeye çalışılırken bu öznelikler arasındaki fazlalığı en aza indirmeye çalışılmaktadır. Denetimsiz Ayrımcı Öznelik Seçimi (Unsupervised Discriminative Feature Selection, UDFS) (Yang vd., 2011) yönteminde, diğer denetimsiz öznelik seçim algoritmalarından farklı olarak, toplu olarak tüm öznelik kümesinden en ayırt edici öznelik alt kümesi seçilmektedir. Bu yöntemde dağılım matrislerinde bulunan ayırt edici bilgileri ve özellik korelasyonlarını aynı anda kullanarak seçim işlemi gerçekleştirilir. Çoklu Küme Öznelik Seçimi (Multi-Cluster Feature Selection, MCFS) (Cai vd., 2010) yönteminde, ilk olarak farklı öznelikler arasındaki korelasyonu tespit edebilmek için spektral analiz uygulanır. Daha sonra Laplacian grafiğinin en üst özvektörleri kullanılarak özneliklerin önemini tespit edebilmek için L1-norm düzenlemesine sahip bir regresyon modeli kullanılır ve bir öznelik puanı hesaplanır. Yöntem bu şekilde en küçük kareler probleminin çözümü ile elde edilen katsayıların en yüksek mutlak değerlerine dayalı olarak öznelikleri seçer. Yerel Öğrenmeye Dayalı Kümeleme (Local Learning Based Clustering Feature Selection, LLCFS) (Zeng vd., 2011) yönteminde, her bir öznelik bir ağırlık ile ilişkilendirilir. Daha sonra her bir özneliğin uygunluğunu dikkate almak için yerel öğrenme tabanlı kümeleme algoritmasının yerleşik düzenlemesi kullanılır. Buna göre, kümeleme sürecindeki ağırlıklar iteratif olarak tahmin edilir. Bu yakınsamadan sonra çıktı, ayrıştırılmış bir küme gösterge matrisi ile birlikte elde edilir.

## 2.4. Kullanılan Sınıflandırma Yöntemleri

Yapılan çalışmada sınıflandırma işlemlerinde Karar Ağaçları (KA), Destek Vektör Makineleri (DVM), k En Yakın Komşuluk (k-NN) ve Naive Bayes (NB) sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. KA yöntemi sınıflandırma sürecinde oldukça yaygın olarak kullanılan güvenilirliği yüksek, düşük maliyetli, yorumu ve tatbiki kolay bir yöntemdir (Ozkaya vd., 2020). Bu yöntemde veri ilişkileri ağaç diyagramları şeklinde gösterilmektedir. Eğitim sürecinde önceden bilinen veriler analiz edilir ve sınıflandırma kuralları belirlenerek model oluşturulur. Test sürecinde ise kuralların doğrulukları tespit edilir. Doğruluğun kabul edilebilir düzeyde olması ile kurallar yeni verilerin sınıflandırılmasında kullanılır. Yapılan çalışmada Gini indeksinden yararlanan CART karar ağacı algoritması kullanılmıştır (Sezer vd., 2010). Bir diğer sınıflandırma yöntemi olan lineer DVM sınıflandırıcısında, ikili veri kümesinin doğrusal vektörlerle ayrılması söz konusudur. Ayrıca bu sınıflandırma yönteminde çekirdek fonksiyonları kullanarak sınıflandırma başarımının artırılması da mümkündür (Meltek vd., 2020). Yapılan çalışmada doğrusal destek vektör makineleri sınıflandırıcısı kullanılmıştır. K-NN sınıflandırma yöntemi ise, bir veriye en yakın komşuların sayısı belirlenerek verinin komşulara

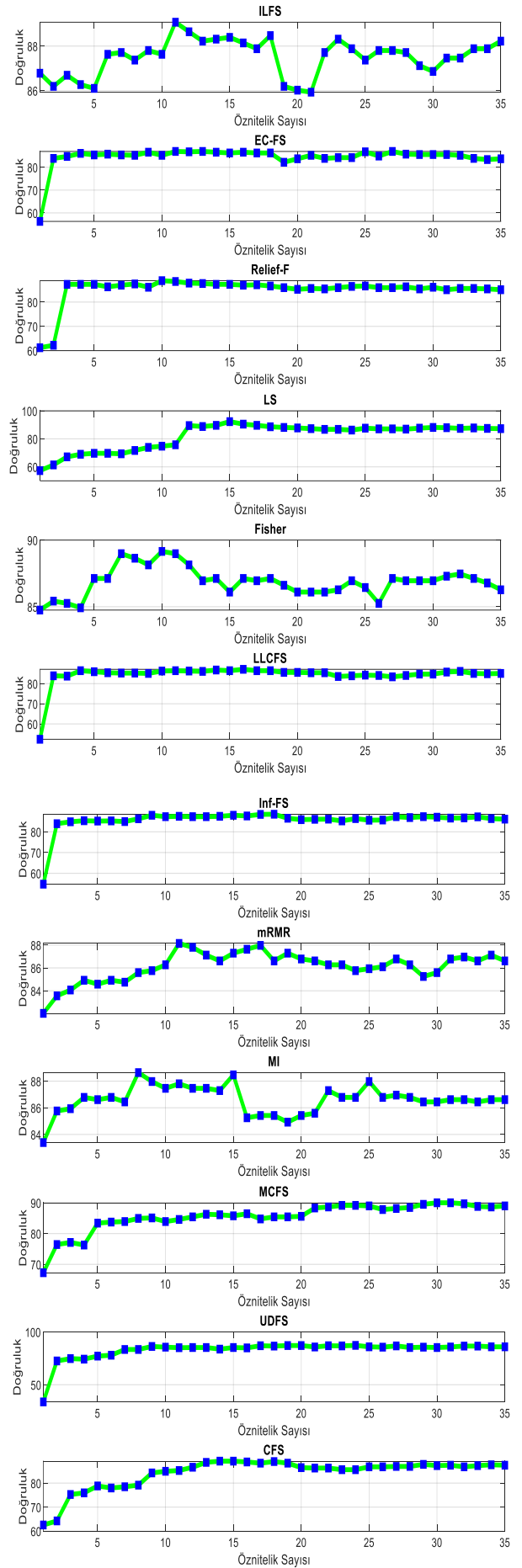
olan uzaklığı ile yeni verinin sınıfının belirlenmesine dayanır (Fix vd., 1951). Yapılan çalışmada komşuluk mesafeleri Öklid mesafesi kullanılarak hesaplanmış ve birinci dereceden en yakın komşuluklar incelenmiştir. Naive Bayes sınıflandırma yönteminde ise, aynı kıstasların sınıflandırma sonucuna olan etkilerinin olasılıksal olarak tespiti kullanılmaktadır (Berrar vd., 2018).

### 3. Araştırma Sonuçları

Yapılan çalışmada akciğer seslerinden otomatik olarak solumun döngülerinin tespit edilmesiyle oluşturulmuş veri tabanı kullanılarak 12 farklı öznelik çıkarım yöntemi ile öznelikler elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen veri tabanı %80 eğitim ve %20 test aşamasında kullanılmak üzere rastgele olacak şekilde ikiye bölünmüştür. Eğitim aşamasında, elde edilen öznelik vektörüne 12 adet süzgeç tipi öznelik seçim yöntemi uygulanmıştır. Bu öznelik seçim yöntemlerinin uygulanması ile öznelikler önem sırasına göre yeniden sıralanmıştır. Daha sonra bulunan bu öznelikler öznelik sayısına göre test aşamasında doğrusal destek vektör makineleri sınıflandırıcısı ile sınıflandırılarak doğruluk değerleri bulunmuştur (Şekil 3). Sınıflandırma işleminde normal akciğer sesleri 1, patojenik akciğer sesleri is -1 olarak etiketlenmiştir. Ayrıca eğitim aşamasında sınıflandırıcı doğruluğu 5 katlı çapraz doğrulama (cross validation) yöntemi ile ele alınmıştır. Bu yöntemde veri seti rastgele olacak şekilde beş adet kümeye bölünmektedir. Bu sayede eğitim verilerine karşı doğrulama verisinin performansı her yeni doğrulama kümesine karşı ölçülmektedir. Eğitim ve test veri kümeleri rastgele oluşturulduğundan her bir sınıflandırma işleminde farklı kümelerin seçilmesi için tüm bu işlemler on defa tekrarlanmış ve sonuçların doğruluk değerlerinin ortalaması hesaplanmıştır. Daha sonra doğruluk değerleri en yüksek olan öznelik sayıları her yöntem için tespit edilmiştir (Tablo 4). Ayrıca Tablo 4’de belirtilen öznelik seçim yöntemlerinin işlem sürelerinin yanında DVM sınıflandırıcısındaki en yüksek sınıflandırma başarımına sahip oldukları öznelikler farklı sınıflandırıcılarda da incelenmiştir. Bu sınıflandırma işleminde sınıflandırıcı doğruluğu yine 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi ile ele alınmıştır. Eğitim ve test veri kümeleri rastgele oluşturulduğundan diğer sınıflandırıcıların kullanıldığı işlemler de on defa tekrarlanmış ve her bir sınıflandırıcı için elde edilen doğruluk değerlerinin ortalaması verilmiştir.

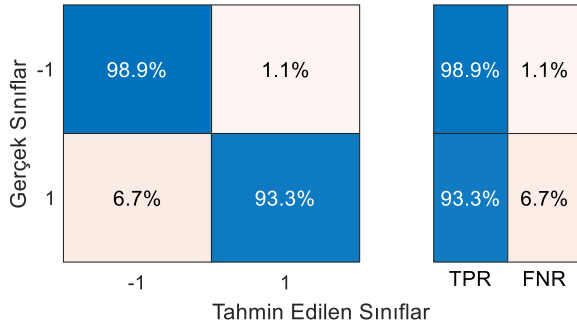
Tablo 4. Kullanılan öznelik seçim yöntemlerinin farklı sınıflandırıcılardaki başarımı

Yöntem	Süre (ms)	Öznelik Sayısı	DVM	KNN	NB	KA
ILFS	55,61	11	89,1	94,6	84,5	89,9
Inf-FS	15,25	18	88,5	92,4	83,0	89,4
EC-FS	101,67	11	87,0	94,6	84,0	89,9
mRMR	30,43	11	88,1	93,9	85,5	92,1
Relief-F	195,51	10	88,8	96,0	88,4	90,2
MI	33,79	8	88,6	93,4	85,0	89,6
LS	44,26	16	90,5	93,6	79,1	91,4
MCFS	113,56	30	90,0	97,5	86,0	89,2
Fisher	75,48	10	89,2	93,7	83,0	90,6
UDFS	63,68	24	87,3	97,0	85,9	90,4
LLCFS	850,18	16	87,1	93,6	78,7	90,8
CFS	11,16	14	89,2	95,6	87,4	90,6



Şekil 3. Öznelik seçim yöntemlerine göre kullanılan öznelik sayısının sınıflandırma başarımına etkisi

Tablo 4’de belirtilen başarıyı en yüksek sonuca ait hata matrisi (confusion matrix) Şekil 4’de gösterilmektedir. Hata matrisindeki normal akciğer sesleri 1 ile belirtilirken, patojenik akciğer sesleri -1 olarak gösterilmektedir.



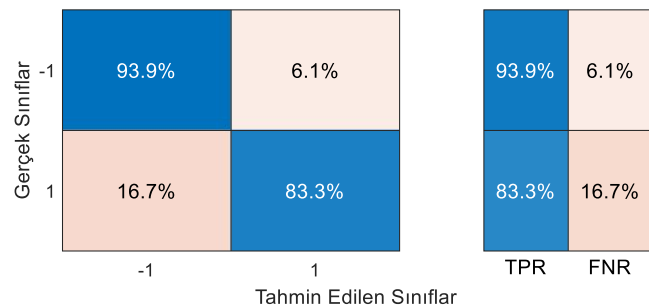
Şekil 4. öznelik sayısının sınırlanmadığı durumdaki en başarılı sonuca ait hata matrisi

Yapılan çalışmada incelenen bir diğer husus ise, her bir öznelik seçim yöntemi tarafından tespit edilen ilk üç özneliğe göre sınıflandırma başarılarının, farklı sınıflandırıcılarda incelenmesidir. (Tablo 5).

Tablo 5. Sınırlı özneliğin kullanılması ile elde edilen sınıflandırma başarıları

Yöntem	Öznelik Sayısı	DVM	K-NN	NB	KA
ILFS	3	86,7	90,1	88,6	89,4
Inf-FS	3	87,8	<b>91,6</b>	89,9	91,2
EC-FS	3	87,8	<b>91,6</b>	89,9	91,2
mRMR	3	84,5	90,6	87,6	89,4
Relief-F	3	87,3	88,6	89,2	90,6
MI	3	85,9	90,0	90,3	91,4
LS	3	71,1	72,2	73,8	76,0
MCFS	3	78,1	85,2	83,0	88,5
Fisher	3	85,3	90,4	88,6	91,2
UDFS	3	84,8	87,4	79,6	84,2
LLCFS	3	85,8	86,8	86,3	89,6
CFS	3	78,3	79,0	81,0	84,7

Tablo 5’de elde edilen sonuçlarda da çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Eğitim ve test veri kümeleri rastgele oluşturulduğundan tüm işlemler on defa tekrarlanmış ve ortalama değerler kullanılmıştır. Tablo 5’de belirtilen en başarılı iki yöntemde de aynı öznelikler tespit edilmiştir. Bu yöntemlere ait hata matrisi ise Şekil 5 de gösterilmektedir.



Şekil 5. öznelik sayısının sınırlanıldığı durumdaki en başarılı sonuca ait hata matrisi

## 4. Sonuçlar ve Tartışma

Geniş ölçekte öznelik incelemesi gerçekleştirilen bu çalışmada, tek kanal akciğer sesleri kullanılmıştır. Bu bakımdan zaman ve frekans bölgesinde olmak üzere 12 farklı öznelik çıkarım yöntemi ile elde edilen 35 tane özneliğe 12 adet farklı süzgeç tipi öznelik seçim yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlar süre bakımından incelendiğinde en hızlı çalışan seçim yönteminin 11,16 ms ile CFS yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntem, 14 adet özneliğin kullanılması durumunda k-NN sınıflandırıcısında %95,6 başarıya ulaşılmasını sağlamıştır. Buna karşılık en yavaş çalışan yöntem ise 850,18ms ile LLCFS yöntemidir. Bu yöntemde ise en yüksek başarı, 16 adet öznelik ile yine k-NN sınıflandırıcısı kullanılarak %93,6 değerindedir. Süreye ve öznelik sayısına bakılmaksızın en yüksek başarı, MCFS yöntemi ile sıralanmış 30 adet özneliğin k-NN sınıflandırıcısı kullanılması ile %97,5 değerinde elde edilmiştir. Başarımın yüksek olmasına rağmen 30 adet özneliğin kullanılması ve her özneliğin farklı bir yöntem ile elde edilmesi akciğer seslerinden hastalık tespit edilmesi üzerine tasarlanacak bir cihaz için çok uygun değildir. Bu bakımdan yapılan çalışmada öznelik sayısının 3 ile sınırlanması ile en yüksek başarıya sahip yöntemlerin araştırılmasına gidilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada EC-FS ve Inf-FS yöntemlerinden elde edilen ilk üç özneliğin aynı olduğu ve bu özneliklerin k-NN sınıflandırıcısı kullanılması ile %91,6 değerindeki başarıya ulaşılmasını sağladığı tespit edilmiştir. Fakat bu iki öznelik seçim yönteminin çalışma süreleri bakımından incelendiğinde EC-FS yönteminin 101,67 ms içerisinde, Inf-FS yönteminin ise, 15,25ms içerisinde öznelikleri seçtiği tespit edilmiştir. Bu yüzden Inf-FS yönteminin öznelik sayısının sınırlanıldığı durum için daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca genel olarak sınıflandırıcılar incelendiğinde k-NN yönteminin sonuçların çoğunda daha yüksek başarı gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın literatürdeki aynı konudaki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması ise Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 6. Sunulan yöntemin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

Çalışma	Veri Seti	Sınıflandırma Yöntemi	Doğruluk
(Yılmaz vd., 2006)	27 Normal 21 patolojik Çok Kanallı Akciğer Sesleri	Autoregressive (AR) Model KNN	Nefes Verme %77,8 Nefes Alma %68,9
(Şen vd., 2015)	20 Normal 20 patolojik Çok Kanallı Akciğer Sesleri	Autoregressive (AR) Model Gauss Karışım Modeli (GKM) DVM	%90,0
(Kim vd., 2021)	1222 Normal 696 patolojik Tek Kanal Akciğer Sesleri	Derin Öğrenmeye Dayalı Algoritma	%85,7
Sunulan	150 Normal 444 patolojik Tek Kanal Akciğer Sesleri	MCFS KNN	%97,5
Sunulan	150 Normal 444 patolojik Tek Kanal Akciğer Sesleri	Inf-FS KNN	%91,6

Tablo 6’da gösterildiği üzere tek kanal kayıt yöntemi kullanılarak elde edilen akciğer seslerinin sınıflandırılmasında uygun öznelik seçim yöntemlerinin kullanılması ile çok kanallı

kayıt yöntemleri ile elde edilen akciğer seslerinin sınıflandırılmasında elde edilen sınıflandırma başarımlarının değerlerine ulaşılabileceği görülmektedir. Ayrıca sunulan yöntemlerin, karşılaştırılan çalışmalara göre daha yüksek başarımla sahip olduğu görülmektedir. Sunulan yöntemin tamamen otomatik olması ve akciğer seslerine ait solunum döngülerinin teker teker tespit edilmesi gibi avantajlarının bulunması ilgili alanda tasarlanacak bir cihaz için umut vadetmektedir.

## Kaynakça

- Aras, S., Öztürk, M., & Gangal, A. (2018). Automatic detection of the respiratory cycle from recorded, single-channel sounds from lungs, " *Turk. Turk. J. Of Electr. Eng. Comput. SCI*, 26, 11–22.
- Bartsch, M. A., & Wakefield, G. H. (2005). Audio thumbnailing of popular music using chroma based representations. *IEEE Transactions on Multimedia*, 7, 96–104.
- Berrar, D. (2018). *Bayes' theorem and naive Bayes classifier. Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publisher.
- Bohadana, A., Izbicki, G., & Kraman, S. S. (2014). Fundamentals of lung auscultation, " *N. N. Engl. J. Med.*, 370(21).
- Cai, D., Zhang, C., & He, X. (2010). Unsupervised feature selection for multi-cluster data. *Proceedings of the 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - KDD '10*. New York, USA: ACM Press.
- Ding, C., & Peng, H. C. (1989). Minimum Redundancy Feature Selection from Microarray Gene Expression Data. In *Proc. Second IEEE Computational Systems Bioinformatics Conf* (pp. 523–528). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Emeksiz, Z., & Bostancı, İ. (2018). Güncel Pediatri, c. 16, s. 3, ss. *Akciğer: Sesimi Duyan Var Mı?*, 79–84.
- Fix, E., & Hodges, J. L. (1951). Discriminatory analysis, nonparametric discrimination: consistency properties. *USAF School of Aviation Medicine*, 4.
- Forman, G. (2003). An Extensive Empirical Study of Feature Selection Metrics for Text Classification. *Journal of Machine Learning Research*, 3, 1289–1305.
- Gennari, J. H., Langley, P., & Fisher, D. (1989). Models of incremental concept formation, " *Artif. Artif. Intell.*, 40(1–3), 11–61.
- Göğüş, F. Z., Karlık, B., & Harman, G. (2016). Identification of pulmonary disorders by using different spectral analysis methods. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(4), 595. doi:10.1080/18756891.2016.1204110
- Gu, Q., Li, Z., & Han, J. (2012). Generalized Fisher score for feature selection. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1202.3725>
- Gurung, A., Scrafford, C. G., Tielsch, J. M., Levine, O. S., & Checkley, W. (2011). Computerized lung sound analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds: a systematic review and meta-analysis. *Respiratory Medicine*, 105(9), 1396–1403. doi:10.1016/j.rmed.2011.05.007
- Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An Introduction to Variable and Feature Selection. *JMLR*, 3, 1157–1182.
- Guyon, I., Gunn, S., Nikravesh, M., & Zadeh, L. A. (2006). *Feature Extraction: Foundations and Applications*. Berlin, Germany: Springer.
- Hall, M. A. (1999). *Correlation-based Feature Selection for Machine Learning*. Hamilton.
- Kim, H. G., Moreau, N., & Sikora, T. (2007). *MPEG-7 audio and beyond: Audio content indexing and retrieval*. Nashville, TN: John Wiley & Sons.
- Kim, Y., Hyon, Y., & Jung, S. S. (2021). Respiratory sound classification for crackles, wheezes, and rhonchi in the clinical field using deep learning". *Sci Rep*, 11.
- Koeipensri, T., Boonchoo, P., & Sueaseenak, D. (2016). The development of biosignal processing system (BPS-SWU V1. 0) for learning and research in biomedical engineering. In *9th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*, Laung Prabang (pp. 1–4). Laos.
- Ladha, L., & Deepa, T. (2011). Feature Selection Methods And Algorithms. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(5), 1787–1797.
- Lehrer, S. (2018). *Understanding lung sounds: Third edition*. North Charleston, SC: Createspace Independent Publishing Platform.
- Liu, H., & Motoda, H. (2007). *Computational methods of feature selection*. London, England: CRC Press.
- Metlek, S., & Kayaalp, K. (2020). *Makine Öğrenmesinde Teoriden Örnek Matlab Uygulamalarına Kadar Destek Vektör Makineleri*. Ankara, Türkiye: İktisad Yayınları.
- Özkaya, U., Öztürk, Ş., & Barstugan, M. (2020). *Coronavirus (COVID-19) classification using deep features fusion and ranking technique*. In *Big Data Analytics and Artificial Intelligence Against COVID-19: Innovation Vision and Approach* (pp. 281-295). Springer, Cham.
- Palaniappan, R., Sundaraj, K., & Lam, C. K. (2016). Reliable system for respiratory pathology classification from breath sound signals. *2016 International Conference on System Reliability and Science (ICSRS)*. IEEE.
- Roffo, G., & Melzi, S. (2016). Features selection via eigenvector centrality. In *Proceedings of New Frontiers in Mining Complex Patterns*.
- Roffo, Giorgio, Melzi, S., Castellani, U., & Vinciarelli, A. (2017). Infinite latent feature selection: A probabilistic latent graph-based ranking approach. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. IEEE.
- Roffo, Giorgio, Melzi, S., Castellani, U., Vinciarelli, A., & Cristani, M. (2021). Infinite Feature Selection: A graph-based feature filtering approach. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(12), 4396–4410. doi:10.1109/TPAMI.2020.3002843
- Sankur, B., Kahya, Y. P., Çağatay Güler, E., & Engin, T. (1994). Comparison of AR-based algorithms for respiratory sounds classification. *Computers in Biology and Medicine*, 24(1), 67–76. doi:10.1016/0010-4825(94)90038-8
- Şen, I., Saraclar, M., & Kahya, Y. P. (2015). A Comparison of DVM and GMM-Based Classifier Configurations for Diagnostic Classification of Pulmonary Sounds". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(7), 1768–1776.
- Sezer, E. A., Bozkır, A. S., Yağız, S., & Gökçeoğlu, C. (2010). Karar ağacı derinliğinin CART algoritmasında kestirim kapasitesine etkisi: bir tünel açma makinesinin ilerleme hızı üzerinde uygulama. *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu*.
- Yang, X.-K., He, L., Qu, D., Zhang, W.-Q., & Johnson, M. T. (2016). Semi-supervised feature selection for audio classification based on constraint compensated Laplacian score. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2016(1). doi:10.1186/s13636-016-0086-9
- Yang, Y., Shen, H. T., Ma, Z., & Et, A. (2011). L2,1-norm regularized discriminative feature selection for unsupervised learning. In *Conf. International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 1589–1594).
- Yilmaz, C. A., & Kahya, Y. P. (2006). Multi-channel classification of respiratory sounds". In *28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 2864–2867). New York, USA.
- Zaffalon, M., & Hutter, M. (2002). Robust feature selection using distributions of mutual information. In *Proceedings of the 18th International Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-2002)* (pp. 577–584). San Francisco, CA.
- Zeng, H., & Cheung, Y.-M. (2011). Feature selection and kernel learning for Local Learning-Based Clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33(8), 1532–1547. doi:10.1109/TPAMI.2010.215



## Baca Gazı Destekli Organik Rankine Çevrimi için Taguchi Analizi

Burak Türkan\*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Makine Bölümü, Gemlik, 16600, Bursa/TÜRKİYE (ORCID No: 0000-0002-4019-7835)  
[burakt@uludag.edu.tr](mailto:burakt@uludag.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082626)

**ATIF/REFERENCE:** Turkan, B. (2022). Baca Gazı Destekli Organik Rankine Çevrimi için Taguchi Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 381-386.

### Öz

Atık ısı geri kazanımının önemli bir rol oynadığı gelecekteki enerji talebi ve çevre kirliliği sorunlarının hesaplanmasında verimlilik çoğu zaman birincil faktördür. Organik Rankine çevrimi (ORC), düşük ile orta dereceli atık ısı kaynakları için teknik uyumluluk, fizibilite ve güvenilirlik nedeniyle araştırmacıların ve/veya üreticinin yaygın ilgisini çekmeye devam etmektedir. Bu makale, enerji ve ekserji kavramlarına dayalı olarak baca gazı destekli organik Rankine çevrimleri üzerine optimizasyon analizi sunmaktadır. Bu çalışmada, termal enerjiyi elektrik ve/veya mekanik enerjiye dönüştürmek için iki türbinli çevrim kullanılarak Taguchi metodu ile optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon çalışması için parametreler, türbin giriş basıncı  $P_1$ , çevrim ara basıncı  $P_2$  ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı PC3 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ORC çevriminin birinci ve ikinci kanun verimleri üzerinde en etkili parametrenin türbin giriş basıncı (1. kanun için %70.23, 2. kanun için %72.38) olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik rankine çevrimi, Taguchi, Optimizasyon, Ekserji.

## Taguchi Analysis for Flue Gas Assisted Organic Rankine Cycle

### Abstract

Efficiency is often the primary factor in calculating future energy demand and environmental pollution problems, where waste heat recovery plays an important role. The organic Rankine cycle (ORC) continues to attract widespread attention from researchers and/or manufacturers due to its technical compatibility, feasibility and reliability for low to moderate waste heat sources. This article presents optimization analysis on flue gas assisted organic Rankine cycles based on energy and exergy concepts. In this study, an optimization study was carried out with the Taguchi method using two turbine cycles to convert thermal energy into electrical and/or mechanical energy. The parameters for the optimization study were selected as turbine inlet pressure  $P_1$ , cycle intermediate pressure  $P_2$  and fluid ratio PC3 transferred from the turbine to the heat exchanger at intermediate pressure. According to the results obtained, it has been determined that the most effective parameter on the first and second law efficiencies of the ORC cycle is the turbine inlet pressure (70.23% for the 1st law, 72.38% for the 2nd law).

**Keywords:** Organic rankine cycle, Taguchi, Optimization, Exergy.

\* Sorumlu Yazar: [burakt@uludag.edu.tr](mailto:burakt@uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüz dünyasında mühendislerin karşılaştığı zorluklardan biri, düşük başlangıç sermaye yatırımı ile uygun maliyetli ve aynı zamanda düşük işletme maliyetine sahip, çevre koruma konusundaki hükümet gereksinimlerini karşılayan bir sistem tasarlamaktır. Enerji talepleri artarken, doğal kaynaklarımız azalıyor ve her geçen gün kaynaklarımızı daha verimli kullanmak giderek daha önemli hale geliyor (Pulat vd., 2009).

Tarih boyunca enerji arzı her zaman insan yaşamının ihtiyaçlarından biri olmuştur. Günümüzde küresel talebi artarak devam eden enerji arzının birincil kaynaklarından biri elektriktir (Alirahmi vd., 2021). Yenilenebilir enerji, fosil ve yenilenemeyen kaynakları tüketmeden modern yaşamı hareket ettirmek için sonsuz bir enerji kaynağı vaat ediyor. Çevre kirliliği ve iklim değişikliği, fosil yakıt kullanmanın yüksek ekonomik maliyetleri göz önüne alındığında, araştırmacılar bunları yenilenebilir enerji ile değiştirmeyi düşünüyorlar (Soltani, 2020).

Organik Rankine çevrimi, düşük kaynama sıcaklıklarına sahip organik malzemeleri çalışma sıvısı olarak kullanarak atık ısıyı güce dönüştürür ve basit yapısı, farklı çalışma koşullarına kolayca uygulanabilmesi, boyutu ve güç üretme kabiliyeti nedeniyle organik Rankine çevrimi, düşük dereceli atık ısı kaynaklarını kullanarak ısı ve güç üretmek için mükemmel bir seçimdir (Turkan ve Etemoğlu, 2020).

ORC sistemlerini tasarım, optimizasyon, çalışma durumu vb. gibi farklı açılardan inceleyen, teknolojinin mevcut durumunu belirlemek ve gelecekteki araştırmalara rehberlik etmek için çok sayıda derleme makalesi yayınlanmıştır (Imran vd., 2018; Garcia vd., 2018). Yamamoto vd., (2001) çalışma akışkanları olarak HCFC-123 ve su kullanarak kapalı tip organik Rankine çevrimlerinin performansını ve özelliklerini inceledi. Bu çalışmadan, organik Rankine çevriminin düşük dereceli ısı kaynaklarıyla etkin bir şekilde uygulanabileceği ve HCFC-123'ün organik Rankine çevrimi performansını önemli ölçüde arttırdığı görülebilir.

Etemoğlu (2008), çalışma koşullarının ve çalışma sıvısının sistem performansını büyük ölçüde değiştirebileceğini kanıtladı. Kermani vd., (2018) çalışma koşullarını ve çalışma akışkanını değiştirerek optimum termal mimariyi elde etmek için bir optimizasyon tekniği sunmuştur. Akbay ve Yılmaz (2021) tarafından ısı kaynağı olarak jeotermal enerji kullanılarak farklı akışkanların ORC ve buhar türbinleri üzerindeki etkilerini araştırmak için bir termal analiz yapılmıştır.

Termal işlemlerde muazzam miktarda ısı israf edilir. Forman vd., (2016) küresel birincil enerji tüketiminin %72'sinin termal işlemler sırasında kaybolduğunu ve dikkate alınan atık ısı akışlarının %63'ünün 100°C'nin altında bir sıcaklığa sahip olduğunu tahmin etmektedir.

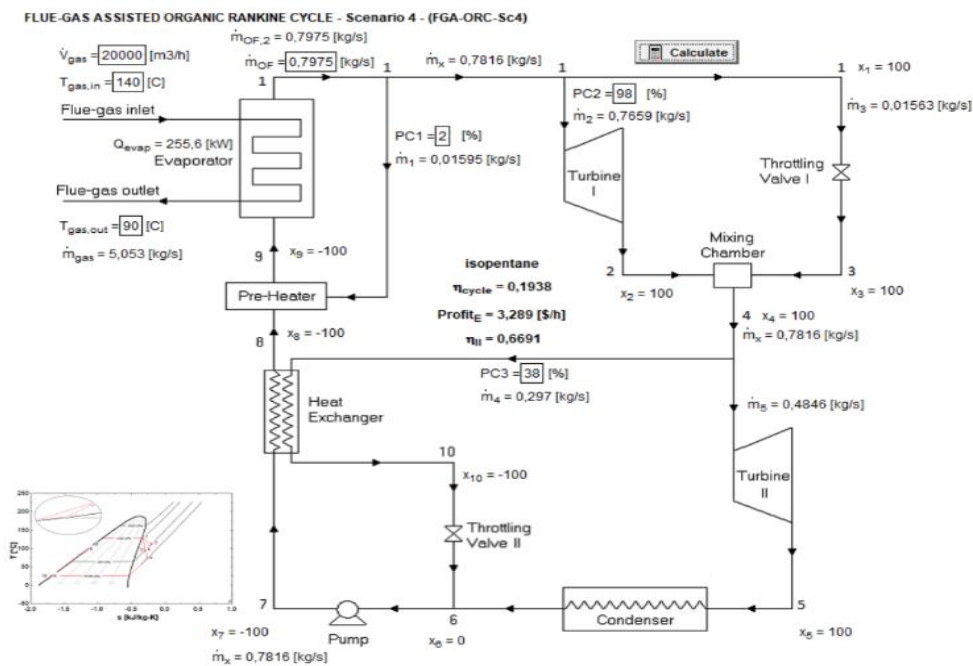
Bu çalışmada öncelikle, termal enerjiyi elektrik ve/veya mekanik enerjiye çeviren bir sistemde en iyi çevrim koşullarını bulmak için bir optimizasyon araştırması yapılmıştır. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını temel alan uygun bir matematiksel model ile ORC'lerin enerji ve ekserji yıkımının hesaplanması için gerekli yöntemler verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan ORC modeli Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada verilen matematiksel ifadeler için EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılmıştır. Taguchi analizi için ise Minitab programı kullanılmıştır.

ORC'nin birinci ve ikinci yasa analizleri için aşağıdaki birkaç varsayım kabul edilmiştir.

1. Tüm süreçler, ihmal edilebilir potansiyel ve kinetik enerji etkileri olan ve kimyasal veya nükleer reaksiyon içermeyen kararlı hal ve kararlı akıştır.
2. Sisteme ısı geçişi ve sistemden iş geçişi yönleri pozitifdir.
3. Türbin çalışmasının adyabatik verimliliği %80'dir.



Şekil 1. ORC şeması



4. Sirkülasyon pompalarının adyabatik verimleri %85'tir.
5. Basınç düşüşleri göz ardı edilmiştir.
6. Kondenserin çıkış sıcaklığı 25°C dir.
7. Ölü hal koşulu  $T_o=20^\circ\text{C}$  ve  $P_o=100$  kPa olarak alınmıştır.

## 2.1. Teorik Analiz

Ram çerçeveleri, tekstil işlemlerinde yüksek oranda kullanılan sürekli kurutuculardır. Bahsedilen tekstil prosesi sonunda yüksek hacimli baca gazı çevreye atılır. Bu nedenle geri kazanıma uygun düşük sıcaklıktaki baca gazı yeni bir enerji kaynağı adayı olarak değerlendirilmektedir.

Belirli bir durumda bir sistemde bulunan enerjinin iş potansiyeli, sistemden elde edilebilecek maksimum faydalı iştir. Bu durum ekserji terimi ile ifade edilir. Ekserji, sistem boyunca akan çok çeşitli akışların (kütle, ısı, iş vb.) yararlı enerjisini veya iş yapma veya alma yeteneğini - iş içeriğini - nicel olarak temsil eder (Cengel ve Boles, 1989). Bu nedenle ekserji analizi, termal sistemlerin tasarımı, analizi ve sınıflandırılması için güçlü bir araçtır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini göz ardı ederek, herhangi bir durumda sıvının özgül akış ekserjisi,  $e$ , eşitlik 1'den hesaplanabilir.

$$e = h - h_o - T_o(s - s_o) \quad (1)$$

Burada  $h$  entalpidir (kJ/kg),  $s$  entropidir (kJ/kgK),  $T$  sıcaklıktır (K). Özgül ekserji,  $e$ , akışkanın kütle akış hızı  $m$  ile çarpıldığında ekserji hızı  $E$ 'yi verir.

$$\dot{E} = \dot{m}e \quad (2)$$

Entropi dengesinin oran biçimi şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\dot{S}_{in} - \dot{S}_{out}}{\text{Net entropy transfer rate}} = \frac{\dot{S}_{gen}}{\text{Entropy generation rate}} \quad (3)$$

ve entropi üretim hızı,  $S_{gen}$ , aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$\dot{S}_{gen} = \sum \dot{m}_{out} s_{out} - \sum \dot{m}_{in} s_{in} - \sum \frac{\dot{Q}}{T} \quad (4)$$

Burada  $Q$  ısı transfer hızıdır. Ekserji yıkım hızı (veya tersinmezlik oranı),  $I$ , kararlı hal açık sistem için genel ekserji oranı dengesine dayalı olarak elde edilebilir.

$$I = T_o \dot{S}_{gen} \quad (5)$$

Burada  $T_o$  ölü hal sıcaklığıdır. Sistemin toplam ekserji yıkımı  $I_{TOTAL}$ , her bir sistem bileşeninin ekserji yıkımlarının toplamı ile sistemin  $i$ . cihazının performans oranı olan  $PR_i$  aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir;

$$PR_i = \frac{\dot{I}_i}{\dot{I}_{TOTAL}} \quad (6)$$

İkinci yasa verimliliği,  $\eta_{II}$ , bir cihazın performansının, aynı son durumlar için tersinir koşullar altında performansa oranı olarak ifade edilir (Bejan, 2002; Cengel ve Boles, 1989).

$$\eta_{II} = \frac{\eta}{\eta_{rev}} \quad (7)$$

### 2.1.1. Taguchi Analiz Denklemleri

Maksimum, minimum ve nominal performans değerleri için eşitlik (8), (9) ve (10) kullanılmaktadır (Taguchi, 1990).

$$S/N_{max} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (8)$$

$$S/N_{min} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (9)$$

$$S/N_{nom} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (10)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (11)$$

Burada  $n$  bir denemede test sayısı,  $y_i$  performans karakteristikleri için simülasyondan elde edilen verinin  $i$ . değeri,  $\bar{y}$  gözlem değerlerinin ortalaması ve  $s^2$  gözlem değerlerinin varyansdır. Simülasyon ile elde edilen veriler Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda aynı zamanda tahmin edilebilir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada öncelikle ORC sürecine etki eden parametreleri (Türbin giriş basıncı  $P_1$ , Çevrim ara basıncı  $P_2$  ve Türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı  $PC_3$ ) optimize etmek için Taguchi metodu kullanıldı. Analizlerde türbin giriş basıncı 1000 kPa, 1200 kPa ve 1311 kPa, çevrim ara basıncı 300 kPa, 350 kPa ve 400 kPa ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı 30, 35 ve 38 alınmıştır (Çizelge 1). ORC parametrelerinin seviyelerini temsil eden örneklerin sayısal değerleri ve Taguchi L9 ortogonal dizi kullanılarak seçilen simülasyon sırası Çizelge 2'da ifade edilmiştir. Burada verilen değerler Minitab programına girilmiştir. 9 farklı değer ile Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler termodinamiğin birinci kanun verimi ve ikinci kanun verimi dikkate alınarak yapıldı. Tüm bu çıktı değerleri maksimum amaç fonksiyonu olarak tanımlandı.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan ORC parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Serbestlik derecesi	Level 1	Level 2	Level 3
Türbin Giriş Basıncı (kPa)	2	1000	1200	1311
Çevrim ara basıncı (kPa)	2	300	350	400
Türbinden Ara Basıncıdaki Isı Eşanjörüne Aktarılan Akışkan Oranı	2	30	35	38
Toplam	6			
SD	6			

Çizelge 2. Taguchi ortogonal L9 dizisi kullanılarak seçilen parametreler ve seviyeleri

Ortogonal dizi	Analiz no	Türbin Giriş Basıncı (kPa) P <sub>1</sub>	Çevrim ara basıncı (kPa) P <sub>2</sub>	Türbinden Ara Basıncıdaki Isı Eşanjörüne Aktarılan Akışkan Oranı PC3
111	1	1000	300	30
122	2	1000	350	35
133	3	1000	400	38
212	4	1250	300	35
223	5	1250	350	38
231	6	1250	400	30
313	7	1311	300	38
321	8	1311	350	30
332	9	1311	400	35

### 3.1. Birinci Kanun Verimi için Optimizasyon Çalışması

ORC çevrimi işleminde 9 farklı senaryoya ile hesaplanan termodinamiğin 1. kanunu verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir. Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 3 elde edilen birinci kanun ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En fazla birinci kanun değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 2a'da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en fazla birinci kanun, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 1311 kPa türbin giriş basıncı, 300 kPa çevrim ara basıncı ve 38 türbinden

ara basıncıdaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı olarak elde edilmiştir. ANOVA metodu bize tüm etmenlerin önemini ve birbiri ile olan etkileşimlerini önceden incelememize imkan sağlar. Bu çalışmada parametrelerin birer birer katkısını elde etmek için ortalama S/N değerlerini kullanarak ANOVA yöntemi incelendi. Çizelge 4'de verilen parametrelerin çevrimin birinci kanunu üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 2b'de ifade edilmiştir. Rankine çevriminde birinci kanun üzerinde türbin giriş basıncının etkisinin yaklaşık %70,23, çevrim ara basıncının etkisinin %11,35 ve türbinden ara basıncıdaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranının etkisinin ise %18,27 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre termodinamiğin birinci kanunu üzerine etki eden parametrelerin önem sırası türbin giriş basıncı > türbinden ara basıncıdaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı > çevrim ara basıncı olarak elde edilmiştir. Rankine çevriminde termodinamiğin birinci kanunu üzerinde en önemli parametre türbin giriş basıncıdır. Çizelge 5'de S/N oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin türbin giriş basıncı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. ORC çevriminin birinci kanun değerleri ve hesaplanan S/N oranı

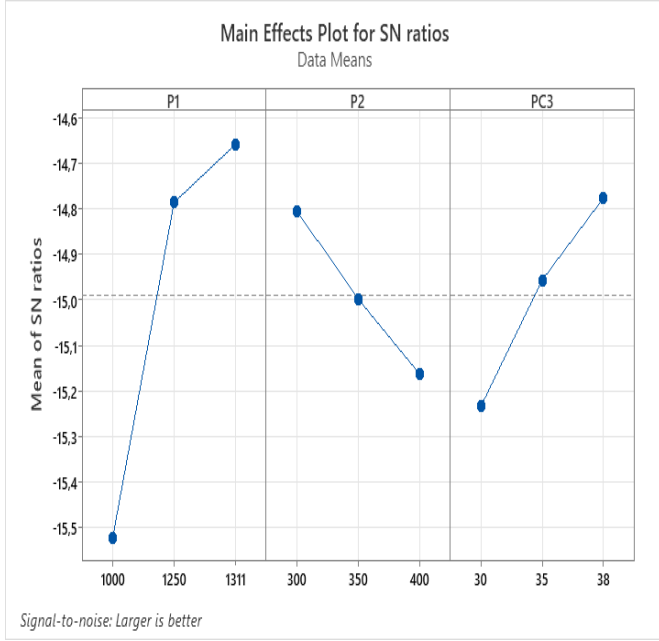
Ortogonal dizi	Termodinamiğin 1.kanunu	S/N oranı
111	0,166	-15,5701
122	0,1681	-15,4886
133	0,1678	-15,5042
212	0,1863	-14,5911
223	0,1867	-14,5725
231	0,1739	-15,1940
313	0,1938	-14,2529
321	0,1792	-14,9332
332	0,1822	-14,7890

Çizelge 4. S/N oranı için varyans analizi

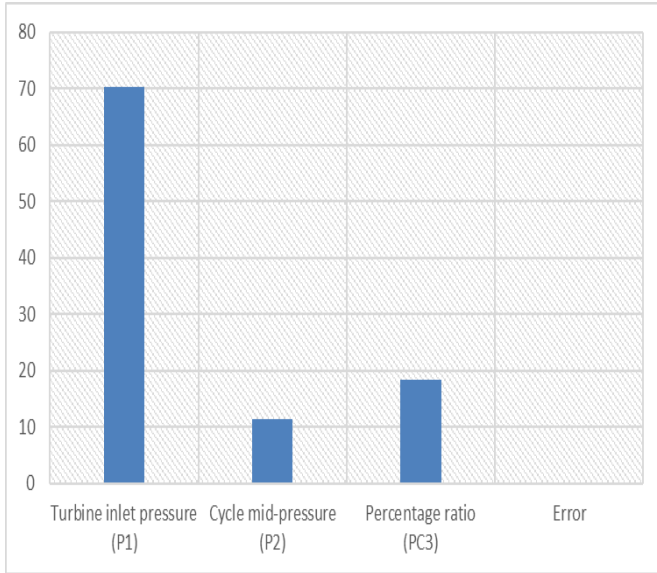
Kaynak	DF	Seq SS	AdjSS	Adj MS	F
P1	2	1,3006	1,3006	0,65031	648,7
P2	2	0,1923	0,1923	0,09618	95,95
PC3	2	0,3164	0,3164	0,15822	157,8
Hata	2	0,0020	0,0020	0,00100	
Total	8	1,8114			

Çizelge 5. S/N oranı için cevap sonuç tablosu

Level	P1	P2	PC3
1	-15,52	-14,80	-15,23
2	-14,79	-15,00	-14,96
3	-14,66	-15,16	-14,78
Delta	0,86	0,36	0,46
Rank	1	3	2



(a)



(b)

Şekil 2. a) Farklı ORC parametreleri için birinci kanunun S/N oranı b) Parametrelerin birinci kanun üzerindeki etki yüzdeleri

### 3.2. İkinci Kanun Verimi için Optimizasyon Çalışması

ORC çevrimi işleminde 9 farklı senaryoya ile hesaplanan termodinamiğin 2. kanunu verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir. Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 6 elde edilen ikinci kanun ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En fazla ikinci kanun değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 3a'da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en fazla ikinci kanun, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 1311 kPa türbin giriş basıncı, 300 kPa çevrim ara basıncı ve 38 türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı olarak elde edilmiştir. Çizelge 7'de verilen parametrelerin çevrimin ikinci

kanunu üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 3b'de ifade edilmiştir.

Rankine çevriminde ikinci kanun üzerinde türbin giriş basıncının etkisinin yaklaşık %72,38, çevrim ara basıncının etkisinin %9,78 ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranının etkisinin ise %17,74 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre termodinamiğin ikinci kanunu üzerine etki eden parametrelerin önem sırası türbin giriş basıncı > türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı > çevrim ara basıncı olarak elde edilmiştir. Rankine çevriminde termodinamiğin ikinci kanunu üzerinde de en önemli parametre türbin giriş basıncıdır. Çizelge 8'de S/N oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin türbin giriş basıncı olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. ORC çevriminin ikinci kanun değerleri ve hesaplanan S/N oranı

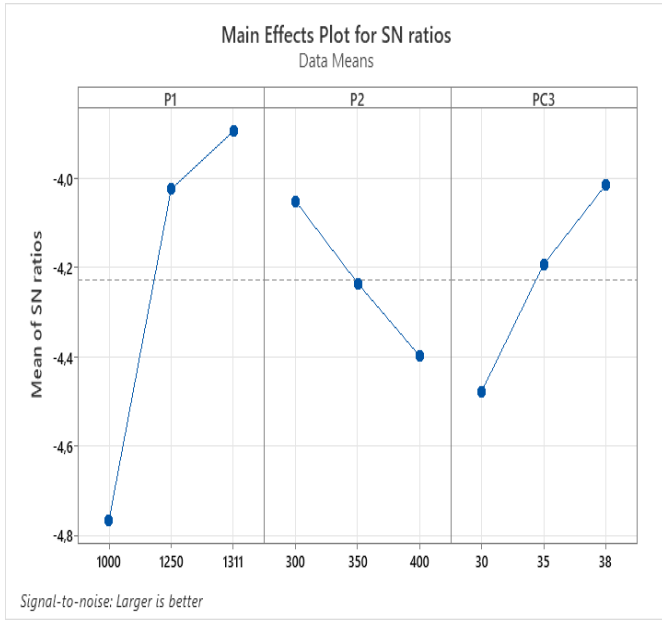
Ortogonal dizi	Termodinamiğin 2.kanunu	S/N oranı
111	0,5731	-4,83590
122	0,5806	-4,72296
133	0,5795	-4,74043
212	0,6434	-3,83038
223	0,6445	-3,81554
231	0,6006	-4,42829
313	0,6691	-3,49148
321	0,6189	-4,16759
332	0,6291	-4,02561

Çizelge 7. S/N oranı için varyans analizi

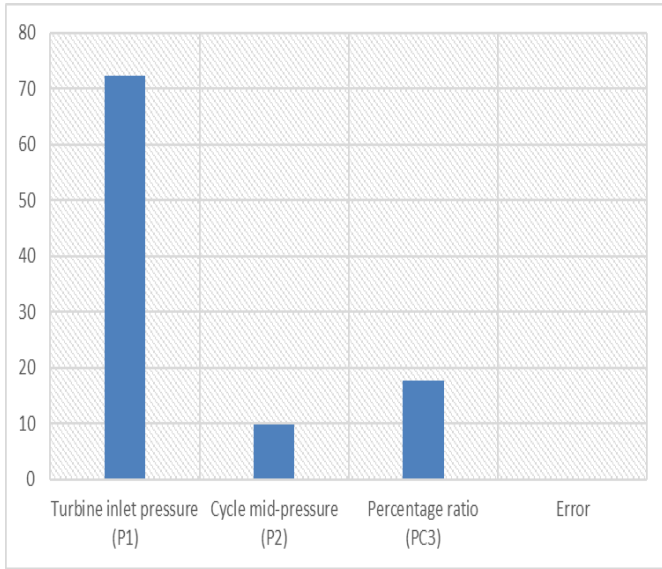
Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
P1	2	1,3265	1,3265	0,66327	847,0
P2	2	0,1792	0,1792	0,08964	114,4
PC3	2	0,3251	0,3251	0,16256	207,6
Hata	2	0,00157	0,00157	0,000783	
Total	8	1,83252			

Çizelge 8. S/N oranı için cevap sonuç tablosu

Level	P1	P2	PC3
1	-4,766	-4,053	-4,477
2	-4,025	-4,235	-4,193
3	-3,895	-4,398	-4,016
Delta	0,872	0,346	0,461
Rank	1	3	2



(a)



(b)

Şekil 3. a) Farklı ORC parametreleri için ikinci kanunun S/N oranı b) Parametrelerin ikinci kanun üzerindeki etki yüzdeleri

#### 4. Sonuç

Enerji üretimindeki yüksek maliyetler, daha sıkı çevre mevzuatı ve küresel sürdürülebilir kalkınma hedefleri nedeniyle atık ısı geri kazanım süreçlerinin önemi artmaktadır. ORC'ler, bu açıdan hedeflere ulaşmak için umut verici bir teknolojidir. Bu çalışmada, baca gazı destekli atık ısı geri kazanımı için yüksek verim ve düşük çevresel etkiler sağlamak için organik akışkan olarak izopentan kullanılarak termal mimari incelenmiştir. Sunulan termodinamik ve çevresel analize dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

Bu çalışmada ORC sürecine etki eden parametrelerin (Türbin giriş basıncı P1, çevrim ara basıncı P2 ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı PC3) etkisini incelemek için birinci ve ikinci kanun verim değerleri hesaplanmıştır. ORC çevrimi üzerinde her iki verim değeri için en etkili parametrenin türbin giriş basıncı olduğu görülmüştür.

Birinci ve ikinci kanun değerleri türbin giriş basınç değerinin ve ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranının artışı ile arttığı tespit edilmiştir.

Sunulan optimizasyon stratejisi, bilinen termodinamik kısıtlamalar için farklı termal mimarilerin optimal tasarımını belirlemek için faydalı bir yöntemdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, temel performans göstergelerine dayalı olarak ORC'ler için optimum kontrol ve operasyon stratejisinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

#### Kaynakça

- Akbay, O., Yılmaz, F. (2021). Thermodynamic Analyzes and Performance Comparison of Flash Binary Geothermal Power Generation Plant, *El Cezeri*, 8(1), pp.445-461.
- Alirahmi, S.M., Assareh, E., Chitsaz, A., Holagh, S.G., Jalilinasrabad, S. (2021). Electrolyzer-fuel cell combination for grid peak load management in a geothermal power plant: Power to hydrogen and hydrogen to power conversion, *Int J Hydrogen Energy*, 46(50), pp.25650-65.
- Bejan, A. (2002). Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture, *Int. J. Energy Research*, 26, pp.545-565.
- Cengel, Y.A., Boles, B.A. (1989). *Thermodynamics : An engineering approach*. Singapore: McGraw Hill Book Co.
- Etemoglu, A.B. (2008). Thermodynamic evaluation of geothermal power generation systems in Turkey, *Energy Sources, Part A*, 30, pp. 905-916.
- Forman, C., Muritala, I.K., Pardemann, R., Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp.1568-1579.
- Garcia, S.I., Garcia, R.F., Carril, J.C., Garcia, D.I. (2018). A review of thermodynamic cycles used in low temperature recovery systems over the last two years, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp.760-767.
- Imran, M., Haglind, F., Asim, M., Alvi, J.Z. (2018). Recent research trends in organic Rankine cycle technology - A bibliometric approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp.552-562.
- Kermani, M., Wallerand, A.S., Kantor, I.D., Maréchal, F. (2018). Generic Superstructure Synthesis of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery in Industrial Processes, *Applied Energy*, 212, pp.1203-1225.
- Pulat, E., Etemoglu, A.B., Can, M. (2009). Waste heat recovery potential in Turkish textile industry: case study for city of Bursa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), pp.663-672.
- Soltani, M., Nabat, M.H., Razmi, A.R., Dusseault, M.B., Nathwani, J. (2020). A comparative study between ORC and Kalina based waste heat recovery cycles applied to a green compressed air energy storage (CAES) system, *Energy Convers Manag.*, 222, 113203.
- Taguchi, G. (1990). *Introduction to quality engineering*. Asian Productivity Organization, Tokyo.
- Turkan, B., Etemoglu, A.B. (2020). Performance Evaluation For Thermal Architectures of Flue-Gas Assisted Organic Rankin Cycle Systems, *J. of Thermal Science and Technology*, 40(1), pp.65-76.
- Yamamoto, T., Furuhashi, T., Arai, N., Mori, K. (2001). Design and testing of the organic Rankine cycle, *Energy*, 26, pp.239-251.



# **Karmaşık Jeoloji ve Topografyaya Sahip Alanlarda Sentinel-2A Uydu Görüntülerinin Performansı Üzerine Bir Örnek Çalışma: Koyulhisar (Sivas-Türkiye)**

Ayşe Betül Çalışkan<sup>1\*</sup>, Oktay Canbaz<sup>2</sup>, Önder Gürsoy<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7724-6664), [aysebetulcaliskan@hitit.edu.tr](mailto:aysebetulcaliskan@hitit.edu.tr)

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8161-1326), [ocanbaz@cumhuriyet.edu.tr](mailto:ocanbaz@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>3</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1531-135X), [ogursoy@cumhuriyet.edu.tr](mailto:ogursoy@cumhuriyet.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082487)

**ATIF/REFERENCE:** Çalışkan, A.B., Canbaz, O. & Gürsoy, O. (2022). Karmaşık Jeoloji ve Topografyaya Sahip Alanlarda Sentinel-2A Uydu Görüntülerinin Performansı Üzerine Bir Örnek Çalışma: Koyulhisar (Sivas-Türkiye). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 387-395.

## **Öz**

Bu çalışma, Sentinel 2A multispektral uydu görüntüsü kullanılarak jeolojik özelliklerin ortaya çıkarılmasına yönelik gerçekleştirilmiştir. Sivas ili Koyulhisar ilçesi sınırları içerisinde kalan çalışma alanında sedimanter ve volkanik kayalar yüzelemektedir. Ayrıca, çalışma alanı, Türkiye'nin en önemli aktif fay zonlarından bir tanesi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAFZ) üzerinde konumlanmaktadır. Sarp ve engebeli topografyaya sahip olan bu alanda heyelan riski taşıyan birçok alan mevcuttur. Bu nedenle, çalışma alanının jeolojik özelliklerinin ortaya çıkarılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bant oranlama, minimum gürültü fraksiyonu (MNF) ve maksimum olabilirlik sınıflandırması (MLC) gibi uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, mevcut jeolojik harita içerisinde formasyon ve birim sınırlarının gözden geçirilmesi ve yeniden çizilmesini gerektirecek sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bant Oranlama, Minimum Gürültü Fraksiyonu, Maksimum Olabilirlik, Spektral Sınıflandırma

## **A Case Study on the Performance of Sentinel-2A Satellite Images in Areas with Complex Geology and Topography: Koyulhisar (Sivas-Turkey)**

### **Abstract**

This study was carried out to reveal geological characteristics using Sentinel-2A multispectral satellite image. Sedimentary and volcanic rocks crop out in the study area within the borders of the Koyulhisar town of Sivas province. In addition, the study area is located on the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), one of the most important active fault zones in Turkey. There are many areas with landslide risk in this area, which has a steep and rugged topography. For this reason, it is very important to reveal the geological features of the study area. In the study, remote sensing techniques such as band ratio, minimum noise fraction (MNF) and maximum likelihood classification (MLC) were used. The results were obtained that would require the geological formations and unit boundaries to be reviewed and redrawn within the existing geological map.

**Keywords:** Band Ratio, Minimum Noise Fraction, Maximum Likelihood, Spectral Classification

\* Sorumlu Yazar: [aysebetulcaliskan@hitit.edu.tr](mailto:aysebetulcaliskan@hitit.edu.tr)

## 1. Giriş

Uzaktan algılama teknolojileri, litolojik ve yapısal özellikler ile çizgisellik analizleri, mineral tespit ve dağılımının belirlenmesi, jeotermal sahaların araştırılması, volkanik aktivite araştırma ve gözlemleri gibi birçok jeolojik özelliğin araştırılması ve geliştirilmesinde büyük oranda katkı sağlamaktadırlar. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle geniş alanlara sahip bölgelerde bu jeolojik özelliklerin hızlı ve verimli bir şekilde ortaya çıkarılmasında oldukça kullanılabilir veriler sunmaktadırlar. Bu çalışmalarda genellikle 0,4-2,5 µm bant aralığına sahip multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır [1]. Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI ve ASTER gibi multispektral uydu verileri hiperspektral uydu verilerine göre çoğunlukla düşük maliyetli ve kolay erişilebilir olmaları nedeniyle bu çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bütün bu uydu görüntüleri jeolojik özelliklerin ortaya çıkarılmasında oldukça verimli sonuçlar ortaya çıkarsada, diğer uydu görüntülerine göre daha yüksek çözünürlüklü kısa dalga boyu ve termal infrared bantları içeren ASTER uydu verileri, mineral ve litolojik haritalamalarda öncelikli tercih edilen veriler haline gelmişlerdir [2]. Yeryüzeyi, geçmişte olduğu gibi günümüzde de gerek doğa olayları ile (deprem, heyelan vb) gerekse insan eli yapılarıyla (bina, baraj, yol vb) sürekli değişim gösteren bir dinamik yapı haline gelmiştir. Bu değişimlerin uydu görüntüleri ile ortaya çıkarılması için güncel uydu verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat mevcut uydulardan, Landsat-5' in 2013, Landsat-7'nin 2003 yılında hasar görmesi nedeniyle kullanımdan kaldırılması ve ASTER SWIR dedektörünün ise yüksek sıcaklık nedeniyle 2008 yılından günümüze kadar gelen süreçte SWIR görüntü vermemesi araştırmacıları yeni arayışlara yönlendirmiştir. Sentinel-2A multispektral uydu görüntüleri ise bunlardan bir tanesini oluşturmaktadır. Landsat ETM, SPOT ve daha az ölçüde ASTER uydu verilerine benzerliği ile günümüz çalışmalarında diğer uydu görüntülerinden kaynaklanan bu boşlukları doldurabilecek özelliğe sahiptirler [3]. Sentinel-2A verilerinin 90 nm'yi kapsayan bant geçişinde demir absorpsiyon özelliğine sahip olduğu [4], toprak bilimi ve jeoloji uygulamalarında ASTER VNIR-SWIR bantları ile simüle edilmiş Sentinel-2 verileri arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir [3].

Ayrıca, jeolojik çalışmaların dışından Sentinel-2A uydu verileri, çok çeşitli uygulama alanlarını kapsamaktadır [5]. Bu çalışma alanları; yaprak alan indeksi [6], [7]; bitkilerdeki klorofil ve azot oranı [8]; su kalitesi belirleme [9]; göl kıyısındaki habitatların belirlenmesi [10]; bitki ve ağaç türlerinin sınıflandırılması [11]; su kalitesinin değerlendirilmesi [12] ve mercan resiflerinin haritalanması [13] şeklinde özetlenebilir [14].

Dünyada ve ülkemizde özellikle Sentinel-2A MSI uydu görüntü verileri ile yapılan, litolojik sınırların tespiti, yapısal özelliklerin ortaya çıkarılması ve ekonomik özelliğe sahip mineraller ile hidrotermal alterasyon minerallerinin tespitine yönelik çalışmalar çok fazla olmamakla birlikte verimli sonuçlar ortaya çıkarmıştır [2], [3], [14]–[20]

Çalışma alanı, Doğu Pontidlerin güney zonunda yer almaktadır. Ayrıca, Avrasya, Afrika ve Arabistan plakalarının etkileşimi ile Orta Miyosen'den günümüze kadar gelen neotektonik dönemin en önemli aktif fay zonlarından bir tanesi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde konumlanmaktadır. Yoğun tektonizma faaliyetleri ve topoğrafik eğimlerin etkisiyle bölgede geçmişten

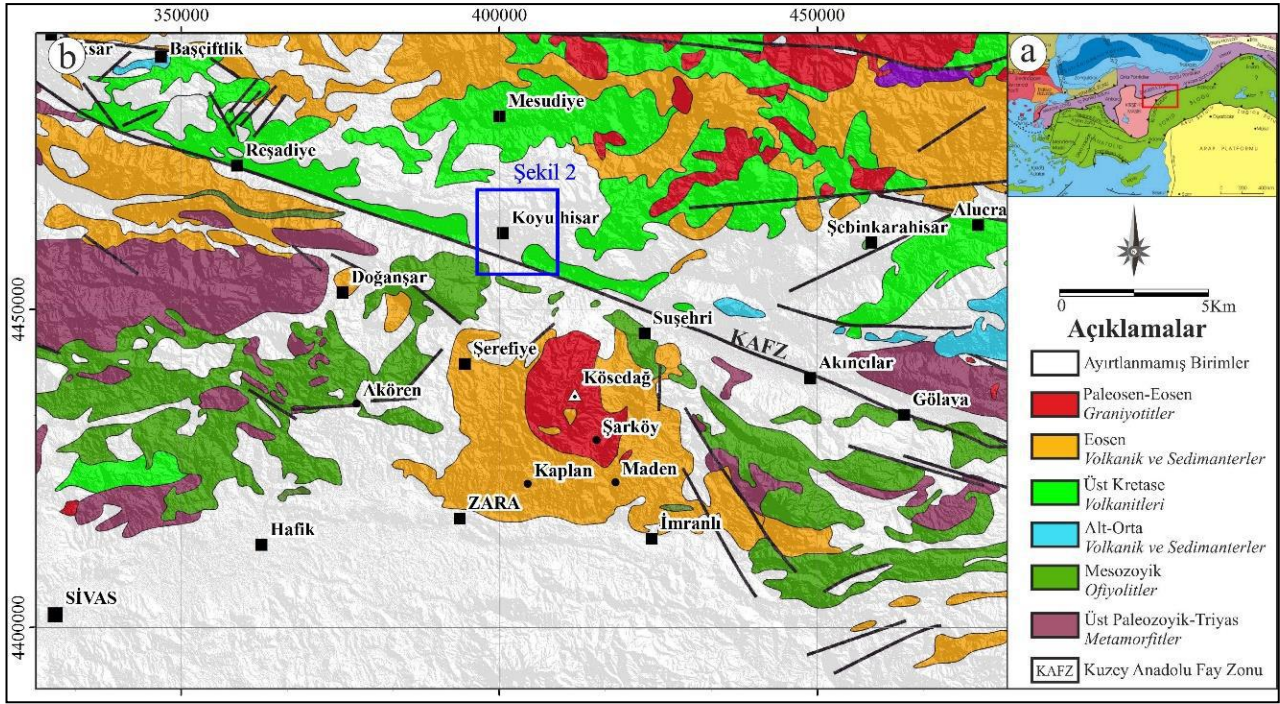
günümüze can ve mal kayıplarına neden olan birçok heyelan meydana gelmiştir. Son yıllarda, bölge heyelan riski taşıması nedeniyle birçok araştırmacının çalışma konusu olmuştur [21]–[26]. Bölgenin sarp ve engebeli bir topografyaya sahip olması ve jeolojik araştırmaları zorlaştırması nedeniyle uzaktan algılama yöntemlerini uygulamada tercih edilebilir özelliğe sahip bir alan olduğunu göstermektedir. İnceleme alanı içerisinde ve yakın çevresinde multispektral uydu görüntüleri ile yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, [27], Sivas ili Gölova ilçesi ve çevresinde yaptıkları çalışmada ASTER uydu verisinde bir takım bant oranlama ve spectral sınıflandırma yöntemi ile litolojik haritalama yapmışlardır; [28], çalışma alanını da içine multispektral uydu verisi ile litolojik haritalama ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde ki atım miktarını belirlemişlerdir. [29] ise çalışma alanının güneyinde multi- ve hiperspektral uydu verileri ile hidrotermal alterasyon haritalaması gerçekleştirmişlerdir. Ancak, bölgede ve yakın çevresinde bu çalışmada, bölgede Sentinel-2A uydu görüntüsü ile yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Sentinel-2A verilerinin, VNIR ve SWIR bölgelerinde Landsat verilerinden daha yüksek spektral ve uzaysal çözünürlükleri, ASTER verilerinden ise daha yüksek uzaksal çözünürlüğe sahip olması nedeniyle teorik olarak daha avantajlı olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, bölgenin dinamik özelliğe sahip olması nedeniyle, ücretsiz ve halen görüntü temin edilebildiği için çalışmada Sentinel-2A uydu verisi tercih edilmiştir.

Çalışmada, Sentinel 2A uydu görüntü verisinde bir seri bant oranlama, minimum gürültü fraksiyon ve maksimum olabilirlik yöntemi gibi görüntü zenginleştirme ve denetimli sınıflandırma yöntemleri uygulanarak litolojik sınırların tespiti ve uydu verisinin performansını belirlenmeye yönelik gerçekleştirilmiştir.

## 2. Jeolojik Özellikler

İnceleme alanı, güneyde İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu ile kuzeyde Doğu Pontidlerin arasında kalan bölgede yer almaktadır (Şekil 1a). Bölgesel ölçekte çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile tektonik dokunakla bu birimleri üzerleyen Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayalar oluşturmaktadır. Bu birimler üzerinde uyumsuz olarak Alt-Orta Jura volkanik ve volkanosedimanterleri ile Üst Kretase yaşlı volkanikler gelmektedir. Paleosen-Eosen yaşlı granitoyitik kayalar bu birimleri ve Eosen volkanizmasının ürünlerini keserek bölgeye yerleşmiştir. Genç sedimanter birimler inceleme alanında bu birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir (Şekil 1b).

Tektonik olarak ise bölge KAFZ üzerinde kelkit vadisi içerisinde yer almaktadır. Tektonik aktivitelere bağlı olarak, fay zonlarında depremler, kabuk deformasyonları ve yerdeğistirmeler milyonlarca yıldır süre gelmektedir. Dünya'da en iyi bilenen doğrultulu faylardan bir tanesi olan KAFZ üzerinde birçok araştırma yapılmış olup sağ yanal atımlı fay zonu olarak tanımlanmıştır [32]–[44]. Çalışma alanına da kapsayan bölgede yaklaşık atımın  $85 \pm 5$  km olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir [33], [41]. [36] tarafından KAFZ üzerinde Nixsar (Tokat) ile Erzincan arasında yapılan GPS ölçümlerine dayanan çalışmada, batıdan doğuya doğru azalan atım miktarlarını  $24.0 \pm 2.9$ 'dan  $16.2 \pm 2.3$  mm/yıl olarak belirlemişlerdir. Bu durum, bölgenin halen aktif bir tektonizma olduğunu, depremler ve heyelanlar açısından yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. a) Türkiye tektonik birimler haritası [30] b) İnceleme alanı çevresinin bölgesel jeoloji haritası ([29], [31]' den değiştirilmiştir).

İnceleme alanının yerel jeolojisini, Üst Kretase Refahiye Karmaşığı, Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale ve Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir, Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası, Pliyosen yaşlı Dumanlıca (Erdembaba) ve Pliyosen yaşlı Koyulhisar Formasyonları ile Kuvaterner yaşlı genç çökeller oluşturmaktadır (Şekil 2). [45], inceleme alanında yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı kayaların volkanik yay tipi bir ortamda çökeldiğini, Pliyosen-Kuvaterner dönemi çökellerinin ise neotektonik dönemin ürünleri olduğunu öne sürmüştür.

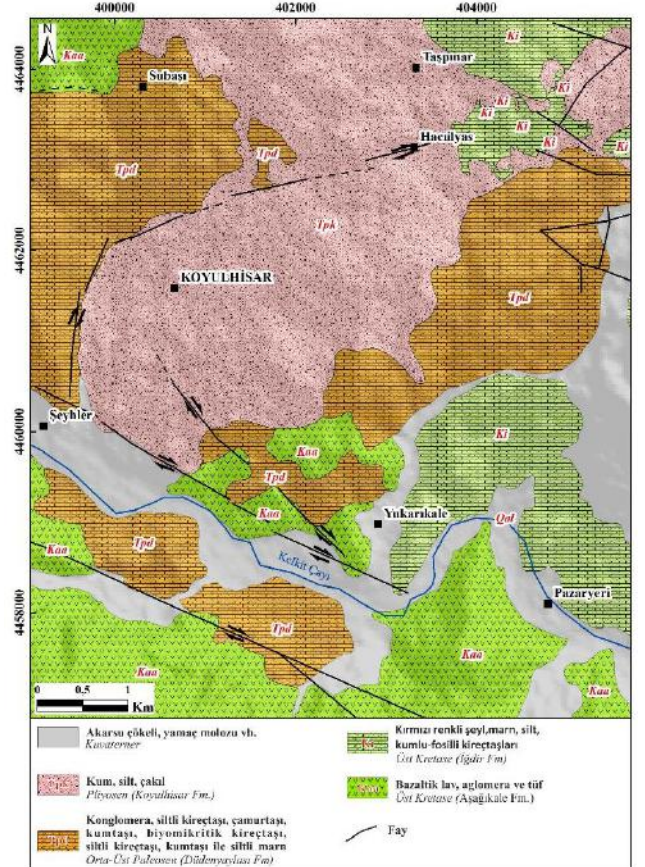
Refahiye Karmaşığı, genellikle birbiri ile tektonik ilişkili serpantin, peridotit, gabro ve Tokat grubu metamorfitlelerinden türemiş mermer, yeşilsist, ve metavolkanitlerinden oluşan bu kayaç topluluğunu Refahiye Karmaşığı olarak adlandırmışlardır. İnceleme alanının en yaşlı kaya birimi olan Refahiye Karmaşığının yaşının aynı araştırmacılar tarafından Üst Kretase-Paleosen yaşlı olduğu belirtilmiş olup bu çalışmada Üst Kretase yaşlı olarak kabul edilmiştir. Kayaç, genel olarak serpantinleşme göstermektedir [46].

Aşağıkale Formasyonu ilk olarak [45] tarafından tanımlanmış olup Orta-Üst Maestrihtiyen (Üst Kretase) yaşındadır. Birimin taban seviyelerinde bazaltik lav akıntıları ile aglomera, orta seviyelerinde aglomera-tüf, üst seviyelerinde aglomera-kumtaşı araldanması ile bazaltik lav akıntıları hakimdir.

İğdir formasyonu, ilk kez [47] tarafından adlandırılmış olup Üst Maestrihtiyen (Üst Kretase) yaşlı verilmiştir. Birim, tabanda kırmızı renkli şeyl ve marn, orta seviyelerinde silt ve şeyl arakatlı kumlu-fosilli kireçtaşları, istifin en üst seviyelerinde ise sarımsı beyaz renkli tabakalanmalı kumlu-fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Düdenyaylası Formasyonu birimi, tabandan üste doğru, konglomera, siltli kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı, biyomikritik kireçtaşı, siltli kireçtaşı, kumtaşı ile siltli marnlardan oluşmakta olup Orta-Üst Paleosen yaşlıdır [45].

İnceleme alanındaki en genç birim olan Koyulhisar Formasyonu, Pliyosen yaşlı olup Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca, taraça çakılları, talus, alüvyal yelpazeleri, flüvial ve alüvyon dolgulardan oluşan kum, silt ve çakıllardan oluşmaktadır [45], [48].



Şekil 2. Çalışma alanının yerel jeoloji haritası ([49]'dan değiştirilerek hazırlanmıştır).

### 3. Materyal ve Yöntemler

#### 3.1. Sentinel-2A

Sentinel-2A multispektral uydu görüntüsü (MSI) uydusu, 23 Haziran 2015'te ESA tarafından fırlatılmış ve 10 günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir. Sentinel-2A, 290 km'lik bir yörünge boyunca, 0.443 ila 2.190 mikrometre arasında Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR ile Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) bölgelerinde 13 spektral banda sahip olup 20-60 metre metre mekânsal çözünürlüktedir (Tablo 1). Çalışmada, <https://earthexplorer.usgs.gov> adresinden ücretsiz olarak indirilen, 13 Eylül 2018 tarihli bulutsuz level 1C uydu görüntü verisi kullanılmıştır.

#### 3.2. Görüntü İşleme Yöntemleri

Atmosferik saçılım nedeniyle görüntünün yansıtımında bozulmalar meydana gelir ve bu etkilerin giderilmesi gerekmektedir [50], [51]. Bu nedenle, Sentinel 2A uydu görüntüsüne ait VNIR ve SWIR spektral aralığındaki 13 spektral bantın QGIS 2.18 yazılımı ile atmosferik düzeltmeleri dos formatında yapılmış olup yüzey yansıtım değerleri 0 ile 1 yansıtma değer aralığına indirgenmiştir. Atmosferik düzeltme işleminden sonra, Sentinel-2A uydu görüntüsüne ait kullanılacak olan bantlar yeniden örnekleme yöntemi ile 10m çözünürlüğe getirilmiştir. [52]'ye göre 1, 9 ve 10 nolu bantlar atmosferik düzeltmelerde kullanılmak üzere dizayn edildikleri için bu çalışmada gerçekleştirilecek olan litolojik özellik tespit çalışmasında kullanılmamışlardır. Geri kalan VNIR ve SWIR bantlar ise çalışma alanında karbonatlı mineral içeren sedimanter kayaç ile demiroksit/hidroksit ve hidroksil minerallerini içerebilecek özelliğe sahip volkanik kayaçların bir arada bulunması nedeniyle tercih edilmişlerdir. Görüntü işleme ve şekillerin son hali ENVI ve ARCGIS yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bant Oranlama yöntemi, basit matematiksel hesaplamalara dayalı bu yöntem hedef nesnenin anomalisini vurgulamak için kullanılmaktadır [53]. Bant oranlama yöntemi, litolojik birimleri, hidrotermal alterasyon ve değerli mineralleri tespit etmek için nesnelerin karakteristik soğurma ve yansıtma özelliklerinin spektral kontrastını göstermek için tasarlanmıştır [54], [55].

Minimum Gürültü Fraksiyonu (MNF) çok sayıda banttan oluşan bir görüntüde gürültüleri ayırmak ve sonraki işleme için hesaplama gereksinimlerini azaltmak için kullanılan etkili bir transformasyon aracıdır [56]. MNF tekniği iki aşamaya ayrılmıştır. Birinci aşamada veri gürültüleri ilişkilendirilemez ve yeniden ölçeklenir. İkinci aşamada temel bileşenler gürültüyle beyazlatılmış veriler türetilir. Bu durumda elde edilen verileri iki türe ayırarak mümkün olup birinci tip büyük özdeğer miktarı ve ikinci tip ise 1'e yakın özdeğerlerdir. [57]'e göre, büyük özdeğerli verilerin gürültüden ayrılması ve nihai sonuçların geliştirilmesinde avantajlıdır. Düşük özdeğerli veriler ise çok sınırlı bilgiye sahiptirler [58]. MNF özdeğerleri 1'e yakın olan verilerinde çoğunlukla gürültü içermektedir [59]. Bu nedenle bu çalışmada KYM renk kombinasyonu oluşturmak için MNF özdeğer bileşenleri 1'den fazla olanlar dikkate alınmıştır.

Maksimum olasılık sınıflandırması (MLC) görüntü analisti tarafından önemli ön sınıflandırma girdisi gerektiren ve uydu

verilerinin analizinde uzaktan algılamada en yaygın kullanılan denetimli sınıflandırma yöntemlerinden bir tanesidir [60]. Maksimum olasılık sınıflandırması, haritalanması istenilen özelliklerin "eğitim" örneklerinin seçilmesi dayanır [61]. Eğitim amaçlı örnekleme her bir veri bir spektral sınıfa sahiptir. Her bir spektral sınıfa ait eğitilmiş veri ise olasılık yoğunluk parametrelerini tahmin etmede kullanılır. Görüntüdeki her piksel için spektral sınıf olasılıkları için varyans/kovaryans matrisleri ile tanımlanan yoğunluk fonksiyonları kullanılır. Olasılığı en yüksek hesaplanan sınıf, sınıflandırılmış görüntü çıktısına atanır.

### 4. Bulgular

#### 4.1. Bant Oranlama

Bu çalışmada, inceleme alanında bazaltik lav, aglomera ve tüf gibi volkanik kayaçlar ile kireçtaşı, kumtaşı, marn, şeyl ve konglomera gibi sedimanter kayaçlar kompleks bir şekilde yüzeylenmektedir. Sentinel-2A uydu verisinin karbonat, mafik ve silikat minerallerinin haritalanmasında SWIR bölgede daha kısıtlı ve geniş bant aralığına sahip olması dezavantajdır. Ancak, VNIR bölgesinde ki çoklu banta sahip olması bu durumu avantaja çevirmektedir. Bu nedenle çalışma da, literatürde kabul görmüş Tablo 2' deki bant oranları tercih edilmiştir. Sentinel-2A uydu görüntüsüne ait en yüksek bilgi ve en düşük tekrarlanma içeren bantların korelasyon katsayıları ve standart sapmaları Tablo 3'te gösterilmektedir. İlk olarak, volkanik kayaçların yüzeylediği inceleme alanında, hidroksil içeren alterasyonların gelişebileceği ve sedimanter kayaçlardan ayırt edilebileceği düşünülerek önerilen 11/12 bant oranı uygulanmıştır (Şekil 3a). Sedimanter kayaçlar için ise, demirli silikat bant oranı (Şekil 3b), demir oksitli kayaçları ayırt etmek için ise bütün demirli oksitleri temsil eden bant oranı uygulanmıştır (Şekil 3c).

Tablo 1. Sentinel 2A uydu görüntülerinin özellikleri

SENTINEL 2A		
Bant No	Dalga Boyu (mikrometre)	Mekansal Çözünürlük (m)
<i>Bant 1-Coastal aerosol</i>	0.433-0.453	60
<i>Bant 2-Blue</i>	0.458-0.522	10
<i>Bant 3-Green</i>	0.543-0.577	10
<i>Bant 4-Red</i>	0.650-0.680	10
<i>Bant 5-Vegetation Red Edge</i>	0.698-0.712	20
<i>Bant 6-Vegetation Red Edge</i>	0.733-0.747	20
<i>Bant 7-Vegetation Red Edge</i>	0.773-0.793	20
<i>Bant 8-NIR</i>	0.785-0.899	10
<i>Bant 8A-Vegetation Red Edge</i>	0.855-0.875	20
<i>Bant 9-Water vapour</i>	0.935-0.955	60
<i>Bant 10-SWIR-Cirrus</i>	1.365-1.385	60
<i>Bant 11-SWIR</i>	1.565-1.655	20
<i>Bant 12-SWIR</i>	2.100-2.280	20



Tablo 2. Landsat 8 OLI ve ASTER bant oranlarının Sentinel-2A'ya karşılık gelen bant oranları ([3], [62]).

	ASTER	Landsat-8 OLI	Sentinel-2A MSI
Hidroksil içeren alterasyon	4/ (5,6,7)	5/7	11/12
Bütün demir oksitler	-	4/2	4/2
Demirli silikatlar	4/5	6/7	11/12

Ayrıca, kumtaşı, şeyl, bazaltik dayk, mika şist, meta-tüf ve farklı türde kireçtaşlarının ayırımı için ilk olarak [63] tarafından önerilen  $(4 + 6)/(7 + 8)$ ,  $(2 + 11 + 6)/(3 + 4)$  ve 2/5 bant oranları kullanılmıştır (Şekil 3d).

Volkanik kayalar, yüzeysel ve hidrotermal çözeltilerin etkisiyle kolayca alterasyona uğrayabilirler. Bu nedenle,

çalışmada kullanılan alterasyon bant oranının bu volkanik kayaları sedimanter kayalardan ayırt edebileceği düşünülmüş ve uygulanmıştır. Ancak, elde edilen sonuçlarda, alterasyonun yoğun olarak sadece Tpk birimi içerisinde gözlenmesi ve genel olarak bir dağılım sergilemesi nedeniyle kayalar arasında bir farklılık göstermemiştir (Şekil 3a). Bu durum, inceleme alanında yüzeyleyen volkanik kayaların (Kaa) ya çok fazla alterasyona uğramadığını ya da alterasyon üzerinden yapılacak bir ayırtmada SWIR bölgesinde daha dar ve sık bantlara sahip multispectral (ASTER) yada hipekspektral uydu verileri tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Şekil 3b'de demirli silikatlar için uygulanan bant oranında, renk rampasında kırmızı renkli alanlar inceleme alanında kumlu, siltli ve çakıllı yüzleklere karşılık gelmektedir. Bu kayaç türleri Tpk, Tpd ve Ki birimleri içerisinde ardalanmalı şekilde gözlemlendiği için birimlere ait sınırları kesin olarak ortaya çıkmamaktadır. Bu birimlerin dağılımı için belirlemek için arazi çalışması gerekmektedir.

Tablo 3. Sentinel-2 uydu görüntülerine ait bantların korelasyon matrisi ve her bir bantın standart sapması.

Korelasyon	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 5	Bant 6	Bant 7	Bant 8	Bant 11	Bant 12	Std. Sapma
Bant 2	1,00									0,018
Bant 3	0,97	1,00								0,025
Bant 4	0,95	0,97	1,00							0,039
Bant 5	0,87	0,93	0,94	1,00						0,036
Bant 6	0,55	0,67	0,63	0,78	1,00					0,036
Bant 7	0,44	0,56	0,52	0,68	0,98	1,00				0,041
Bant 8	0,40	0,53	0,48	0,61	0,93	0,95	1,00			0,042
Bant 11	0,65	0,71	0,77	0,85	0,73	0,68	0,65	1,00		0,063
Bant 12	0,73	0,76	0,82	0,87	0,64	0,57	0,54	0,97	1,00	0,050

Şekil 3c'de, kırmızı renkli alanlar, Ki formasyonuna ait kırmızı renkli şeyl seviyelerini ortaya çıkarmıştır. Bu birim aynı zamanda, jeolojik haritaya göre inceleme alanının kuzeybatısında Tpd formasyon sınırları içerisinde yoğun bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, harita da Tpd formasyonu ile belirtilen alanın jeolojik sınırlarının yeniden gözden geçirilmesi ve çizilmesini gerektirmektedir. Son olarak, [63] tarafından önerilen bant oranında ise bu kumlu, siltli, çakıllı seviyelerin mavimsi renklerde Tpk, Tpd ve Ki formasyonlarına ait sınırlar içerisinde dağılım göstermektedir (Şekil 3d). Kırmızı renkli şeyl seviyelerin ise açık yeşilimsi renklerde Ki ve Tpd formasyon sınırları içerisinde dağılım göstermektedir. Ayrıca, Kaa volkanik birimi ise Tpd formasyon sınırları içerisinde de yer yer ortaya çıkmaktadır. Bu bant oranlama sonuçlarına göre Ki ve Tpd formasyonları ile Kaa volkanik birimin sınırları yeniden çizilmesi gerektiğini göstermektedir.

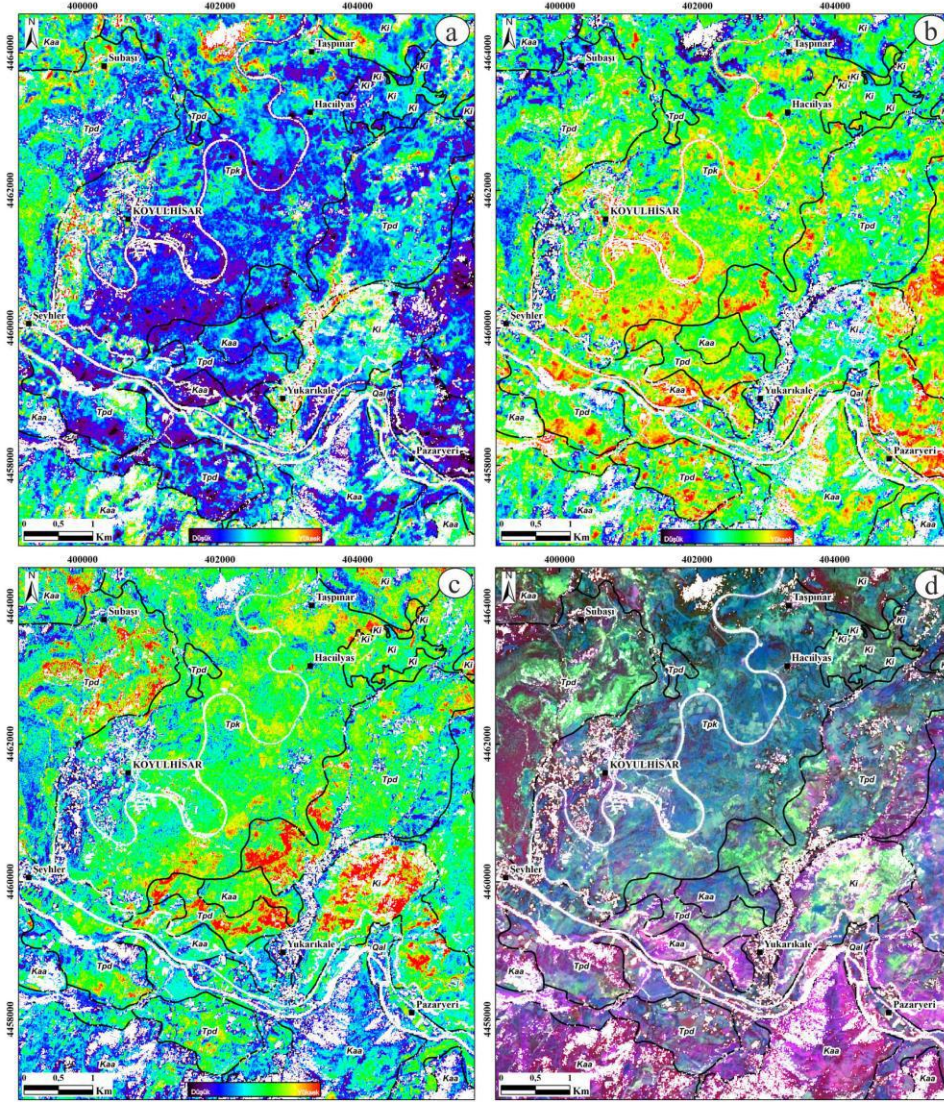
#### 4.2. Minimum Gürültü Fraksiyonu

Çalışmada, Sentinel-2A uydu verisinin 9 bandına MNF transformasyonu uygulanmış olup bileşenlere ait özdeğer ve yüzde değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Şekil 4'te KYM bant kombinasyonu için sırasıyla MNF-1, MNF3 ve MNF-2 bileşenleri kullanılmıştır. Elde edilen kombinasyonda, Kırmızı renkli şeyl biriminin Ki ve Tpd formasyon sınırlarında dağılımı yeşil renkte gözlenmektedir. Ayrıca Tpk formasyonuna ait gevşek çökeller de morumsu renklerde diğer birimlerden

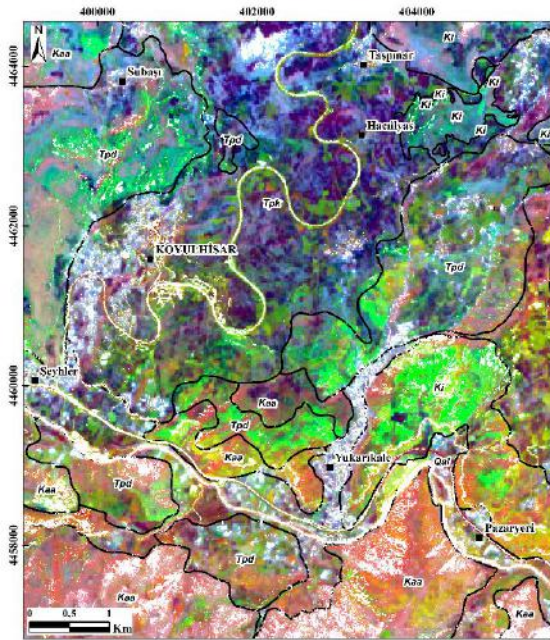
ayırtlanmıştır. Kaa volkanik birimler ise bu görüntüde sarımsı-kırmızımsı renklerde ayırtlanmıştır.

Tablo 4. Sentinel 2A uydu görüntüsünün 9 bandına uygulanan minimum gürültü fraksiyon analiz sonuçları.

MNF	Özdeğer	%
Bant 1	37,20	47,67
Bant 2	12,79	16,39
Bant 3	11,36	14,56
Bant 4	7,42	9,51
Bant 5	3,19	4,09
Bant 6	1,92	2,46
Bant 7	1,51	1,94
Bant 8	1,35	1,73
Bant 9	1,29	1,66



Şekil 3. Bant oranları. a) 11/12, b) 12/11, c) 4/2 ve d)  $(4 + 6)/(7 + 8)$ ,  $(2 + 11 + 6)/(3 + 4)$ , 2/5. (Siyah çizgiler jeolojik sınırları, beyaz alanlar ise bitki örtüsü, yol ve su kütlelerini göstermektedir).



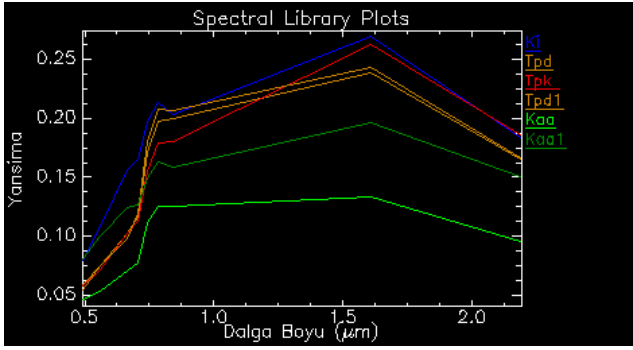
Şekil 4. MNF (K: MNF1, Y: MNF3 ve M: MNF2) (Siyah çizgiler jeolojik sınırları, beyaz alanlar ise bitki örtüsü, yol ve su kütlelerini göstermektedir).

## 4.2. Maksimum Olabilirlik Sınıflandırması

Denetimli sınıflandırmanın en önemli aşamalarından bir tanesi olan eğitilmiş verilerin doğru ve çalışma alanındaki litolojik özellikleri detaylı bir şekilde ortaya çıkaracak şekilde belirlenmesidir. Bu çalışmada, bazaltik lav, tüf, aglomera, kumtaşı, silttaşı, çakıltası, marn ve şeyl gibi birimlerin bir veya birden fazlasını içeren 5 farklı formasyonun dağılımlarını belirlemek için Sentinel 2-A uydu görüntüsünden farklı litolojileri temsilen endmember örnek yerleri belirlenmiştir (Şekil 6a). Endmember örnek yerleri, mevcut jeoloji haritasında ki jeolojik sınırlara göre belirlenmiştir. Maksimum olabilirlik yöntemi, her bir farklı litolojik özelliğe ait spektral sınıf verileri kullanılarak uydu görüntüne uygulanmıştır (Şekil 6b).

Sınıflandırmada elde edilen sonucun, bant oranlama ve MNF tekniklerinde olduğu gibi Ki formasyonuna ait kırmızı renkli şeyl birimine ait sınırları belirgin bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Bunlara ek olarak, Kaa volkanik biriminin de çoğunlukla sedimanter kayalardan belirgin bir şekilde ayrılanmıştır. Ancak, diğer sedimanter birimlerden, kum, silt, çamurtaşı, kireçtaşı gibi kayaları temsil eden spektral verilerin sonuçları Tpd ve Tpk formasyonlarının birbiri içerisinde dağılım göstermektedir. Bunun nedeni benzer kaya birimlerinin

aynı formasyonlarda da bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. Uydu görüntüsü üzerinden jeolojik birimlere ait spektral yansıma grafikleri.

## 5. Tartışma

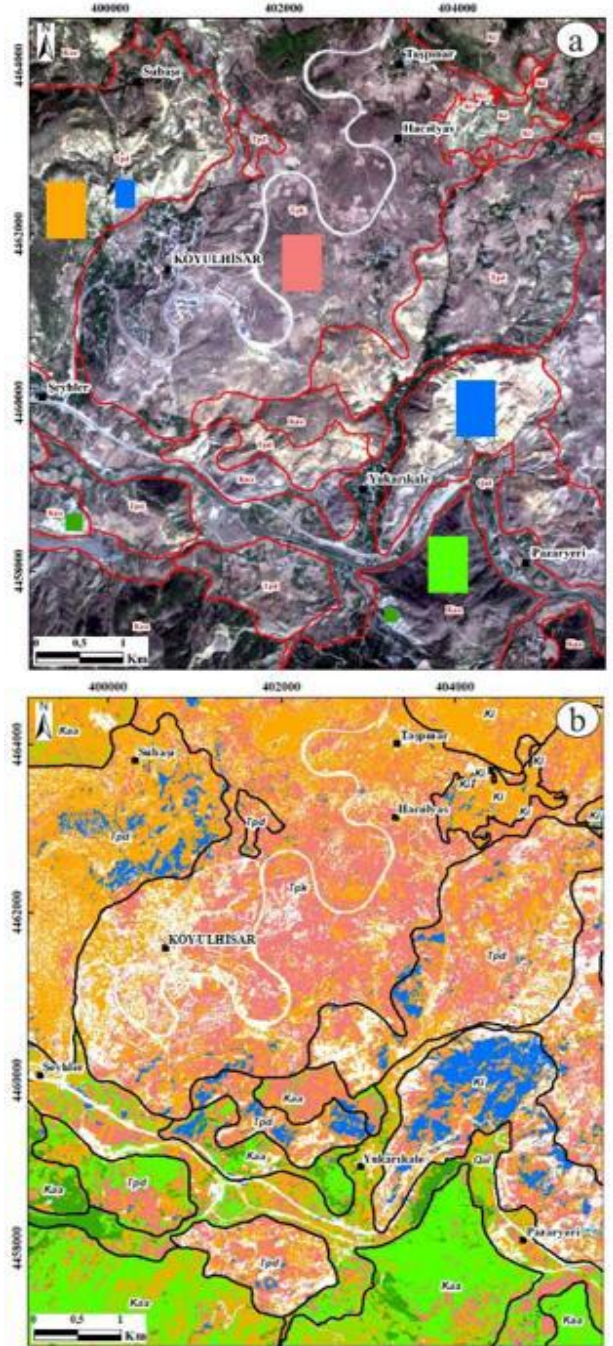
Çalışma kullanılan görüntü zenginleştirme teknikleri ve sınıflandırma yöntemleri sonuçları mevcut jeoloji haritası üzerinden değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tpk, Tpd ve Ki formasyonları farklı jeolojik yaşlarda olsa da kumtaşı, silttaşı, çakıl gibi birbirine benzer sedimanter kayalar barındırması nedeniyle görüntü zenginleştirme tekniklerinde bu birimler içerisinde dağılım gösterdiği için sınırları keskin bir şekilde belirlenememiştir. Fakat, jeolojik haritaya göre Ki formasyonuna ait olduğu bilinen kırmızı renkli şeyl birimi dikkate alınır; bu birim Google Earth görüntülerinde de belirgin bir şekilde gözlenebilmektedir. Yapılan bu incelemelerde de çalışma alanının batısında yüzlek veren bu birimler haritaya göre Tpd formasyon sınırları içerisine dahil edilmiştir. Arazinin sarp, engebeli ve bitki örtüsü nedeniyle ulaşılması zor alanlara sahip olması nedeniyle jeolojik haritalama sırasında arazi çalışmaları sırasında gözlenemediği için bu şekilde değerlendirildiği düşünülmektedir. Bu nedenle, jeolojik haritanın bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre belirlenecek kontrol noktaları ile yeniden gözden geçirilip birimlere ait sınırların teyit edilmesi ve çizilmesi gerekebilir.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada, Sentinel-2A uydu verisine bant oranlama, minimum gürültü fraksiyonu gibi görüntü zenginleştirme teknikleri ile maksimum olasılık gibi denetimli sınıflandırma yöntemi uygulanarak jeolojik birimlere ait sınırlar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışmada, Bant oranlama ve MNF tekniklerinin inceleme alanında gözlenen sedimanter kayaç türlerine göre birimleri birbirinden ayırtlamada yararlı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Fakat, bu birimler farklı yaşlara göre formasyonlar şeklinde gruplandırıldığı için formasyon sınırlarına yönelik kesin sonuçlar elde edilememiştir. Ancak, Ki formasyonuna ait kırmızı renkli şeyl biriminin sınırlarını belirgin bir şekilde ortaya çıkarmış ve inceleme alanının farklı bölgelerinde de olduğu tespit edilebilmiştir. Benzer şekilde aynı birime ait sınırlar maksimum olasılık sınıflandırması sonuçlarında da belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bu sınıflandırma da ayrıca, volkanik ve sedimanter kayalar birbirinden ayırt edilebilmiştir.

Sonuç olarak, bitki örtüsünün yoğun olduğu ve benzer jeolojik birimleri içeren farklı formasyonların bir arada

bulunduğu ve karbonat, silikat minerallerince zengin jeolojik birimlerin yüzelediği bölgelerde Sentinel-2A uydu verisinin yetersiz kaldığını göstermektedir. Ancak, diğer birimlerden kimyasal ve/veya fiziksel olarak farklı özelliklere sahip jeolojik birimlerin sınırlarının tespitinde oldukça yararlı bilgiler sunabileceğini göstermiştir. Özellikle Sentinel-2A uydu verisinin VNIR bölgede fazla sayıda bant içermesi nedeniyle demir oksit içeriği yüksek jeolojik birimlerin ayırt edilebilmesinde oldukça yararlı olabileceği söylenebilir.



Şekil 6. a) Litolojilere göre elde edilen endmemberların uydu görüntüsü üzerinde dağılımı, b) maksimum olasılık sonucu (Jeolojik birimler Şekil 2'deki gibi)

## 7. Teşekkür

Bu araştırma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Projeler birimi tarafından M-722 nolu proje olarak desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] F. A. Kruse, J. W. Boardman, and J. F. Huntington, 'Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping', *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2003.
- [2] W. Ge, Q. Cheng, Y. Tang, L. Jing, and C. Gao, 'Lithological classification using Sentinel-2A data in the Shibanzing ophiolite complex in Inner Mongolia, China', *Remote Sens.*, 2018.
- [3] F. D. Van der Meer, H. M. A. van der Werff, and F. J. A. van Ruitenbeek, 'Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications', *Remote Sens. Environ.*, 2014.
- [4] H. van der Werff and F. van der Meer, 'Sentinel-2 for mapping iron absorption feature parameters', *Remote Sens.*, 2015.
- [5] Z. Malenovsky *et al.*, 'Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land', *Remote Sens. Environ.*, 2012.
- [6] K. Richter, C. Atzberger, F. Vuolo, P. Weihs, and G. D'urso, 'Experimental assessment of the Sentinel-2 band setting for RTM-based LAI retrieval of sugar beet and maize', *Can. J. Remote Sens.*, 2009.
- [7] C. Atzberger and K. Richter, 'Spatially constrained inversion of radiative transfer models for improved LAI mapping from future Sentinel-2 imagery', *Remote Sens. Environ.*, 2012.
- [8] J. G. P. W. Clevers and A. A. Gitelson, 'Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on sentinel-2 and -3', *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 2013.
- [9] K. Toming, T. Kutser, A. Laas, M. Sepp, B. Paavel, and T. Nõges, 'First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery', *Remote Sens.*, 2016.
- [10] D. Stratoulas, H. Balzter, O. Sykioti, A. Zlinszky, and V. R. Tóth, 'Evaluating sentinel-2 for lakeshore habitat mapping based on airborne hyperspectral data', *Sensors (Switzerland)*, 2015.
- [11] M. Immitzer, F. Vuolo, and C. Atzberger, 'First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe', *Remote Sens.*, 2016.
- [12] M. S. Salama, M. Radwan, and R. van der Velde, 'A hydro-optical model for deriving water quality variables from satellite images (HydroSat): A case study of the Nile River demonstrating the future Sentinel-2 capabilities', *Phys. Chem. Earth*, 2012.
- [13] J. Hedley, C. Roelfsema, B. Koetz, and S. Phinn, 'Capability of the Sentinel 2 mission for tropical coral reef mapping and coral bleaching detection', *Remote Sens. Environ.*, 2012.
- [14] H. van der Werff and F. van der Meer, 'Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing', *Remote Sens.*, 2016.
- [15] A. El Atillah, Z. E. A. El Morjani, and M. Souhassou, 'Use of the Sentinel-2A Multispectral Image for Litho-Structural and Alteration Mapping in Al Glo'a Map Sheet (1/50,000) (Bou Azzer-El Graara Inlier, Central Anti-Atlas, Morocco)', *Artif. Satell.*, 2019.
- [16] B. Hu, Y. Xu, B. Wan, X. Wu, and G. Yi, 'Hydrothermally altered mineral mapping using synthetic application of Sentinel-2A MSI, ASTER and Hyperion data in the Duolong area, Tibetan Plateau, China', *Ore Geol. Rev.*, 2018.
- [17] J. Lin, R. Wang, B. Zhao, and S. Cheng, 'A comprehensive scheme for lithological mapping using Sentinel-2A and ASTER GDEM in weathered and vegetated coastal zone, Southern China', *Open Geosci.*, 2019.
- [18] M. Karaman, 'Grafit Cevherleşmelerinin Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Belirlenmesinde En Uygun Bant Kombinasyonları', *Avrupa Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 25, pp. 749–757, 2021.
- [19] H. A. Baran, 'Hakkâri ili baz metal yataklarının uzaktan algılama ile belirlenmesi', *Gümüşhane Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 11, no. 2, pp. 339–347, 2021.
- [20] C. Zabcı, '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*, vol. 6, no. 3, pp. 238–246, 2021.
- [21] R. Ulusay, Ö. Aydan, and R. Kilic, 'Geotechnical assessment of the 2005 Kuzulu landslide (Turkey)', *Eng. Geol.*, 2007.
- [22] I. Yilmaz, 'A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks', *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2009.
- [23] I. Yilmaz, 'Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine', *Environ. Earth Sci.*, 2010.
- [24] A. Yıldırım, 'Koyulhisar-Kuzulu (Sivas) Heyelanının Jeomorfolojik Etüdü', *Doğu Coğrafya Derg.*, vol. 11, no. 15, pp. 323–338, 2011.
- [25] M. E. Cihangir, T. Görüm, and H. A. Nefeslioğlu, 'Heyelan tetikleyici faktörlerine bağlı mekânsal hassasiyet değerlendirmesi', *Türk Coğraf. Derg.*, vol. 70, pp. 133–142, 2018.
- [26] A. Polat and D. Erik, 'Debris flow susceptibility and propagation assessment in West Koyulhisar, Turkey', *J. Mt. Sci.*, 2020.
- [27] Ö. Gürsoy and Ş. Kaya, 'Detecting of Lithological Units by Using Terrestrial Spectral Data and Remote Sensing Image', *J. Indian Soc. Remote Sens.*, vol. 45, no. 2, 2017.
- [28] Ö. Gürsoy, Ş. Kaya, Z. Çakir, O. Tatar, and O. Canbaz, 'Determining lateral offsets of rocks along the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) using spectral classification of satellite images and field measurements', *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, vol. 8, no. 2, pp. 1276–1288, 2017.
- [29] O. Canbaz, Ö. Gürsoy, and A. Gökce, 'Detecting Clay Minerals in Hydrothermal Alteration Areas with Integration of ASTER Image and Spectral Data in Kösedag-Zara (Sivas), Turkey', *J. Geol. Soc. India*, vol. 91, no. 4, pp. 389–516, 2018.
- [30] A. I. Okay and O. Tüysüz, 'Tethyan sutures of northern Turkey', *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, vol. 156, no. 1, pp. 475–515, 1999.
- [31] MTA, '1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Sivas Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü', Ankara., 2002.

- [32] İ. Ketin, 'On the tectonic-mechanical consequences of the great Anatolian earthquakes of the last decenions', *Geol Rundsch*, vol. 36, pp. 77–83, 1948.
- [33] İ. Seymen, 'Tectonic feature of North Anatolian Fault zone in Kelkit valley section', *Istanbul Tech. Univ.*, 1975.
- [34] M. E. Ayhan *et al.*, 'Kinematics of the Mw = 7.2, 12 November 1999, Düzce, Turkey Earthquake', *Geophys. Res. Lett.*, 2001.
- [35] C. Zabei, T. Sançar, H. S. Akyuz, and N. G. Kiyak, 'Spatial slip behavior of large strike-slip fault belts: Implications for the Holocene slip rates of the eastern termination of the North Anatolian Fault, Turkey', *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 2015.
- [36] O. Tatar *et al.*, 'Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements', *Tectonophysics*, 2012.
- [37] Y. Tatar, 'Tectonic structures along the North Anatolian fault zone, northeast of Refahiye (Erzincan)', *Tectonophysics*, 1975.
- [38] Y. Tatar, 'Tectonic investigations on the Erzincan-Refahiye section of the North Anatolian Fault Zone', *Hacettepe Univ. Earthscience*, vol. 1, no. 2, pp. 201–236, 1978.
- [39] A. M. C. Şengör, 'The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance', *J. Geol. Soc. London.*, 1979.
- [40] S. Sipahioğlu, 'Investigation of earthquake activity of North Anatolian Fault Zone and its surroundings', *Bull. Earthq. Res. Ankara*, vol. 45, pp. 5–138, 1984.
- [41] A. M. C. Sengor, N. Gorur, and F. Saroglu, 'Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study.', *Strike-slip Deform. basin Form. Sediment.*, 1985.
- [42] F. Şaroğlu, 'Age and offset of the North Anatolian fault', *METU J Pure Appl Sci*, vol. 21, no. 1–3, pp. 65–79, 1988.
- [43] O. Tatar, 'Determination of extension direction in naturally deformed limestones within strike-slip fault zones using microcracks; Niksar Basin (Turkey) as case study', *2Turkish J. Earth Sci.*, vol. 5, pp. 45–33, 1996.
- [44] C. Yaltırak, B. Alpar, and H. Yüce, 'Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey)', *Tectonophysics*, 1998.
- [45] V. Toprak, 'Neotectonic characteristics of the North Anatolian Fault Zone between Koyulhisar and Suşehri', *METU J. Pure Ap. Sci.* 21:155-66, 1988.
- [46] A. Yılmaz, 'Yukarı Kelkit Çayı ile Munzur Dağları Arasının Temel Jeoloji Özellikleri ve Yapısal Evrimi', *Türkiye Jeol. Bülteni*, vol. 28, no. August, pp. 79–92, 1985.
- [47] İ. Terlemez and A. Yılmaz, 'Ünye-OrduReşadiye-Koyulhisar-Karaçayır-Hafik arasında kalan bölgesinin jeolojisi. Rapor No: 6671. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara', 1980.
- [48] Ş. Uysal, Y. Bedi, İ. Kurt, and F. Kılınç, 'Koyulhisar (Sivas) Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No: 9838, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayınlanmamış)', 1995.
- [49] M. Demirel, O. Tatar, and F. Koçbulut, 'Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Koyulhisar (Sivas) ve Yakın Çevresindeki Fayların Kinematik Özellikleri', *Türkiye Jeol. Bülteni*, vol. 59, no. 8, pp. 357–370, 2016.
- [50] E. P. Green, P. J. Mumbay, A. J. Edwards, and C. Clark, 'Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management.', *Coast. Manag. Sourcebooks 3, Unesco, Paris*, 2000.
- [51] M. S. Thalib, N. Nurdin, and A. Aris, 'The Ability of Lyzenga's Algorithm for Seagrass Mapping using Sentinel-2A Imagery on Small Island, Spermonde Archipelago, Indonesia', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018.
- [52] M. Drusch *et al.*, 'Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services', *Remote Sens. Environ.*, 2012.
- [53] M. J. Abrams, D. Brown, L. Lepley, and R. Sadowski, 'Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona.', *Econ. Geol.*, vol. 78, no. 4, pp. 591–604, 1983.
- [54] K. Okada and M. Ishii, 'ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian–Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt', in *International Geosciences and Remote Sensing Symposium "Better Understanding of Earth Environment"*, 1993, p. Vol. 93, 126-128.
- [55] S. Gad and T. Kusky, 'ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt', *Gondwana Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 326–335, 2007.
- [56] A. A. Green, M. Berman, P. Switzer, and M. D. Craig, 'A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal', *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1988.
- [57] R. O. Green, B. E. Pavri, and T. G. Chrien, 'On-orbit radiometric and spectral calibration characteristics of EO-1 hyperion derived with an underflight of AVIRIS and In situ measurements at Salar de Arizaro, Argentina', *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2003.
- [58] J. W. Boardman and R. O. Green, 'Exploring the spectral variability of the earth as measured by AVIRIS in 1999. Summaries of the ninth annual JPL airborne geosciences workshop. Jet Propulsion Laboratory Special Publication 18', 2000, p. 10.
- [59] jensen, 'Introductory Digital Image Processing (3rd edition). Prentice Hall.', *Int. J. Remote Sens.*, 2005.
- [60] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, 'Remote sensing and image interpretation.', *Remote Sens. image Interpret.*, 1979.
- [61] T. Salehi and M. H. Tangestani, 'Evaluation of WorldView-3 VNIR and SWIR Data for Hydrothermal Alteration Mapping for Mineral Exploration: Case Study from Northeastern Isfahan, Iran', *Nat. Resour. Res.*, 2020.
- [62] F. F. Sabins, 'Remote sensing for mineral exploration', *Ore Geol. Rev.*, 1999.
- [63] M. H. Tangestani and S. Shayeganpour, 'Mapping a lithologically complex terrain using Sentinel-2A data: a case study of Suriyan area, southwestern Iran', *Int. J. Remote Sens.*, 2020.



# A Salp Swarm-Based Under-Sampling Approach for Medical Imbalanced Data Classification

Mohammed H. Ibrahim<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6093-6105), [mibrahim@erbakan.edu.tr](mailto:mibrahim@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082451)

**ATIF/REFERENCE:** Ibrahim, M. H. (2022). A Salp Swarm-Based Under-Sampling Approach for Medical Imbalanced Data Classification. *European Journal of Science and Technology*, (34), 396-402.

## Abstract

Data imbalance refers to the unequal distribution of classes within a dataset that directly affects the accuracy of machine learning classification algorithms. Although many resampling techniques have been proposed by researchers, learning from imbalanced data is still considered one of the contemporary challenges. The class imbalanced problem has been complicated as most of the existing techniques don't manage the similarity relationships between minority and majority classes well. In addition, due to the complex relationships among classes, most of the existing techniques do not focus on retaining valuable samples in the majority class(es) properly. In this article, a salp swarm optimization-based under-sampling technique (SSBUT) is proposed to address data class imbalance problems. Utilizing the proposed SSBUT, the similarity relationship among the samples of the majority class is well analyzed, and the samples that do not affect the accuracy of the classification algorithm are eliminated from the majority class. The performance of the proposed SSBUT has been tested on benchmark medical imbalanced datasets and the obtained results have been compared with state-of-the-art under-sampling techniques. The experimental results show that the proposed SSBUT consistently outperformed the state-of-the-art under-sampling techniques in terms of various evaluation criteria.

**Keywords:** Classification, Machine learning, Medical Imbalanced data classification, Salp swarm optimization, Under-sampling.

## Dengesiz Tıbbi Veri Sınıflandırması İçin Salp Sürü Tabanlı Bir Aşağı-Örnekleme Yaklaşımı

### Öz

Veri dengesizliği bir veri kümesi içindeki sınıfların eşit olmayan dağılımıdır ve makine öğrenmesi algoritmalarının başarısını doğrudan etkilemektedir. Araştırmacılar tarafından birçok yeniden örnekleme teknikleri önerilmiş olmasına rağmen, dengesiz verilerden öğrenme hala güncel zorluklardan biri olarak kabul edilmektedir. Mevcut tekniklerin birçoğu azınlık ve çoğunluk sınıflar arasındaki benzerlik ilişkilerini iyi bir şekilde yönetemediği için sınıf dengesizliği sorunu karmaşık hale gelmektedir. Ayrıca, sınıflar arasındaki karmaşık ilişkilerden dolayı mevcut tekniklerin birçoğu çoğunluk sınıf(lar)ında ki değerli örneklerin uygun bir şekilde veri kümesinde tutulmasına odaklanamaz. Bu makalede, veri sınıf dengesizliği problemini çözmek için salp sürüsü optimizasyonu yöntemi kullanılarak bir aşağı örnekleme tekniği (SSBUT) önerilmiştir. Önerilen SSBUT çoğunluk sınıfına ait örnekler arasındaki benzerlik ilişkisini iyi analiz eder ve sınıflandırma algoritmasının doğruluğunu etkilemeyen örnekleri çoğunluk sınıfından çıkarır. Önerilen SSBUT'un performansı, tıbbi dengesiz veri kümeleri üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar en güncel aşağı örnekleme teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, önerilen SSBUT tekniği birçok değerlendirme ölçütüne göre en güncel aşağı örnekleme tekniklerinden daha iyi performans sergilemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşağı-örnekleme, Makine öğrenmesi, Salp sürüsü optimizasyonu, Sınıflandırma, Tıbbi Dengesiz veri sınıflandırması.

\* Corresponding Author: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-6093-6105, [mibrahim@erbakan.edu.tr](mailto:mibrahim@erbakan.edu.tr)

# 1. Introduction

In machine learning, classification is known as a training system that is trained with a dataset whose samples are labeled [1]. This system is used to classify new unseen samples to which class it belongs [2], however, the performance of this classification almost depends on the dataset [3]. Although the datasets contain too many samples, unfortunately, there is a lack of quality in such datasets. Machine learning classification algorithms assumed that classes were distributed in the same way [4]. However, this assumption is wrong in most real-world datasets, for example, diagnosis of diseases, fraud detection, and intrusion detection, because in such datasets, one class contains more samples, while the other class contains fewer samples. This reflects on the classification algorithm's precision, thus, in such a case, although a good accuracy can be achieved, however, we don't achieve good scores according to very important evaluation metrics, such as precision (PRE), recall (REC), specificity (SPE), F1-measure (F1-M), and area under curve (AUC) [5]. This is known as the class imbalance problem [6]. The minority class(es) and the majority class(es) are known as important terms in the class imbalance problem. In an imbalanced dataset, the minimum number of samples represents the minority class(es), on the other hand, a maximum number of samples represents the majority class(es) [7]. Recently, there is a large interest in the class imbalance topic by the researchers. Thus, it is considered a challenging issue and many techniques have been developed by researchers to solve this tricky problem [8,9]. Resampling techniques are considered one of the preprocessing techniques and commonly used approaches to making the dataset balanced [10]. Resampling techniques can be performed on the imbalanced dataset with under-sampling or over-sampling techniques [11]. The under-sampling process is applied to decrease the number of samples of the majority class(es) by eliminating the samples [12,13] and the random under-sampling, nearmiss-1, nearmiss-2, condensed nearest neighbor, and repeated edited nearest neighbor are examples of the under-sampling techniques [12]. On the other hand, the over-sampling process is implemented to increase the number of minority class(es) by generating new synthetic samples [14] and the random oversampling technique (ROS) [15], synthetic minority oversampling technique (SMOTE) [16], and Borderline-SMOTE [17] are examples of the oversampling techniques. Due to the effect of imbalanced datasets on the classification algorithms, many under-sampling techniques have been developed by researchers recently. For instance, Chih-Fong Tsai et al. proposed a cluster-based instance selection (CBIS) under-sampling method using the clustering approach to find the similarity relationship between the majority class and the minority class [18]. Pattaramon Vuttipittayamongkol and Eyad Elyan proposed a Neighborhood-based under-sampling technique based

on the nearest neighbor approach. This under-sampling technique reduces the majority class by identifying and eliminating the overlapping data [19]. Debashree Devi et al. proposed an under-sampling technique called a boosting aided adaptive cluster-based under-sampling technique by using the AdaBoost ensemble learning model, the proposed under-sampling technique eliminates the insignificant data after clustering the data of the majority class [20]. In addition, a consensus clustering-based-undersampling technique [21], cluster-based under-sampling with random forest algorithm [22], cluster-based under-sampling with Random Forest classifier [23], and cluster-based majority under-sampling [24] techniques are proposed to imbalanced problems and depend on the standard clustering approach in the clustering process. In general, under-sampling techniques are based on standard clustering algorithms to find the centroid cluster, but as it is known, standard clustering algorithms are weak in the strategy of finding a cluster center of data, since they seek solutions in local search space [25]. Since the optimization algorithms have a global search space capability [26], in this article, the salp swarm optimization algorithm (SSA) [27] is exploited to find the similarity relationship among the majority class's samples.

This article is organized as follows: the material and methods are explained in Section 2. Section 3 describes the proposed under-sampling technique. Experimental results are presented and discussed in Section 4. Finally, the conclusion of the article is given in Section 5.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Medical Datasets

To evaluate the performance of the proposed optimization-based under-sampling technique, the proposed optimization-based under-sampling is applied to breast cancer, diabetes, and blood transfusion medical imbalanced datasets, and then the performance measures obtained are compared with the results of the state-of-the-art cluster-based under-sampling techniques. The medical imbalanced datasets were downloaded from the University of California, Irvine (UCI) machine learning repository [28], and the imbalanced rate (IR) for each medical imbalanced dataset was calculated according to Equation 1. The characteristics of the medical imbalanced datasets used in this article are given in Table 1 [20].

$$IR = \frac{\text{\# of samples in majority class}}{\text{\# of samples in minority class}} \tag{1}$$

Table 1. The characteristics of the medical imbalanced datasets

Dataset	Number of			Minority	Majority	IR
	instances	features	classes			
Breast cancer	683	10	2,4	4	2	1.86
Diabetes	768	8	0,1	1	0	1.87
Blood transfusion	748	4	0,1	1	0	3.2

## 2.2. Classification Algorithms and Resampling Techniques

Classification is a machine learning layered data mining method used to classify samples of a dataset. Commonly used classification algorithms such as decision trees, support vector machines, K-Nearest neighbor, and artificial neural networks perform the classification process by using their mathematical or statistical functions. The accuracy of the classification algorithms is directly proportional to the preparation of the dataset, and this accuracy generally increases in a well-prepared dataset. The main reason for this is that the training dataset used in the classification model is consistent and balanced. As the classification algorithms are used in many critical areas such as health, aviation, and information technologies, classification accuracy is very important. The class imbalance problem is found in the many datasets of real-world problems, and this problem seriously affects the performance of classification algorithms. To solve this problem, the imbalanced dataset has to be balanced with resampling techniques. In general, according to their function, the resampling technique is categorized into three categories: under-sampling, over-sampling, and hybrid sampling. When these techniques are applied to a dataset, they increase the important criteria values of the classification algorithm, because, in many classification problems, precision (PRE), recall (REC), specificity (SPE), F1-measure (F1-M), and area under curve (AUC) which are obtained from the confusion matrix may be more important than classification accuracy (CA) [29]. In the confusion matrix given in Figure 1 the TP, TN, FP, and FN represent the true positive, true negative, false positive, and false negative, respectively.

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	True positive (TP)	False negative (FN)
	Negative	False positive (FP)	True negative (TN)

Figure 1. Confusion matrix

The equations of the evaluation measurements: PRE, REC, SPE, F1-M, and AUC are given below as Equations 2, 3, 4, 5, and 6 respectively [9].

$$PRE = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$REC = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

$$F1 - M = 2 * \frac{REC * PRE}{REC + PRE} \quad (5)$$

$$AUC = \frac{1}{2} * \left[ \frac{TP}{TP + FN} + \frac{TN}{TN + FP} \right] \quad (6)$$

## 3. The Proposed Under-sampling Technique

In this section, the proposed SSBUT is explained in detail. The proposed SSBUT copes with the imbalanced problem by eliminating redundant samples of the majority class. Samples of the majority class need to be well analyzed before they can be

eliminated, because, if the designed under-sampling technique causes to eliminate very important samples of the majority class instead of a redundant one, it will seriously affect the performance of the classification algorithms. Therefore, the designed under-sampling technique needs to discover the data distribution and similarity relationships among the majority class data very well. Many under-sampling techniques usually find the similarity relationship among samples of the majority class with traditional methods that have local searches such as k-mean and c-mean clustering [25]. However, the proposed SSBUT is used an optimization approach that has a global search to discover the similarity relationship among the samples of the majority class. SSA [27] developed by Ali is used as an optimization approach. The mathematical model of the SSA is inspired by salps behavior and movements. The steps of the proposed SSBUT are given below.

Step 1: Determine the majority class and divided the samples of the majority class into a certain number of clusters (supply from the user).

Step 2: Random cluster centers are generated and the clustering process takes place according to the distance equation by assigning the sample to the cluster centroid having the smallest value. In this article, the Euclidean distance equation given in Equation 7 is used as a distance equation [30].

$$E^D(X_i, C_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^p (X_{il} - C_{jl})^2} \quad (7)$$

Where  $X_i; i = 1, 2, \dots, n$  where  $n$  a number of samples in the majority class, each sample with  $p$  attributes and  $C_j; j = 1, 2, \dots, k$ ; where  $k$  is the number of clusters in the majority class.

Step 3: Solutions are produced according to the sum of the within-cluster distances fitness function as much as the population size, and the best solution is determined among the solutions. The sum of the within-cluster distances ( $S_w$ ) index given in Equation 8 is used as internal cluster validation [31] and also represents the fitness function of the optimization algorithm.

$$S_w = \sum_{k=1}^q \sum_{i, j \in C_k \text{ and } i < j} d(x_i, x_j) \quad (8)$$

In Equation 8,  $q$  is the number of clusters and  $d(x_i, x_j)$  represents the distance between  $x_i$  and  $x_j$  samples in the cluster  $C_k$ .

Step 4: Based on Equations 9, 10, and 11, SSA attempts to improve the bad solutions by using the best solution.

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + C_1 ((ub_j - lb_j)C_2 + lb_j) & C_3 \geq 0 \\ F_j - C_1 ((ub_j - lb_j)C_2 + lb_j) & C_3 < 0 \end{cases} \quad (9)$$

where  $x_j^1$  shows the best cluster's center in the  $j$ th dimension,  $F_j$  is the cluster's center in the  $j$ th dimension,  $ub_j$  and  $lb_j$  indicate the



upper bound and the lower bound of  $j$ th dimension, respectively, and  $C_1$ ,  $C_2$ , and  $C_3$  are random numbers between  $[0,1]$ . In Eq. 10, the  $C_1$  which helps to balance exploration is the most important parameter in SSA.

$$C_1 = 2e^{-\left(\frac{4l}{L}\right)^2} \tag{10}$$

where  $l$  and  $L$  are the current iteration and the maximum number of iterations, respectively. To obtain the best cluster centers the bad cluster centers in the swarm are updated according to the best cluster centers by Equation 11.

$$x_j^i = \frac{1}{2}(x_j^i + x_j^{i-1}) \tag{11}$$

where  $i \geq 2$  and  $x_j^i$  indicate the new cluster's center of  $i$ th follower salp in  $j$ th dimension. The Pseudocode of the SSA algorithm is given in Figure 2.

```

Initialize the salp population  $x_i(i = 1, 2, \dots, n)$  considering  $ub$  and  $lb$ 
while (end condition is not satisfied)
    Calculate the fitness of each search agent (salp)
     $F =$  the best search agent
    Update  $c_1$  by Eq. (10)
    for each salp ( $x_i$ )
        if ( $i == 1$ )
            Update the position of the leading salp by Eq.(9)
        else
            Update the position of the follower salp by Eq. (11)
        end
    end
    Amend the salps based on the upper and lower bounds of variables
End
return  $F$ 
    
```

Figure 2. Pseudocode of the SSA algorithm

Step 5: Eliminate the redundant samples from the majority class.

## 4. Experimental

### 4.1. Results

In this section, to illustrate the effectiveness of the proposed SSBUT, the proposed SSBUT was compared with recent state-of-the-art cluster-based under-sampling techniques existing in [20] given in Table 2.

Table 2. The name of used under-sampling technique and classification algorithms

Technique / Classifier	Technical name	abbreviation
Technique	Sampling based on Clustering with Near Miss 1	SBCNM-1
	Sampling based on Clustering with Near Miss2	SBCNM-2
	Sampling based on Clustering with Near Miss2	SBCNM-3
	Sampling based on Clustering with Most Distance	SBCMD
	Sampling based on Clustering with Most Far	SBCMF
	SMOTE and Cluster Based under sampling	SCUT
	Clustering+OSS	ClusterOSS
	Boosting driven Cluster-based Under-sampling	BoostingCBU
Classifier	Decision Tree C4.5	C4.5
	Support vector Machine	SVM
	Nave Bayes	NB

All the experiments were conducted on a machine with an Intel Core i7@2.00 GHz processor and 8 GB memory, running on Microsoft Windows 10 OS. The proposed SSBUT was coded

using Visual Studio 2019 with the C# language. The parameter setting of used classification algorithms is given in Table 3.

Table 3. The parameter setting of used classification algorithms

Classifier	Parameter Name	Parameter setting
Decision Tree	MergeLeaves	On
	MinLeaf	1
	MinParent	10
	Weight	Unit matrix, $w$ of dimension $[l \times l]$ ; $l$ is number of training instances
SVM	Kernel function	Gaussian Radial Basis function
	Method	Least squares (LS)
	Scaling factor (rbf-sigma)	0-1
NB	Distiribution prior	Kernael, normal Empirical, uniform
	Distiribution	Kernael, normal

In all experiments, the performance measures PRE, REC, SPE, F1-M, and AUC are obtained using tenfold cross-validation. Tables 4, 5, and 6 list the complete experimental results of C4.5,

SVM, and NB classification algorithms for medical imbalanced datasets, respectively and in each table, the best result is in boldface.

Table 4. The performance measurements of under-sampling techniques using the C4.5 classifier

Dataset	Technique	PRE	REC	SPE	F1-M	AUC
Breast cancer	SBCNM-1	71.10	69.71	74.97	79.14	0.56
	SBCNM-2	62.40	75.88	60.76	79.60	0.78
	SBCNM-3	70.16	63.35	60.99	65.37	0.73
	SBCNMD	66.06	80.85	68.83	73.10	0.51
	SBCNMF	67.25	83.35	73.06	85.87	0.77
	SCUT	78.15	84.24	79.98	84.66	0.77
	ClusterOSS	77.23	76.68	80.83	92.56	0.89
	BoostingCBU	88.59	73.87	81.55	92.56	<b>0.97</b>
	SSBUT	<b>94.38</b>	<b>93.86</b>	<b>93.73</b>	<b>95.48</b>	0.96
Diabetes	SBCNM-1	65.77	74.92	56.56	63.85	0.54
	SBCNM-2	56.60	69.43	55.07	66.62	0.55
	SBCNM-3	70.53	71.51	56.60	62.60	0.73
	SBCNMD	60.72	72.60	64.49	75.03	0.52
	SBCNMF	74.12	67.75	67.10	58.19	0.59
	SCUT	76.33	70.55	63.77	67.83	0.64
	ClusterOSS	63.68	64.80	68.35	60.99	0.88
	BoostingCBU	<b>83.05</b>	<b>83.90</b>	<b>74.82</b>	<b>74.79</b>	<b>0.88</b>
	SSBUT	79.48	78.83	78.17	78.79	0.82
Blood transfusion	SBCNM-1	71.38	69.39	60.24	66.74	0.61
	SBCNM-2	65.76	76.50	68.29	71.99	0.64
	SBCNM-3	67.48	74.03	68.94	74.81	0.60
	SBCNMD	69.98	78.87	68.98	77.74	0.60
	SBCNMF	77.00	82.95	71.02	75.75	0.75
	SCUT	71.60	84.43	70.07	81.62	0.74
	ClusterOSS	82.62	83.29	73.10	77.20	0.60
	BoostingCBU	77.46	<b>88.80</b>	<b>81.06</b>	<b>91.12</b>	<b>0.85</b>
	SSBUT	<b>86.38</b>	84.80	84.86	81.00	0.83

Table 5. The performance measurements of under-sampling techniques using the SVM classifier

Dataset	Technique	PRE	REC	SPE	F1-M	AUC
Breast cancer	SBCNM-1	76.29	87.12	62.54	78.27	0.66
	SBCNM-2	74.49	66.46	69.18	73.20	0.72
	SBCNM-3	68.44	78.31	75.84	79.19	0.81
	SBCNMD	75.08	60.82	79.53	81.15	0.67
	SBCNMF	74.15	70.69	71.15	82.35	0.84
	SCUT	80.42	74.76	84.25	70.52	0.71
	ClusterOSS	73.77	72.63	80.31	80.90	0.86
	BoostingCBU	86.28	87.64	73.28	85.39	0.92
	SSBUT	<b>91.53</b>	<b>91.81</b>	<b>90.57</b>	<b>91.00</b>	<b>0.93</b>
Diabetes	SBCNM-1	60.54	55.92	56.94	71.47	0.51
	SBCNM-2	68.11	58.42	69.12	55.64	0.68
	SBCNM-3	68.57	70.15	69.86	62.84	0.65
	SBCNMD	69.84	60.54	72.74	74.01	0.81
	SBCNMF	66.33	73.74	71.88	74.39	0.82
	SCUT	79.14	69.71	<b>76.01</b>	62.84	0.78
	ClusterOSS	75.81	62.44	66.96	73.67	0.63
	BoostingCBU	<b>81.29</b>	<b>83.12</b>	67.54	<b>83.27</b>	<b>0.88</b>
	SSBUT	78.92	77.67	77.23	76.48	0.83
Blood transfusion	SBCNM-1	70.94	65.93	74.89	63.78	0.76
	SBCNM-2	77.68	67.20	67.56	69.20	0.61
	SBCNM-3	74.48	67.78	70.05	71.59	0.66
	SBCNMD	80.80	76.90	75.42	77.04	0.74
	SBCNMF	78.39	85.70	78.80	75.45	0.78
	SCUT	72.76	73.60	76.26	70.74	0.57
	ClusterOSS	76.03	71.14	73.60	71.85	0.78
	BoostingCBU	90.35	86.20	81.32	84.24	0.83
	SSBUT	<b>92.61</b>	<b>92.13</b>	<b>90.69</b>	<b>91.17</b>	<b>0.91</b>

Table 6. The performance measurements of under-sampling techniques using the NB classifier

Dataset	Technique	PRE	REC	SPE	F1-M	AUC
Breast cancer	SBCNM-1	78.99	63.51	69.63	60.60	0.66
	SBCNM-2	75.03	65.10	70.12	73.98	0.90
	SBCNM-3	79.60	81.10	72.04	63.05	0.90
	SBCNMD	67.54	69.38	79.29	69.32	0.78
	SBCNMF	81.29	69.87	83.59	72.00	0.63
	SCUT	68.93	70.02	77.32	74.47	0.69
	ClusterOSS	72.03	81.62	76.71	75.99	0.93
	BoostingCBU	84.65	69.88	68.57	79.95	<b>0.97</b>
	SSBUT	<b>92.63</b>	<b>91.81</b>	<b>92.18</b>	<b>90.75</b>	0.94
Diabetes	SBCNM-1	57.80	62.35	61.68	64.69	0.65
	SBCNM-2	65.64	66.32	59.14	65.20	0.55
	SBCNM-3	69.83	62.44	61.78	67.48	0.53
	SBCNMD	77.28	66.13	70.53	64.03	0.52
	SBCNMF	75.03	65.10	70.12	73.98	0.71
	SCUT	78.36	79.39	73.21	67.08	0.81
	ClusterOSS	<b>79.66</b>	69.38	81.73	71.30	0.73
	BoostingCBU	87.93	72.15	<b>83.93</b>	<b>83.84</b>	<b>0.87</b>
	SSBUT	75.81	<b>75.27</b>	74.84	74.61	0.79
Blood transfusion	SBCNM-1	69.74	68.72	68.94	66.13	0.79
	SBCNM-2	71.64	71.68	76.90	76.51	0.71
	SBCNM-3	74.66	70.68	77.17	72.99	0.74
	SBCNMD	71.56	79.21	78.39	74.15	0.63
	SBCNMF	74.34	73.81	68.12	69.52	0.70
	SCUT	74.59	71.23	79.82	70.73	0.87
	ClusterOSS	71.84	70.90	71.87	75.41	0.73
	BoostingCBU	71.80	75.51	86.82	70.61	0.86
	SSBUT	<b>83.29</b>	<b>83.58</b>	<b>82.83</b>	<b>80.86</b>	<b>0.93</b>

## 4.2. Discussion

In this section, the results of Tables 4, 5, and 6 are discussed to demonstrate the superiority of the proposed SSBUT over the considered state-of-the-art under-sampling techniques. When considering the C4.5 classification algorithm, the proposed SSBUT in the breast cancer dataset achieved better results than all compared under-sampling techniques with PRE, REC, SPE, and F1-M values of 94.38, 93.86, 93.73, and 95.48, respectively. However, in terms of the AUC criterion, the BoostingCBU method performed better than the proposed method. In the diabetes dataset, the proposed SSBUT outperformed the other under-sampling techniques, except the BoostingCBU technique. In the blood transfusion dataset, the proposed SSBUT performs well only in the PRE criteria with a value of 86.38, the BoostingCBU technique outperformed all the techniques in other criteria. When the proposed SSBUT was evaluated in terms of the SVM classification algorithm, the proposed SSBUT achieved better success than other techniques with PRE, REC, SPE, F1-M, and AUC values of 91.53, 91.81, 90.57, 91.00, and 0.93, respectively, in the breast cancer dataset. In the diabetes dataset, the BoostingCBU technique demonstrated better performance from the proposed SSBUT and the other under-sampling techniques. However, in the blood transfusion dataset, the proposed SSBUT outperformed all used under-sampling techniques with PRE, REC, SPE, F1-M, and AUC values of 92.61, 92.13, 90.69, 91.17, 0.91, respectively. When we examine the results of the BoostingCBU technique, it can be observed that the BoostingCBU technique gets good results, especially in the diabetes dataset, but the PRE, REC, and SPE values obtained by the BoostingCBU technique are fluctuating. As a result, the proposed SSBUT boosts the classification accuracy on the

medical datasets by eliminating unimportant samples from the majority class.

## 5. Conclusion

Machine learning classification algorithms are widely used in critical fields such as medicine, aviation, and banking, thus the accuracy of these classification algorithms depends on the consistency and balance of the dataset. In this article, an optimization-based under-sampling technique named SSBUT is proposed to solve the class imbalance problem. The proposed SSBUT is used to balance the dataset that has class imbalanced by eliminating the redundant samples from the majority class. There is a very important role of the SSA in discovering the similarity relationship among the majority class's samples. The proposed SSBUT is applied to medical imbalanced datasets. The performance of the proposed SSBUT is demonstrated by comparing it with the existing state-of-the-art under-sampling techniques in [20] on medical imbalanced datasets. The experiments illustrate that the proposed SSBUT achieves better performance measurements in breast cancer and blood transfusion medical imbalanced datasets. For future work, the number of clusters in the majority class will be determined using the entropy of the majority class.

## References

1. Han J, Pei J, Kamber M. (2011). Data mining: concepts and techniques. Elsevier.
2. Sen PC, Hajra M, Ghosh M. (2020). Supervised classification algorithms in machine learning: A survey and review. In:

- Emerging technology in modelling and graphics. Springer, pp 99-111.
3. Özkaya, U., Öztürk, Ş., Barstugan, M. (2020). Coronavirus (COVID-19) classification using deep features fusion and ranking technique. In *Big Data Analytics and Artificial Intelligence Against COVID-19: Innovation Vision and Approach* (pp. 281-295). Springer, Cham.
  4. Kwon O, Sim JM. (2013). Effects of data set features on the performances of classification algorithms. *Expert Systems with Applications* 40 (5):1847-1857.
  5. Atomi WH. (2012). The effect of data preprocessing on the performance of artificial neural networks techniques for classification problems. *Universiti Tun Hussein Onn Malaysia*.
  6. Rout N, Mishra D, Mallick MK. (2018). Handling imbalanced data: a survey. In: *International proceedings on advances in soft computing, intelligent systems and applications*. Springer, pp 431-443.
  7. Leevy JL, Khoshgoftaar TM, Bauder RA, Seliya N. (2018). A survey on addressing high-class imbalance in big data. *Journal of Big Data* 5 (1):1-30.
  8. Singh A, Purohit A. (2015). A survey on methods for solving data imbalance problem for classification. *International Journal of Computer Applications* 127 (15):37-41.
  9. Ibrahim MH. (2021). ODBOT: Outlier detection-based oversampling technique for imbalanced datasets learning. *Neural Computing and Applications* 33 (22):15781-15806.
  10. Hasib KM, Iqbal M, Shah FM, Mahmud JA, Popel MH, Showrov M, Hossain I, Ahmed S, Rahman O. (2020). A survey of methods for managing the classification and solution of data imbalance problem. *arXiv preprint arXiv:201211870*.
  11. Abd Elrahman SM, Abraham A. (2013). A review of class imbalance problem. *Journal of Network and Innovative Computing* 1 (2013):332-340.
  12. More A. (2016). Survey of resampling techniques for improving classification performance in unbalanced datasets. *arXiv preprint arXiv:160806048*.
  13. Vuttipittayamongkol P, Elyan E, Petrovski A, Jayne C. (2018). Overlap-based undersampling for improving imbalanced data classification. In: *International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, Springer, pp 689-697
  14. Amin A, Anwar S, Adnan A, Nawaz M, Howard N, Qadir J, Hawalah A, Hussain A. (2016). Comparing oversampling techniques to handle the class imbalance problem: A customer churn prediction case study. *IEEE Access* 4:7940-7957.
  15. Chowdhury A, Alspector J. (2003). Data duplication: an imbalance problem? In: *ICML'2003 Workshop on Learning from Imbalanced Data Sets (II)*, Washington, DC.
  16. Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO, Kegelmeyer WP. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of artificial intelligence research* 16:321-357.
  17. Han H, Wang W-Y, Mao B-H. (2005). Borderline-SMOTE: a new over-sampling method in imbalanced data sets learning. In: *International conference on intelligent computing*, 2005. Springer, pp 878-887.
  18. Tsai C-F, Lin W-C, Hu Y-H, Yao G-T. (2019). Under-sampling class imbalanced datasets by combining clustering analysis and instance selection. *Information Sciences* 477:47-54.
  19. Vuttipittayamongkol P, Elyan E. (2020). Neighbourhood-based undersampling approach for handling imbalanced and overlapped data. *Information Sciences* 509:47-70.
  20. Devi D, Namasudra S, Kadry S. (2020). A boosting-aided adaptive cluster-based undersampling approach for treatment of class imbalance problem. *International Journal of Data Warehousing and Mining (IJDWM)* 16 (3):60-86.
  21. Onan A. (2019). Consensus clustering-based undersampling approach to imbalanced learning. *Scientific Programming* 2019.
  22. Arafat MY, Hoque S, Farid DM. (2017). Cluster-based under-sampling with random forest for multi-class imbalanced classification. In: *2017 11th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)*. IEEE, pp 1-6.
  23. Miah MO, Khan SS, Shatabda S, Farid DM. (2019). Improving detection accuracy for imbalanced network intrusion classification using cluster-based under-sampling with random forests. In: *2019 1st international conference on advances in science, engineering and robotics technology (ICASERT)*, 2019. IEEE, pp 1-5.
  24. Zhang Y-P, Zhang L-N, Wang Y-C. (2010). Cluster-based majority under-sampling approaches for class imbalance learning. In: *2010 2nd IEEE International Conference on Information and Financial Engineering*, IEEE, pp 400-404
  25. IBRAHIM MH. (2020). WBBA-KM: a hybrid weight-based bat algorithm with K-means algorithm for cluster analysis. *Politeknik Dergisi*:1-1.
  26. Khishe M, Mosavi MR. (2020). Chimp optimization algorithm. *Expert systems with applications* 149:113338.
  27. Mirjalili S, Gandomi AH, Mirjalili SZ, Saremi S, Faris H, Mirjalili SM. (2017). Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software* 114:163-191.
  28. Asuncion A, Newman D. (2007). *UCI machine learning repository*. Irvine, CA, USA.
  29. Gorunescu F. (2011). *Data Mining: Concepts, models and techniques*, vol 12. Springer Science & Business Media.
  30. Giancarlo R, Bosco GL, Pinello L. (2010). Distance functions, clustering algorithms and microarray data analysis. In: *International Conference on Learning and Intelligent Optimization*, Springer, pp 125-138.
  31. Charrad M, Ghazzali N, Boiteux V, Niknafs A. (2014). *NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set* | Charrad | *Journal of Statistical Software*.



# Türkçe Metin Madenciliği için Dikkat Mekanizması Tabanlı Derin Öğrenme Mimarilerinin Değerlendirilmesi

Aytuğ Onan\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>\* İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9434-5880), [aytugonan@gmail.com](mailto:aytugonan@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082379)

**ATIF/REFERENCE:** Onan, A. (2022). Türkçe metin madenciliği için dikkat mekanizması tabanlı derin öğrenme mimarilerinin değerlendirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 403-407.

## Öz

Son yıllarda, hesaplama maliyetlerindeki düşüşler ve veri hacmindeki artışlar ile, büyük veri üzerinde etkin öğrenme modelleri oluşturmaya yönelik derin sinir ağı modelleri alanında önemli başarımlar elde edilmeye başlanmıştır. Derin sinir ağı mimarileri, duygu analizi, metin sınıflandırma, makine çevirisi gibi doğal dil işleme problemlerinin yanı sıra, konuşma tanıma, bilgisayarla görme gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Metin sınıflandırma problemlerinde, tekrarlayan sinir ağları, uzun kısa süreli bellek mimarisi ve geçitli tekrarlayan birim gibi mimariler etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Tekrarlayan sinir ağları (RNN), uzun süreli bağımlılıkları öğrenirken verimli değildir. Bu mimaride, belirteçler sırayla işlenir ve her belirteçten sonra görülen verileri temsil eden bir durum vektörü elde edilir. RNN tabanlı mimariler, kaybolan gradyan sorunu nedeniyle, uzun tümceler sonundaki durumun genellikle erken gözlemlenen belirteçlere ilişkin bilgi içermemesi sorununa neden olur. Dikkat mekanizması, bir modelin tümcedeki daha önceki bir noktanın durumuna doğrudan bakmasını ve bundan yararlanabilmesini olanaklı kılar. Böylelikle, tüm durumlara erişilebilir ve mevcut belirteçle öğrenilmiş bazı ilgi ölçütlerine göre, çok uzaktaki ilgili belirteçler hakkında daha net bilgi sağlanarak, daha etkin bir metin modelleme gerçekleştirilebilir. Dikkat mekanizması, makine çevirisi, metin özetleme başta olmak üzere birçok doğal dil işleme görevinde başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Türkçe duygu analizi için dikkat mekanizması tabanlı derin öğrenme mimarilerinin başarımları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Deneysel analizlerde, tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM), geçitli tekrarlayan birim mimarisi (GRU), küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM, kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM, hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM, küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU, kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU ve hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU değerlendirilmiştir. Dikkat mekanizması tabanlı mimarilerin, duygu analizi için doğru sınıflandırma oranını önemli ölçüde artırdığı gözlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzun kısa süreli bellek, Dikkat Mekanizması, Metin Madenciliği, Derin Öğrenme, Makine Öğrenmesi.

## Evaluation of Attention Mechanism-Based Deep Learning Architectures for Turkish Text Mining

### Abstract

In recent years, with the decrease in computational costs and the increase in data volume, significant achievements have been done in the field of deep neural network models for constructing effective learning models on big data. Deep neural network architectures have been successfully applied in many fields such as speech recognition, computer vision, as well as natural language processing problems such as sentiment analysis, text classification, and machine translation. In text classification problems, architectures such as recurrent neural networks, long-short-term memory architecture and gated recurrent unit are effectively used. Recurrent neural networks (RNN) are not efficient when learning long-term dependencies. In this architecture, tokens are processed sequentially, resulting in a state vector representing the data seen after each token. RNN-based architectures suffer from the problem that the state at the end of long sentences often does not contain information about early observed markers, due to the vanishing gradient problem. The attention mechanism makes it possible for a model to look directly at the state of an earlier point in the sentence and take advantage of it. Thus, all cases can be accessed and a more effective text modeling can be performed by providing clearer information about very distant related markers, according to some criteria of relevance learned with the current marker. The attention mechanism has been successfully applied in many natural language processing tasks, especially machine translation and text summarization. In this study, the performances of attention mechanism-based deep learning architectures for Turkish sentiment analysis are comparatively examined. In experimental analysis, recurrent neural network, long short-term memory architecture (LSTM), gated recurrent unit architecture (GRU), global attention mechanism-based LSTM, self-attention mechanism-based LSTM, hierarchical attention mechanism-based LSTM, global attention mechanism-based GRU, self-attention mechanism-based GRU and hierarchical attention mechanism-based GRU were evaluated. Attention mechanism-based architectures are observed to significantly increase the rate of correct classification for sentiment analysis.

**Keywords:** Long short-term memory, Attention mechanism, Text mining, Deep learning, Machine learning.

\* Sorumlu Yazar: [g.kocamanoglu@hotmail.com](mailto:g.kocamanoglu@hotmail.com)

## 1. Giriş

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler ile, metin belgesi türündeki veri hacminde önemli artışlar meydana gelirken, buna paralel olarak, hesaplama maliyetinde de önemli düşüşler meydana gelmiştir. Büyük veri üzerinde, etkin öğrenme modelleri oluşturulmasına yönelik derin sinir ağı modelleri alanında önemli başarımlar elde edilmektedir. Derin sinir ağı mimarileri, duygu analizi, metin sınıflandırma, makine çevirisi gibi doğal dil işleme problemlerinin yanı sıra, konuşma tanıma, bilgisayarla görme gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır [1]. Metin sınıflandırma, metin belgelerinin önceden belirlenmiş sınıf etiketlerinden birine atanmasına yönelik bir doğal dil işleme (DDİ) çalışma alanıdır. Görüş madenciliği olarak da adlandırılan duygu analizi, kaynak materyallerdeki bir varlığa yönelik görüş, duygu, tutum gibi öznal bilgileri çıkarmaya yönelik bir disiplinlerarası araştırma alanıdır [2, 3]. Duygu analizi kullanılarak insanların belirli bir olaya yönelik görüşlerinin belirlenmesi, karar verme sürecinin faktörleri ve etkileycilerinin belirlenmesi, yönetim bilimleri, siyaset bilimi, ekonomi ve sosyal bilimler gibi birçok disiplin için oldukça önemli olabilmektedir [4].

Metin sınıflandırma problemlerinde, tekrarlayan sinir ağları, uzun kısa süreli bellek mimarisi ve geçitli tekrarlayan birim gibi mimariler etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Tekrarlayan sinir ağları (RNN), uzun süreli bağımlılıkları öğrenirken verimli değildir. Bu mimaride, belirteçler sırayla işlenir ve her belirteçten sonra görülen verileri temsil eden bir durum vektörü elde edilir. RNN tabanlı mimariler, kaybolan gradyan sorunu nedeniyle, uzun tümcelerin sonundaki durumun genellikle erken gözlemlenen belirteçlere ilişkin bilgi içermemesi sorununa neden olur. Dikkat mekanizması, bir modelin tümcedeki daha önceki bir noktanın durumuna doğrudan bakmasını ve bundan yararlanabilmesini olanaklı kılar. Böylelikle, tüm durumlara erişilebilir ve mevcut belirteçle öğrenilmiş bazı ilgi ölçütlerine göre, çok uzaktaki ilgili belirteçler hakkında daha net bilgi sağlanarak, daha etkin bir metin modelleme gerçekleştirilebilir. Dikkat mekanizması, makine çevirisi, metin özetleme başta olmak üzere birçok doğal dil işleme görevinde başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Türkçe duygu analizi için dikkat mekanizması tabanlı derin öğrenme mimarilerinin başarımları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Deneysel analizlerde, tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM), geçitli tekrarlayan birim mimarisi (GRU), küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM, kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM, hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM, küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU, kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU ve hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU değerlendirilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu bölümlerden oluşmaktadır: İkinci bölümde, ilgili çalışmalara değinilmektedir, üçüncü bölümde çalışmanın metodolojisini oluşturan derin öğrenme mimarileri ve dikkat mekanizması yaklaşımları tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde, deneysel sonuçlar ve tartışma, son bölümde ise çalışmanın temel sonuçları sunulmaktadır.

## 2. İlgili Çalışmalar

Dikkat mekanizmasına dayalı mimariler, duygu analizi, metin sınıflandırma, makine çevirisi gibi birçok doğal dil işleme görevlerinde başarıyla uygulanmaktadır. Örneğin, Munkhdalai

vd. [5] tarafından tekrarlayan sinir ağı ve yinelemeli sinir ağı tabanlı iki derin sinir ağı mimarisi geliştirilmiştir. Geliştirilen mimari, bir öncül ve bir hipotez temsilini öğrenen ve daha sonra bunları bir dikkat mekanizması aracılığıyla birleştiren sözdizimsel ayrıştırılmadan bağımsız ağaç yapılı bir modeldir. Bir diğer çalışmada, Yang vd. [6] tarafından metin belgelerinin hiyerarşik yapısını modellemek amacıyla, hiyerarşik dikkat ağı adı verilen bir mimari geliştirilmiştir. Geliştirilen mimeri, sözcük ve tümcelerin bilgi vericilik açısından farklılık göstermesi nedeniyle sözcük ve tümce düzeyinde uygulanan iki adet dikkat mekanizması uygulamaktadır. Mimarinin temelinde kodlayıcı olarak, geçitli tekrarlayan kapı mimarisi kullanılmıştır. Önerilen yöntem, test edildiği altı farklı doğal dil işleme görevinde, güncel mimari ve yöntemlere kıyasla daha yüksek başarımlar elde etmiştir. Bir başka çalışmada, Yin vd. [7] önceki modeli genişleterek, en-boy tabanlı duygu analizi görevi için hiyerarşik bir yinelemeli dikkat modeli önermiştir. En-boy temelli model, bir makine anlama problemi olarak modellenmiştir. Model, hiyerarşik dikkat ağı tabanlı mimariye kıyasla daha yüksek başarımlar elde etmiştir. Lin vd. [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kendine dikkat tabanlı bir mimari geliştirilmiştir. Bu model, tümce gömme için yeni bir model önermektedir. İlgili temsilde, her gömme, matrisin her satırının tümcenin farklı bir kısmına katıldığı 2 boyutlu bir matrise karşılık gelir. Öncelikle tümce bir RNN'den geçirilir. Ardından, her RNN durumu için birden fazla dikkat değeri öğrenilir ve ardından her bir dikkat vektörü bir ağırlık terimi eklenerek tümcenin farklı bölümlerine odaklanır. İlgili model hem duygu analizi hem de metin sınıflandırma problemlerinde yüksek başarımlar elde etmiştir. Chen vd. [9] tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada, genel kullanıcı tercihini ve ürün özelliklerini belirlemeye yönelik olarak LSTM ve dikkat mekanizmasına dayalı bir mimari gerçekleştirimi yapılmıştır. Liu vd. [10] tarafından iki yönlü LSTM'e dayalı ve gizli katmanlardan gelen bilgi çıkışına odaklanmak amacıyla dikkat mekanizması kullanan bir model geliştirilmiştir. Bu mimaride, daha yüksek seviyeli ifade temsillerini çıkarabilmek amacıyla, LSTM tabanlı mimari, evrişimli sinir ağı ile birleştirilmiştir. Fu vd. [11] tarafından geliştirilen başka bir çalışmada ise, LSTM tabanlı derin sinir ağı mimarisine, sözlük tabanlı bir dikkat mekanizması dahil edilmiştir. Böylelikle, belirli bir Genel olarak, sözlük, belirli bir hedefe sahip olmak yerine tüm metnin genel bilgisini kullanan bir dikkat mekanizması ile kelime yerleştirmelerinin kelimeleri temsil etme yeteneğini geliştirir.

## 3. Metodoloji

Bu bölümde, deneysel analizlerde kullanılan kelime gömme yöntemi, derin öğrenme algoritmaları ve dikkat mekanizması yaklaşımları sunulmaktadır.

### 3.1. word2vec Modeli

Kelimelerin sürekli vektörler olarak gösterilmesine dayanan word2vec modeli, en temel kelime gömme modellerinden biridir [12]. Word2vec modelinin temel fikri, model eğitimi sırasında sürekli vektörlerle çoklu benzerlik ilişkilerinin yakalanabilmesidir. Word2vec, girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katmanı içeren yapay sinir ağı tabanlı bir dil modelleme yöntemidir. Word2vec, kelime vektörlerini eğitmek için iki temel algoritma içerir: sürekli kelime torbası (CBOW) ve atlama gramı (SG). CBOW modelinde bağlam vektörü, bağlam penceresindeki kelime vektörlerinin toplamından elde edilir. SG algoritmasında hedef kelimeyi çevreleyen kelimeler, hedef

kelime üzerinden belirlenir. CBOW algoritması, az miktarda veri ile etkili bir şekilde çalışabilir. SG mimarisi hesaplama açısından daha maliyetlidir ve büyük veri kümelerinde daha etkili sonuçlar verir [13].

### 3.2. Derin Öğrenme Algoritmaları

Tekrarlayan sinir ağı (RNN), sıralı verileri işlemek için kullanılan bir derin öğrenme mimarisi türüdür. RNN'de, nöronlar arasındaki bağlantılar yönlendirilmiş bir grafik oluşturur. Bu mimaride, girdi dizisini işlemek için dahili durum kullanılmıştır. Bu nedenle mimari, konuşma tanıma gibi sıralı görevler için başarıyla kullanılabilir. RNN'de, her bir çıktı, dizinin örnekleri üzerinde aynı görevin tekrar tekrar işlenmesiyle belirlenir. Daha önceki tüm hesaplamalara dayanarak, çıktı belirlenir [14, 15].

Uzun kısa süreli bellek ağları (LSTM), tekrarlayan sinir ağlarına dayalı başka bir derin öğrenme mimarisidir. Geleneksel RNN mimarisinde patlayan veya kaybolan gradyan problemi gözlemlenmektedir. RNN'de, oldukça uzun giriş dizileri uygun şekilde işlenemez. Yanıt olarak, LSTM sorunların üstesinden gelmek için unutma kapılarını kullanır. LSTM mimarisinde, sınırlı sayıda zaman adımına kadar hatanın geri yayılmasına izin verilmiştir. Tipik bir LSTM ünitesi için, bir hücrede, giriş kapısı, çıkış kapısı ve unutma kapısı olmak üzere üç çeşit kapı vardır. Kapılar üzerindeki açma ve kapama işlemleri, hangi bilgilerin korunması gerektiğini ve bilgilere ne zaman erişilmesi gerektiğini kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır [16].

Geçitli tekrarlayan birim mimarisi (GRU), tekrarlayan sinir ağlarına dayalı başka bir derin öğrenme mimarisidir [17]. Tipik bir GRU mimarisinde, sıfırlama kapısı ve güncelleme kapısı olmak üzere iki kapı bulunmaktadır.

### 3.3. Dikkat Mekanizması Yöntemleri

Küresel dikkat mekanizması yönteminde, dikkat ağırlık vektörü  $\alpha$  ve ağırlıklı gizli temsil  $r$ ,  $H \in R^{d \times N}$ , derin sinir ağı gizli vektörlerini  $[h_1, \dots, h_N]$ ,  $d$ , gizli katman boyutunu,  $W$ , eğitim sürecinde öğrenilen ağırlık değerlerini ve  $v_\alpha$  kelime gömmeyi temsil etmek üzere, sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'e göre belirlenir [18, 19]:

$$M = \tanh \left( \begin{bmatrix} W_h H \\ W_v v_\alpha \otimes e_N \end{bmatrix} \right)$$

$$\alpha = \text{softmax} (W^T M)$$

$$r = H \alpha^T$$

Küresel dikkat mekanizması yönteminde, her bir  $t$  zaman adımında, mevcut hedef durumu  $h_t$  ve tüm kaynak durumları  $h_s^*$  değişken uzunlukta bir hizalama ağırlık vektörü olan  $\alpha_t$  vektörünü oluşturur. Küresel bağlam vektörü ( $c_t$ ) daha sonra tüm kaynak durum üzerinden  $\alpha_t$  vektörüne göre ağırlıklı ortalama olarak hesaplanır. Böylelikle, kodlayıcı RNN yapısının tüm gizli durumlarına dayalı ağırlıklandırılmış bir bağlam vektörü elde edilmesi amaçlanır. Küresel dikkat mekanizması, tüm girdi durum uzayını dikkate alır.

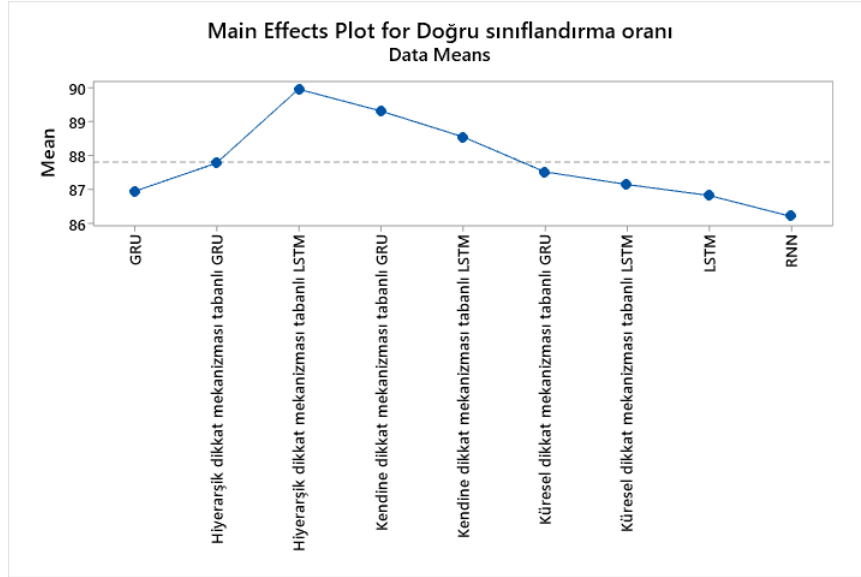
Kendine dikkat mekanizması yönteminde, dikkat mekanizmasının tümcenin bölümlerine odaklanmasına izin verilerek RNN tabanlı mimarilerin daha önce değinilen

problemlerinin ortadan kaldırılması amaçlanır. Burada, bölümün uygunluğu modelleme yapılan göreve yapılan katkıya göre belirlenir. Giriş dizisinden türetilen aynı gizli durum uzayının farklı konumları, birden çok bileşenin birlikte bir dizinin genel semantiğini oluşturduğu argümanına dayalı olarak farklı konumlarla ilişkilidir. Bu yaklaşım, birden fazla atlamının dikkati yoluyla farklı şekilde konumlanmış bilgileri bir araya getirir [19, 20]. Bu mimaride, gömülü belirteçler, LSTM katmanlarına beslenir. Gizli durumlar, sınıflandırma için bir girdi olarak kullanılan rafine bir tümce temsili elde etmek amacıyla bir dikkat vektörü ile ağırlıklandırılır. Birden fazla dikkat vektörünün benzer veya fazla olmasını önlemek için kendine dikkat matrisine dayalı bir ceza terimi kullanılır [20].

Hiyerarşik dikkat mekanizması yönteminde, metin belgelerinde yer alan hiyerarşik yapıyı modellemek amacıyla genellikle aşağıdan yukarıya bir yöntem izlenir [21]. Bu mimaride, dikkat mekanizması öncelikle sözcük ve ardından tümce seviyelerinde uygulanır. Böylelikle, metin belgesi temsili oluşturulurken daha fazla önemli ve daha az önemli içeriklerin farklı şekilde dikkate alınması olanaklı hale gelir. Hiyerarşik dikkat mekanizması, ilki kelime kodlayıcı ve ikincisi tümce kodlayıcı olmak üzere iki seviyeli geleneksel bir yapay sinir ağı mimarisine sahiptir. Bu mimaride, tümcenin anlamı için önemli olan sözcükleri çıkarabilen ve bu bilgilendirici sözcüklerin temsili bir tümce vektörü oluşturmak üzere toplayabilen bir sözcük tabanlı dikkat mekanizması uygulanır. Ardından, açıklamalar tekrar eğitilebilir bir bağlam vektörü ile çarpılır ve her bir sözcük için önem ağırlığına göre normalleştirilir. Önceden hesaplanmış bağlam açıklamalarıyla birleştirilen önem ağırlıklarının toplamı, tümce vektörünü oluşturur.

## 4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Deneysel analizde, Türkçe Twitter mesajları içeren, terim ağırlıklandırma yöntemlerinin duygu analizi alanındaki etkinliklerini değerlendirmek amacıyla oluşturulmuş bir veri seti kullanılmıştır [22]. Veri seti, 10,500'ü olumlu ve 10,500'ü olumsuz olmak üzere 21000 Twitter mesajı içermektedir. Twitter mesajları üzerinde, kök bulma, bilgi vericiliği olmayan kelimelerin çıkarılması gibi ön işleme adımları uygulanmıştır. Ham Twitter mesajlarına "olumlu" ya da "olumsuz" olmak üzere sınıf etiketlerinin atanabilmesi için (1) iki uzmandan yararlanılmıştır. Sınıf etiketlerinin uygun atanıp atanmadığını belirlemek amacıyla Cohen'in kappa ( $\kappa$ ) metriği (2) hesaplanmıştır. Derlem için, açıklayıcılar arasında mükemmel bir uyum olduğunu gösteren 0.82'lik bir puan elde edilmiştir. Veri seti üzerinde [22]'de belirtilen ön işleme adımları uygulanarak veri seti, derin öğrenme modelleri ile işlemeye hazır hale getirilmiştir. Derin öğrenme mimarilerinin performansını değerlendirmek amacıyla, doğru sınıflandırma oranı, F-ölçütü, geri çağırma ve hassasiyet ölçütleri kullanılmıştır. Mimarilerin değerlendirilmesinde, 5-kat çapraz geçişleme kullanılmıştır. Gerçekleştirimler, Tensorflow derin öğrenme çerçevesi kullanılarak Python dilinde yapılmıştır. Eniyileme algoritması olarak Adam optimizör kullanılmıştır, toplu iş boyutu 256, nöron sayısı 256 ve öğrenme oranı 0.001 alınarak derin öğrenme mimarileri eğitilmiştir. Kelime gömme vektörü olarak, önceden eğitilmiş 300 boyutlu bir word2vec modeli kullanılmıştır.



Şekil. 1. Karşılaştırılan yöntemlere ilişkin temel etki diyagramı

Tablo 1. Derin öğrenme mimarileri ile elde edilen doğru sınıflandırma, geri çağırma, hassasiyet ve F-ölçütü değerleri

Derin öğrenme mimarisi	Doğru sınıflandırma oranı	Geri Çağırma	Hassasiyet	F-ölçütü
RNN	86,20	0,87	0,88	0,88
LSTM	86,82	0,88	0,89	0,88
GRU	86,94	0,88	0,89	0,88
Küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM	87,14	0,88	0,89	0,88
Kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM	88,55	0,89	0,90	0,90
Hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM	89,96	0,91	0,92	0,91
Küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU	87,52	0,88	0,89	0,89
Kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU	89,31	0,90	0,91	0,91
Hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU	87,77	0,89	0,90	0,89

Tablo 1’de Türkçe duygu analizi veri seti üzerinde tekrarlayan sinir ağı (RNN), uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM), geçitli tekrarlayan birim mimarisi (GRU), küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM, kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM, hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM, küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU, kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU ve hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU ile elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Tablo 1’de sunulan sonuçlar incelendiğinde, karşılaştırılan derin öğrenme mimarileri arasında en düşük sonucun geleneksel tekrarlayan sinir ağı (RNN) ile alındığı ve bu mimarinin %82,68’lik bir başarımla elde ettiği görülmektedir. RNN’in ardından ikinci en düşük doğru sınıflandırma oranı değeri, geleneksel uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM) ile alınmaktadır. Geçitli tekrarlayan birim mimarisi (GRU), LSTM’e kıyasla daha basit yapısı olmasına karşın daha yüksek başarımla elde edilmesine neden olmaktadır. Hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM, kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM ve küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM mimarilerine kıyasla daha yüksek başarımla göstermektedir. GRU ile dikkat mekanizması yöntemlerinin birarada kullanılması incelendiğinde ise kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU mimarisinin hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU ve küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU mimarilerinin performansını doğru sınıflandırma, geri çağırma, hassasiyet ve F-ölçütü bakımından geçtiği

görülmektedir. Şekil 1’de karşılaştırılan yöntemlere ilişkin temel etki diyagramı sunulmaktadır. Tablo 1’de ve Şekil 1’de sunulan sonuçlardan da görülebileceği gibi karşılaştırmada kullanılan tüm derin öğrenme mimarileri arasında en yüksek başarımla %89,96’lık doğru sınıflandırma oranı ile hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM ile elde edilmiştir.

## 5. Sonuç

Son yıllarda, hesaplama maliyetlerinin düşmesi ve veri hacimlerinin artmasıyla birlikte, büyük veri üzerinde verimli öğrenme modelleri geliştirmek için derin sinir ağı modelleri alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Derin sinir ağı mimarileri, konuşma tanıma, bilgisayarla görme ve duygu analizi, metin kategorizasyonu ve makine çevirisi dahil olmak üzere doğal dil işleme görevleri dahil olmak üzere çeşitli alanlarda başarıyla kullanılmıştır. Tekrarlayan sinir ağları, uzun-kısa süreli bellek mimarileri ve geçitli tekrarlayan birimlerin tümü, metin kategorizasyonu konularında faydalıdır. Uzun vadeli bağımlılıkları öğrenmek söz konusu olduğunda, tekrarlayan sinir ağları (RNN) etkisizdir. Belirteçler bu tasarımda sırayla işlenir ve her belirteçten sonra görüntülenen verileri temsil eden bir durum vektörü elde edilir. Dikkat mekanizması, bir modelin tümcedeki daha önceki bir noktanın durumuna doğrudan bakmasını ve bundan yararlanabilmesini



olanaklı kılar. Böylelikle, tüm durumlara erişilebilir ve mevcut belirteçle öğrenilmiş bazı ilgi ölçütlerine göre, çok uzaktaki ilgili belirteçler hakkında daha net bilgi sağlanarak, daha etkin bir metin modelleme gerçekleştirilebilir. Dikkat mekanizması, makine çevirisi, metin özetleme başta olmak üzere birçok doğal dil işleme görevinde başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Türkçe duygu analizi için dikkat mekanizması tabanlı derin öğrenme mimarilerinin başarımları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Deneysel analizlerde, tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek mimarisi (LSTM), geçitli tekrarlayan birim mimarisi (GRU), küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM, kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM, hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM, küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU, kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU ve hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU değerlendirilmiştir. Hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM, kendine dikkat mekanizması tabanlı LSTM ve küresel dikkat mekanizması tabanlı LSTM mimarilerine kıyasla daha yüksek başarımlar göstermektedir. GRU ile dikkat mekanizması yöntemlerinin birarada kullanılması incelendiğinde ise kendine dikkat mekanizması tabanlı GRU mimarisinin hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı GRU ve küresel dikkat mekanizması tabanlı GRU mimarilerinin performansını doğru sınıflandırma, geri çağırma, hassasiyet ve F-ölçütü bakımından geçtiği görülmektedir. Karşılaştırmada kullanılan tüm derin öğrenme mimarileri arasından en yüksek başarımlar %89,96'lık doğru sınıflandırma oranı ile hiyerarşik dikkat mekanizması tabanlı LSTM ile elde edilmiştir.

## Teşekkür

Bu araştırma, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2022-GAP-MÜMF-0030).

## Kaynakça

- Deng, L., & Liu, Y. (Eds.). (2018). *Deep learning in natural language processing*. Springer.
- Onan, A., & Korukoğlu, S. (2017). A feature selection model based on genetic rank aggregation for text sentiment classification. *Journal of Information Science*, 43(1), 25-38.
- Liu, B. (2012). Sentiment analysis and opinion mining. *Synthesis lectures on human language technologies*, 5(1), 1-167.
- Tan, S., & Zhang, J. (2008). An empirical study of sentiment analysis for chinese documents. *Expert Systems with applications*, 34(4), 2622-2629.
- Munkhdalai, T., & Yu, H. (2017, April). Neural tree indexers for text understanding. In *Proceedings of the conference. Association for Computational Linguistics. Meeting* (Vol. 1, p. 11). NIH Public Access.
- Yang, Z., Yang, D., Dyer, C., He, X., Smola, A., & Hovy, E. (2016, June). Hierarchical attention networks for document classification. In *Proceedings of the 2016 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies* (pp. 1480-1489).
- Yin, Y., Song, Y., & Zhang, M. (2017, September). Document-level multi-aspect sentiment classification as machine comprehension. In *Proceedings of the 2017 conference on empirical methods in natural language processing* (pp. 2044-2054).
- Lin, Z., Feng, M., Santos, C. N. D., Yu, M., Xiang, B., Zhou, B., & Bengio, Y. (2017). A structured self-attentive sentence embedding. *arXiv preprint arXiv:1703.03130*.
- Chen, H., Sun, M., Tu, C., Lin, Y., & Liu, Z. (2016, November). Neural sentiment classification with user and product attention. In *Proceedings of the 2016 conference on empirical methods in natural language processing* (pp. 1650-1659).
- Liu, G., & Guo, J. (2019). Bidirectional LSTM with attention mechanism and convolutional layer for text classification. *Neurocomputing*, 337, 325-338.
- Fu, X., Yang, J., Li, J., Fang, M., & Wang, H. (2018). Lexicon-enhanced LSTM with attention for general sentiment analysis. *IEEE Access*, 6, 71884-71891.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). Enriching word vectors with subword information. *Transactions of the association for computational linguistics*, 5, 135-146.
- Zhang, L., Wang, S., & Liu, B. (2018). Deep learning for sentiment analysis: A survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(4), e1253.
- ONAN, A. (2021). Sentiment analysis on massive open online course evaluations: a text mining and deep learning approach. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(3), 572-589.
- Zhang, L., Wang, S., & Liu, B. (2018). Deep learning for sentiment analysis: A survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(4), e1253.
- Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *arXiv preprint arXiv:1406.1078*.
- Bahdanau, D., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. *arXiv preprint arXiv:1409.0473*.
- Kardakis, S., Perikos, I., Grivokostopoulou, F., & Hatzilygeroudis, I. (2021). Examining attention mechanisms in deep learning models for sentiment analysis. *Applied Sciences*, 11(9), 3883.
- Cheng, J.; Dong, L.; Lapata, M. Long short-term memory-networks for machine reading. *arXiv 2016*, arXiv:1601.06733.
- Yang, Z.; Yang, D.; Dyer, C.; He, X.; Smola, A.; Hovy, E. Hierarchical attention networks for document classification. In *Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, San Diego, CA, USA, 12-17 June 2016; pp. 1480-1489.
- Onan, A. (2021). Ensemble of classifiers and term weighting schemes for sentiment analysis in Turkish. *Scientific Research Communications*, 1(1).



# Sakarya İli Karasu Sahili İçin Kıyı Çizgisi Değişiminin CoastSat Uygulamasıyla İncelenmesi

Mazlum Kılıç<sup>1\*</sup>, Adem Akpınar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7056-1730), [mazlum2116@gmail.com](mailto:mazlum2116@gmail.com)  
<sup>2</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9042-6851), [ademakpinar@uludag.edu.tr](mailto:ademakpinar@uludag.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1078497)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıç, M., Akpınar, A. (2022). Sakarya İli Karasu Sahili İçin Kıyı Çizgisi Değişiminin CoastSat Uygulamasıyla İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 408-414.

## Öz

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesi'nin önemli bir sahili olan Karasu Sahilinin 1990-2021 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bir uzaktan algılama yöntemi olan CoastSat açık kaynaklı yazılım araç takımı kullanılmış ve Karasu Limanı'nın doğusundaki yaklaşık 6,3 km'lik sahilin kıyı çizgisi değişimi incelenmiştir. Karasu Sahilinin 1990 ve 2021 yılları arasındaki uydu görüntüleri ve kıyı şeridi zaman serisi ile birlikte belirlenen 14 kesitteki değişimler CoastSat aracılığıyla elde edilmiştir. Bu veriler, ücretsiz açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS uygulamasında 2021 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde açılarak görselleştirilmiş ve belirlenen 14 kesitteki farklı yıllara ait kıyı çizgileri arasındaki farklar hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, sahilde bazı kesitlerde önemli miktarlarda erozyonların meydana geldiğini, en fazla erozyonun 1990 yılına göre kıyaslama yapıldığında 2010 yılında yaklaşık 77 metre ile 5. kesitte meydana geldiğini göstermiştir. Öte yandan, 7. kesitten sonraki kesitlerde 1990 yılına göre zaman içerisinde kıyıda kum birikimi olduğu ve 7. kesitten önceki kesitlerde ise erozyon olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** CoastSat, Karasu, Sakarya, sahil, uzaktan algılama, kıyı çizgisi gerilemesi, kıyı erozyonu

## Investigation of Shoreline Change for Sakarya Province Karasu Coast Using CoastSat Application

### Abstract

In this study, it is aimed to monitor the change of the coastline between the years 1990-2021 of the Karasu Coast, which is an important coast of the Western Black Sea Region. In this context, the CoastSat open source software toolkit, which is a remote sensing method, was used and the coastline change of the approximately 6.3 km coast to the east of Karasu Port was investigated. Satellite images of the Karasu Coast between 1990 and 2021 and the changes in 14 sections determined together with the coastline time series were obtained by CoastSat. These data were visualized on the satellite image of 2021 in the QGIS application, which is a free open source geographic information system (GIS) software, and the differences between the coastlines of different years in the determined 14 sections were calculated. The findings showed that significant erosions occurred in some sections of the coast, and the highest erosion occurred in the 5th section with 77 meters in 2010 when compared to 1990. On the other hand, in the sections after the 7th section, it was observed that there was sand accumulation on the coast over time compared to 1990, and erosion occurred in the sections before the 7th section.

**Keywords:** CoastSat, Karasu, Sakarya, coast, remote sensing, shoreline regression, coastal erosion

## 1. Giriş

Atmosfer, hidrosfer ve yerkürenin birbirleri ile etkileşim içerisinde oldukları yegâne alanlar olan kıyı bölgelerindeki koşulların büyük bir bölümünün, yıllık, mevsimsel ve hatta günlük olarak insan etkisinde veya fırtına ve iklim değişikliği gibi doğal kaynaklı değişime uğraması, bu değişimlerin belirli bölgelerde ve zamanlarda, belirli periyotlarla izlenerek saptanmasını gerektirir. Doğal gelişim ve çevresel koruma açısından oldukça önemli olan bu işlemlerin klasik yöntemlerle yapılmasının oldukça zaman alıcı olması nedeniyle, uzaktan algılama teknolojileri kullanılabilir (Ozkaya vd., 2021).

Bir uzaktan algılama yöntemi olan CoastSat açık kaynaklı yazılım araç takımı kıyı çizgisi değişimlerinin incelenebilmesi

için tercih edilmektedir. CoastSat için tüm dosyalar GitHub'da saklanmakta ve herhangi bir kullanıcı CoastSat'ı kullanabilmekte, kodlarını indirebilmekte, değiştirebilmekte ve geliştirebilmektedir. CoastSat, kıyı yöneticilerine, mühendislere ve bilim adamlarına kıyı şeridini izlemek ve keşfetmek için kullanıcı dostu ve pratik bir araç seti sağlamaktadır (Vos vd., 2019).

Bu çalışmanın amacı, Batı Karadeniz Bölgesi'nin önemli bir sahili olan Karasu Sahili'nin Karasu Limanı'nın doğusundaki yaklaşık 6,3 km'lik kısmının kıyı çizgisi değişiminin ve burada inşa edilen liman ve kıyı koruma yapılarının kıyı çizgisi değişimine etkisinin CoastSat açık kaynaklı yazılım araç takımı yardımıyla incelenmesidir. Çalışma alanı olan bölge farklı ölçeklerdeki haritalarda kırmızı renk ile taranmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı

Karasu Sahili için yapılan daha önceki birkaç çalışma bu bölgede geçmiş yıllarda önemli kıyı erozyonlarının olduğunu ortaya koymuştur. İkieli ve Ustaoglu (2011), kıyı çizgisi değişimini belirleyebilmek amacıyla 2003 tarihli Landsat 7 ve 2009 tarihli Spot 4 uydu görüntülerini kullanmıştır. 2010 yılı kıyı durumu için de el tipi GPS aracı ile ölçümler yapılmış 2003 - 2009 yılları arasında 60 - 70 metre; 2009 - 2010 yılları arasında ise 20 - 30 metre kıyı gerilemesi tespit edilmiştir. Aydın (2013), farklı zamanlara ait uydu görüntüleri ve ortofoto

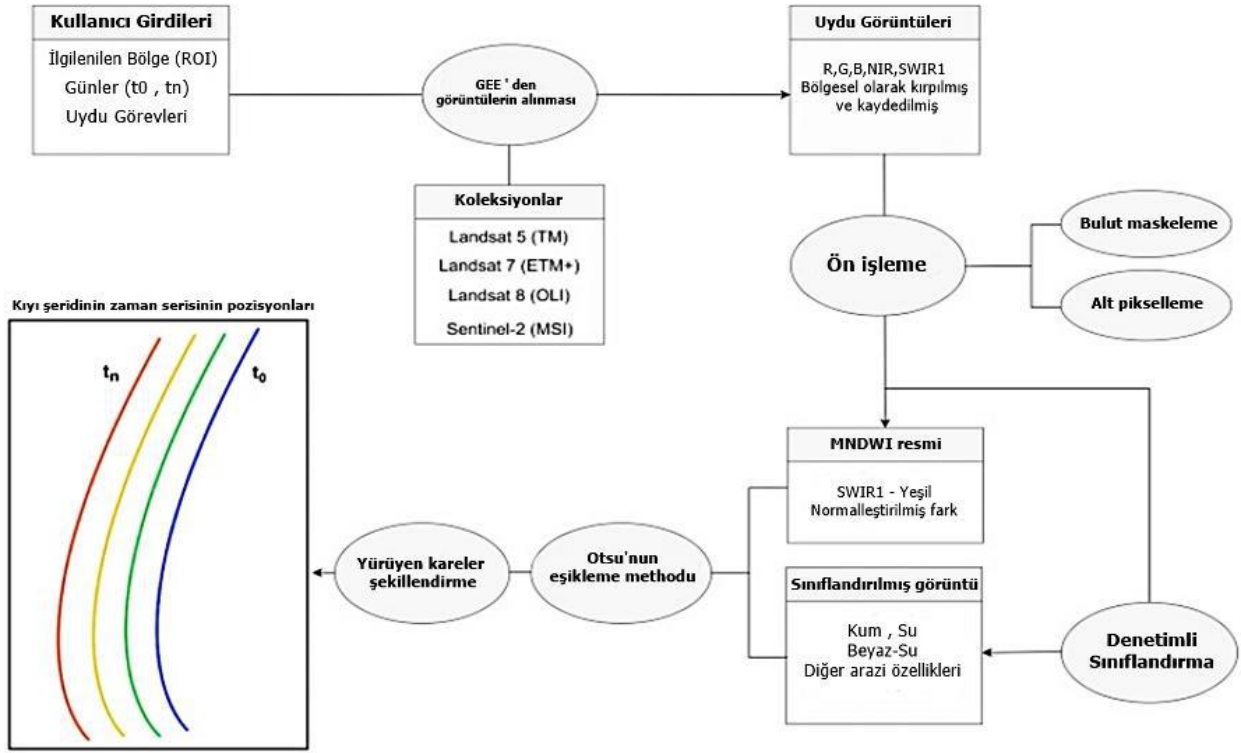
görüntüsünün değerlendirilmesi ile Karasu kıyısının 1987 yılından 2013 yılına kadar 26 yıllık kıyı değişimini izlemiş ve erozyonu önlemek için inşa edilen ayırık dalgakıranların da etkisi belirlenerek risk analizi sonucunda, ayırık dalgakıranların olduğu alanın düşük riskli ve nehir ağzının her iki tarafı ve yapılacak ayırık dalgakıranların olduğu sahil şeridinin orta riskli alan olduğu belirlemiştir. Aydın ve Uysal (2013), Sakarya-Karasu sahilinde 1987, 1995, 2003, 2011 ve 2013 tarihlerine ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI görüntüleri kullanılarak kıyı kenar çizgisi değişimi ve kıyı şeridinde belirlenen 21 noktadan kesit

alınarak her bir kesitteki değişimi belirlemiş ve en büyük değişimin Sakarya nehrinin Karadeniz'e döküldüğü nehir ağzı bölgesinde meydana geldiğini tespit etmiştir. Gormus vd. (2014), Landsat uydu görüntülerinin zamansal analizlerine göre, 1987–2013 yılları arasında kıyı şeridindeki maksimum erozyonu 100 m olarak tespit etmiştir. Çalışmanın sonuçları, Karasu kıyısındaki liman yapısının erozyonda en büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. İkincil etken olarak da Sakarya Nehri'nin taşıdığı tortul miktarının zamanla farklı nedenlerden dolayı azalmasının erozyona sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Karasu sahilinin kıyı çizgisinin zaman serisini elde edebilmek için CoastSat araç seti kullanılmıştır. Bunun için, bir Python geliştirme ortamı olan PyCharm üzerinden CoastSat araç takımı çalıştırılmıştır. CoastSat, Python'da yazılmış, kullanıcıların halka açık uydu görüntülerinden dünya çapında herhangi bir kumlu sahil şeridinde zaman serisini ve kıyı şeridi

konumunu elde etmesini sağlayan açık kaynaklı bir yazılım araç setidir. Araç seti, Landsat ve Sentinel-2 görüntülerini verimli bir şekilde almak için Google Earth Engine (GEE)'in yeteneklerinden yararlanarak kıyı yöneticilerine, mühendislerine ve bilim adamlarına kıyı şeritlerini izlemek ve keşfetmek için kullanıcı dostu ve pratik bir araç takımı sağlamaktadır. Yazılım, GitHub'dan (<https://github.com/kvos/CoastSat>) ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (Vos vd., 2019). Şekil 2'de CoastSat'ın işlevlerini özetleyen bir akış şeması verilmiştir.



Şekil 2. CoastSat'ın işlevlerini özetleyen akış şeması [2].

### 2.1. Görüntü Edinme

CoastSat, görüntü alımlarını GEE aracılığıyla yapmaktadır. Bunun için, CoastSat arayüzünde sağlanan birkaç temel adım takip edilmiştir. Bu adımlar:

a. Coğrafi koordinat sistemi kullanarak ilgilenilen bölgeyi bir çokgen biçiminde tanımlama; Çalışma bölgesi Karasu plajı için koordinatlar Google maps üzerinden çokgen olarak belirlenmiş ve KML formatında elde edilip daha sonra Notepad++ uygulamasından açılarak CoastSat'a aktarılmıştır.

b. Zaman aralığının seçilmesi; Zaman aralığı olarak Karasu'da yapılan kıyı yapılarının kıyıya olan etkilerini daha iyi gözlemleyebilmek için 1990-2021 yılları arası seçilmiştir.

c. Görüntülerin indirileceği uyduların seçilmesi (Landsat 5, 7, 8 ve Sentinel-2); Her uydu, görüntüleri belirli tarihler arasında alabildiği için Landsat 5 (TM), Landsat 8 (OLI), Sentinel-2 (MSI) uyduları birlikte seçilmiştir.

d. Görüntülerin kaydedildiği site adını ve dizini tanımlama.

Ayrıca, kaydedilen görüntüler yalnızca ilgi alanı olan bölge için önceden kırılıp zaman serilerinin elde edilmesine izin verecek şekilde kalibre edilmiştir.

## 2.2. Görüntüleri Kaydetme

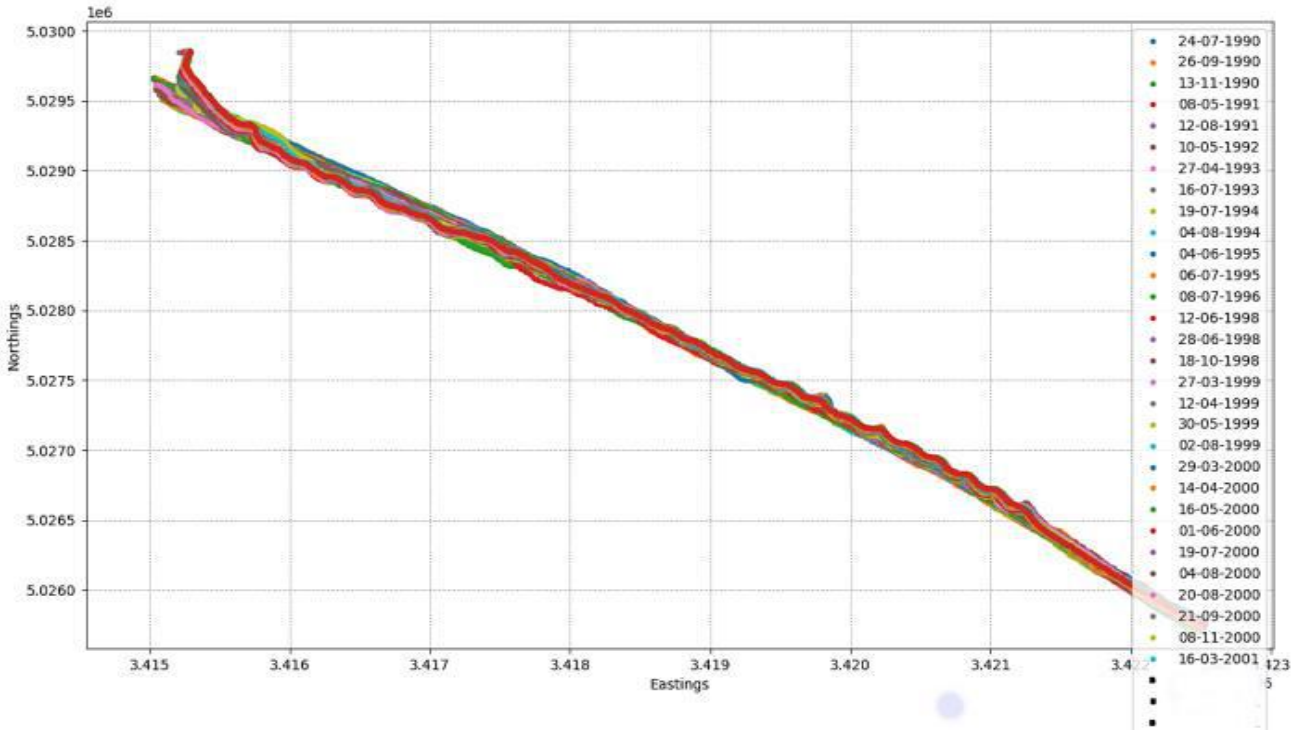
GEE aracılığıyla elde edilen tüm görüntüler TIFF formatındadır. CoastSat komutlarından biri görüntüleri resmin çekildiği tarihi içeren JPEG formatında kaydetmektedir.

## 2.3. Referans Kıyı Şeridi Seçimi

Referans kıyı şeridi seçilirken kullanıcı tarafından JPEG resimlerinden bulutsuz ve net olan herhangi birinde referans kıyı şeridi manuel olarak belirlenmektedir. CoastSat bu referans kıyı çizgisinden belirli bir mesafedeki noktaları geçerli kıyı çizgileri olarak kabul ettiğinden, kıyı çizgileri haritalanırken aykırı değerlerin ve yanlış algılamaların reddedilmesine yardımcı olup daha sonraki uydu görüntülerinden kıyı şeridinin otomatik olarak tespit edilmesini kolaylaştırarak bir referans oluşturmuştur.

## 2.4. Kıyı Tespiti

Ayarlanmış parametreler ve yerinde bir referans kıyı şeridi ile CoastSat kıyı şeridi tespit aracı, alınan görüntülerden kıyı şeritlerini çıkarmak için kullanılmıştır. CoastSat yazılımı kıyı şeridi değerlendirmesi için araç setine eklenmiş bir algoritma kullanmaktadır. Algoritma su, beyaz su, kum ve diğer arazi özellikleri olarak dört farklı piksel sınıflandırma indeksi kullanarak su ve kara arasındaki eşik tespit etmektedir. Çıkarılan kıyı şeritleri iki farklı dosya formatında .pkl ve .geojson olarak kaydedilmektedir. Ek olarak, kullanıcı, tespit edilen kıyı şeridi ile her bir görüntüyü inceleyip görüntüyü tutmak mı yoksa atmak mı istediğine karar verebilmekte ve haritalanmış kıyı şeritlerinin görsel (jpeg) görüntülerini kaydedebilmektedir. Karasu plajı için yanlış olan ve bulutlu olup net olmayan tüm görüntüler ve veriler manuel olarak silinerek sadece net ve doğru olan haritalanmış kıyı şeritleri kaydedilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. CoastSat aracılığıyla Karasu plajı için elde edilen bütün kıyı şeritleri

## 2.5. Kıyı Analizi

Sayısal veriler elde etmek için çıkarılan kıyı şeritleri üzerine istenilen aralıklarla kesitler eklemek gerekmektedir. CoastSat kullanıcılarının ilgi alanına enine kesitler eklemesi için üç yol sunmuştur:

- I. Çıkarılan kıyı şeritlerinin üzerine kesitleri manuel olarak çizmek,
- II. Kesitlerin koordinatlarını içeren .geojson formatında bir dosya yüklemek,
- III. CoastSat arayüz penceresine transekt koordinatlarını manuel olarak eklemek.

Çalışma bölgesi olan Karasu Plajı için ilk seçenek seçilmiş ve kesitler manuel olarak eklenmiştir. Elde edilen bütün kıyı şeritleri üzerinde istenilen yerde ilk noktası karaya doğru ikinci

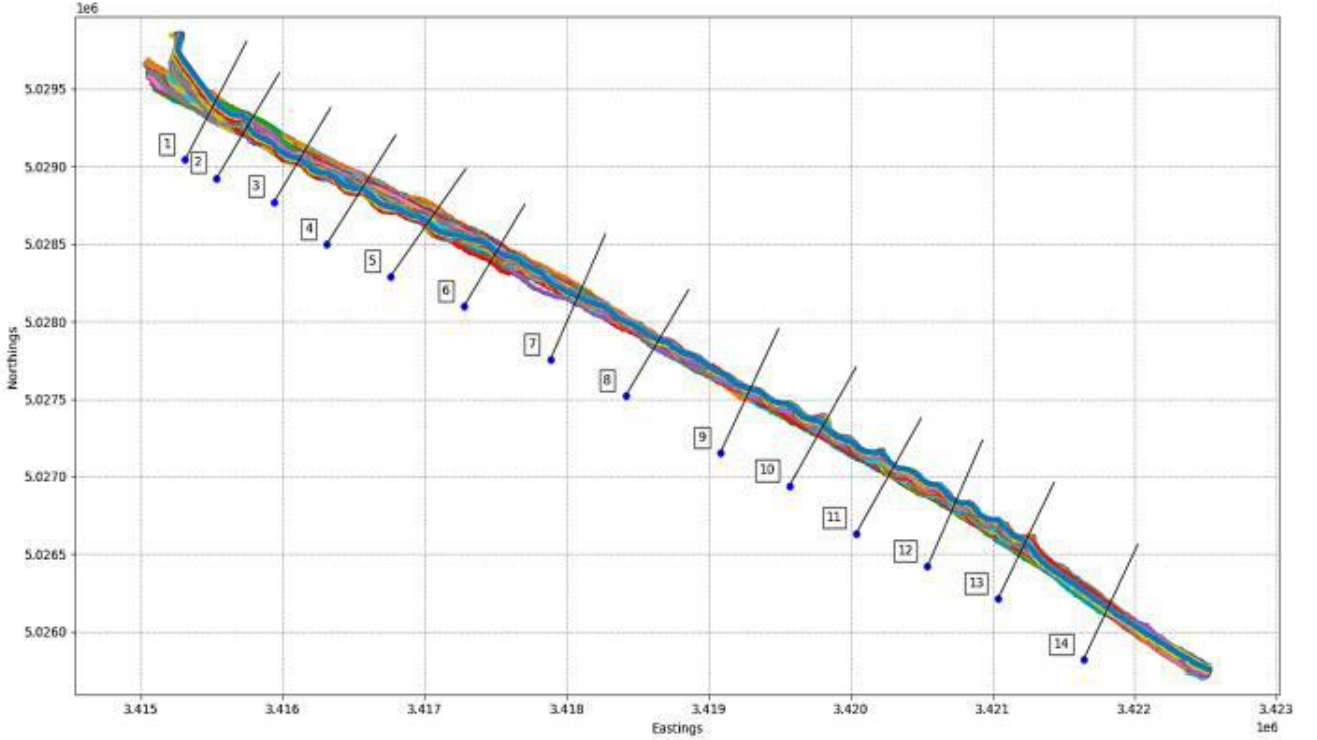
noktası ise denize doğru olacak şekilde kesitler belirlenmiştir (Şekil 4).

CoastSat araç seti bir kesit içindeki kıyı çizgisi konumunu hesaplarken, bunu kesitin kendisinin başlangıç noktasına göre yapmakta, yani her kesitin başlangıç noktasının kıyı şeritlerinden farklı bir mesafede olması verileri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, ilgili zaman periyodu boyunca tüm kıyı şeridi konumlarının ortalaması, kesit başına alınmıştır. Daha sonra, her bir kıyı çizgisi konumu ortalamadan çıkarılmış ve düzeltilmiştir. Bu, zaman noktalarının her biri için doğru bir şekilde ölçülen kıyı çizgisi konumunun elde edilmesini sağlamıştır.

CoastSat'ın kıyı şeridi haritalama algoritması, her pikseli 4 sınıfa etiketlemek için bir görüntü sınıflandırma şeması kullanmaktadır: kum, su, beyaz su ve diğer arazi özellikleri. Bu sınıflandırıcı çok çeşitli farklı kumsallar kullanılarak eğitilmiş

olsa da, daha önce hiç görmediği belirli alanlarda çok iyi performans göstermeyebilir. Bu sebepten dolayı, CoastSat'ın görüntü sınıflandırıcısı çalışma alanı olan bölge için özel olarak

yeniden eğitilmelidir. Bu eğitim birkaç dakika içinde yapılabilmekte ve daha doğru sonuçlar alınabilmektedir.



Şekil 4. Kıyı şeritleri üzerinde belirlenen kesitler

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Araştırma Sonuçları

Coastsat' tan elde edilen .geojson çıktıları QGIS uygulamasında güncel harita üzerinde seçilen belirli tarihler için 1990-2021 yılları arasındaki farklı kıyı çizgileri için açılarak görselleştirilmiştir. Mevsimlerin kıyı çizgisi değişimi üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için aynı ay ve farklı yıllara ait kıyı çizgileri seçilmeye çalışılmıştır. Bazı yıllar için yeterince veri bulunmadığından farklı aylara ait kıyı çizgisi görünümünü seçilmiştir. Kıyı çizgisi görüntüleri ilk olarak küçük ölçekli olarak eklenmiş daha sonra kıyı çizgilerinin güncel harita üzerinde daha net incelemesi için farklı kesitler halinde daha büyük ölçeklerde eklenmiştir (Şekil 5). Ayrıca, kıyı çizgisindeki değişimlerin sayısal olarak ifade edilebilmesi için belirlenen 14 kesit üzerindeki, belirlenen yıllara ait kıyı çizgileri arasındaki

farklar, kıyı çizgilerinin koordinatları kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Kıyıda değişimin geçmiş yıllara göre nasıl değiştiğini görebilmek için 1990 yılı kıyı çizgisi referans alınmış ve 2021 yılına kadar geçen farklı zamanlardaki kıyı çizgilerinin konumları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylelikle, zaman içerisinde kıyıda meydana gelen değişim sayısal olarak ifade edilmiştir.

Şekil 5 ve Tablo 1, sahilde bazı kesitlerde önemli miktarlarda erozyonlar bazı kesitlerde ise kum birikimlerinin meydana geldiğini göstermiştir. En fazla erozyon 1990 yılına göre kıyaslandığında, 2010 yılında yaklaşık 77 metre ile 5. kesitte meydana gelmiştir. Öte yandan, 1990 yılı kıyı çizgisi ile 2021 yılı kıyı çizgileri arasındaki farklar incelendiğinde, kıyı çizgisinde ilk kesitte ve 7. kesitten sonraki kesitlerde kum birikimi olduğu, 2. ve 7. kesitler arasındaki bölgede erozyon meydana geldiği görülmüştür.

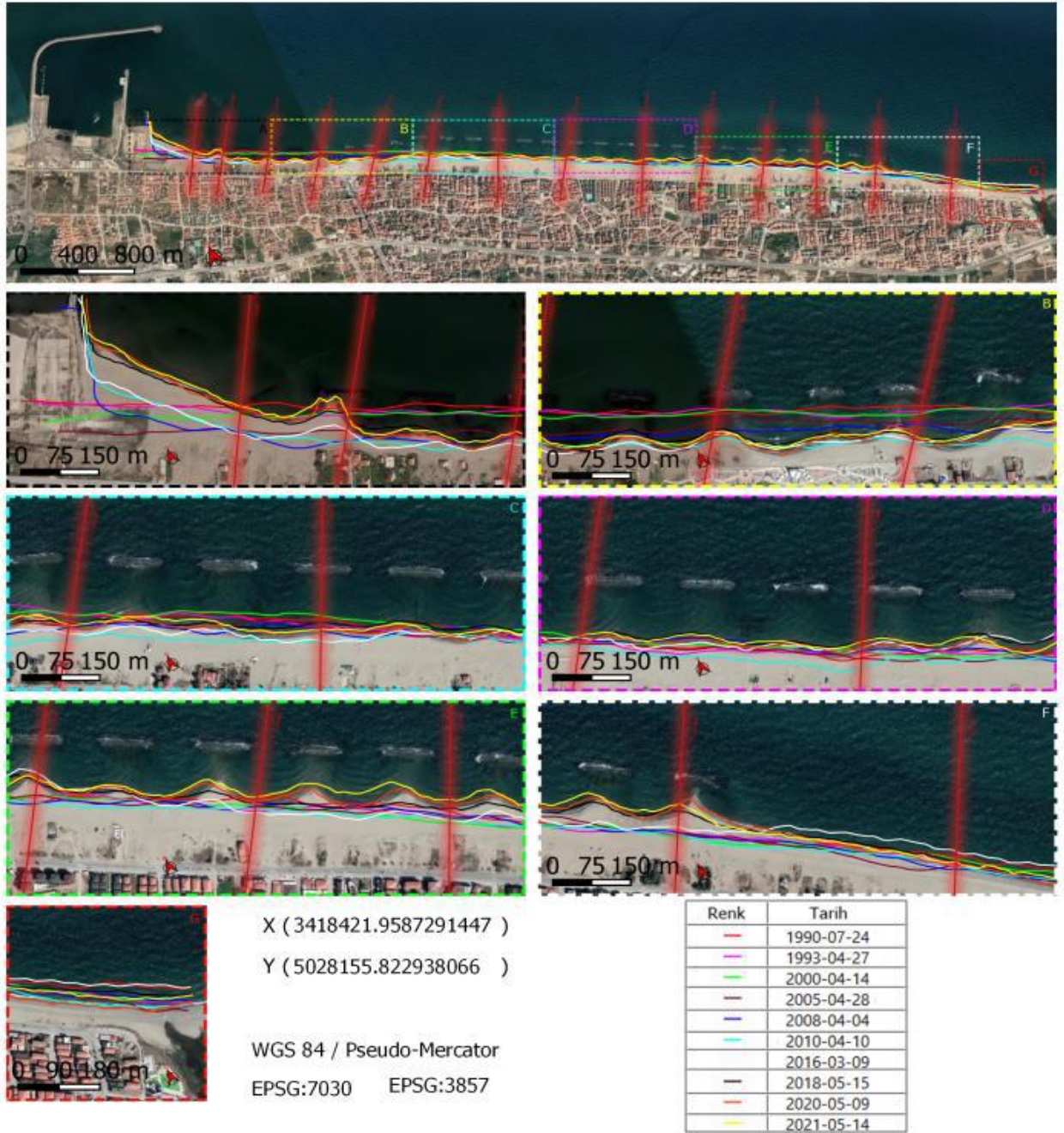
Tablo 1. Her bir kesit için 1990 - 2021 yılları arasındaki belirli tarihlerdeki kıyı çizgisinin 1990 yılı kıyı çizgisi ile karşılaştırılması sonucu oluşan farklar (m)

Tarihler / Kesitler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fark (27.04.1993-24.07.1990) (m)	-16	-11	-2	11	-9	6	-14	-2	10	11	-30	-18	-8	-16
Fark (14.04.2000-24.07.1990) (m)	-16	-11	-16	6	-16	4	6	3	12	14	-20	-25	-13	-5
Fark (28.04.2005-24.07.1990) (m)	-48	-47	-53	-15	-30	-17	-15	-6	-3	16	-19	-14	-4	-20
Fark (04.04.2008-24.07.1990) (m)	-51	-67	-57	-36	-37	-20	-23	0	12	-2	-17	-11	-2	-28
Fark (10.04.2010-24.07.1990) (m)	-48	-67	-72	-55	-77	-50	-46	-12	-23	0	-24	-17	-7	-21
Fark (9.03.2016-24.07.1990) (m)	-55	-43	-73	-44	-73	-34	-44	4	17	59	-32	-20	9	9
Fark (15.05.2018-24.07.1990) (m)	-10	-22	-51	-30	-62	-14	-8	8	34	43	-11	5	41	-10
Fark (9.05.2020-24.07.1990) (m)	0	-15	-57	-45	-59	-19	-23	-4	16	51	-10	13	53	-20
Fark (14.05.2021-24.07.1990) (m)	1	-14	-50	-36	-61	-15	-22	9	32	48	1	22	53	-14

### 3.2. Tartışma

Gormus vd. (2014), belirledikleri 12 kesit için Landsat uydu görüntülerini kullanarak kıyı değişimlerini hesaplamışlardır ve limanın hemen doğusundaki 8., 9. ve 10. kesitler için liman inşaatının tamamlanmasına kadar geçen sürede önemli miktarlarda erozyon olduğunu tespit etmişlerdir. Aydın ve Uysal (2013), Landsat görüntüleri ile 21 kesitteki kıyı değişimini hesaplamışlardır ve limanın hemen doğusundaki 14., 15. ve 16. kesitlerde yıllar geçtikçe artan bir erozyon gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar incelendiğinde, araştırma sonuçları ile daha önceki çalışmaların sonuçları benzerlik göstermektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalar geçmiş tarihli olduklarından 2016 yılı ve sonrası için kıyı çizgisinin değişimini inceleyememişlerdir. Özellikle, Karasu

Limanı'nın inşa edilmeye başlanmasından sonraki zamanlarda limanın hemen doğusundaki kesitlerde erozyonların önemli miktarlarda arttığı araştırma sonuçlarından görülmektedir. Karasu Sahili'nde meydana gelen erozyonlar farklı çalışmalara konu olmuş ve sahilde oluşan bu erozyonları önlemek için kıyı koruma yapıları inşa edilmiştir. 2010 yılında yapımına başlanan açık deniz mendireklerinin ise 7. kesitten sonraki bölgeler için kum biriktirmede faydalı olduğu görülmektedir. Bu erozyonların sebebi olarak Karasu'da inşa edilen liman verilebilir. Ayrıca, Karasu Sahili için kıyıyı besleyen en önemli unsur Sakarya Nehri'dir. Nehir üzerinde kurulan barajlar, kum ve çakıl ocakları deniz kıyısıyla buluşan sediment miktarını %65'lere varan ciddi miktarda azaltmıştır (Aydın ve Uysal, 2013). Sakarya nehrinden gelen tortular liman inşaatı ile birlikte kesilmeye başlanmıştır ve meydana gelen fırtınalarla birlikte kıyıda erozyonlar olmuştur.



Şekil 5: 1993-2008 yılları arasındaki çeşitli tarihlere ait kıyı çizgisi görüntüleri

## 4. Sonuç

Karasu sahilinde zaman geçtikçe meydana gelen erozyonlar ve kum birikimleri burada inşa edilen yapılarla ilişkilendirilebilir. İnşa edilen bu yapılar kıyıya giren ve çıkan madde dengesini bozmuştur. Kıyıda bu dengenin bozulması erozyon ya da kum birikmesi durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda, kıyıda meydana gelen bu değişimlerin tehlike yaratmaması için Karasu kıyısı düzenli aralıklarla kontrol edilmeli ve erozyon durumları incelenmeli gerekirse kıyıyı korumak için farklı önlemler alınmalıdır. Ayrıca, bir uzaktan algılama yöntemi olan Coastsat, uzman olmayan kullanıcıların Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 ve Sentinel-2 görüntülerinden kıyı şeridi çıkarmasını sağlar. Öte yandan, uydu uzaktan algılama ve yerinde saha ölçümlerinin mevcut olmadığı yerlerde kıyı bilim adamlarının ve mühendislerin ilgisini çeken zamansal ölçekleri çözebilen düşük maliyetli uzun vadeli kıyı şeridi verileri sağlayabilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın CoastSat'ı çalıştırma ve kodlama aşamasındaki her türlü katkılarından dolayı Kerem KURALAY'a teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Aydın, M. (2013). *Kıyı Çizgisi Değişiminin İzlenmesi ve Risk Analizi: Sakarya Karasu Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aydın, M., Uysal, M. (2013). Kıyı Çizgisi Değişiminin Uydu Görüntüleri Yardımıyla İzlenmesi: Sakarya- Karasu, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(3), 24-32.
- Gormus, K. S., Kutoglu, S. H., Seker, D. Z., Ozolcer, I. H., Oruc, M., Aksoy, B. (2014). Temporal analysis of coastal erosion in Turkey: a case study Karasu coastal region. *Journal of Coastal Conservation*, 18(4), 399-414. doi:10.1007/s11852-014-0325-0
- İkieli, C., Ustaoglu, B. (2011). Sakarya Deltasının Doğu Kesiminde Kıyı Çizgisi Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Analizi. *Türk Coğrafya Kurumu Yayınları*, 5: 483 – 492.
- Özkaya, U., ve Öztürk Ş. (2021). Roof-KSA: Binaların Semantik Bölütlemesi İçin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı Modeli, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 7.2: 1094-1105.
- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A. & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>





# Dynamic Analysis of Current Loops Behavior in a Wind Turbine Based Doubly-fed Induction Generator

Samatar Abdi Yonis<sup>1\*</sup>, Ziyodulla Yusupov<sup>1\*,2</sup>

<sup>1\*</sup> Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8926-5229), [saamabdi4f@gmail.com](mailto:saamabdi4f@gmail.com)

<sup>2</sup> National Research University TIAME, Faculty of Energy Supply of Agriculture and Water Resources, Department of Power Supply and Renewable Energy Sources, Tashkent, Uzbekistan, (ORCID: 0000-0002-0798-2903), [ziyadullayusupov@karabuk.edu.tr](mailto:ziyadullayusupov@karabuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082326)

**ATIF/REFERENCE:** Abdi Yonis, S., & Yusupov, Z. (2022). Dynamic Analysis of Current Loops Behavior in a Wind Turbine Based Doubly-fed Induction Generator. *European Journal of Science and Technology*, (34), 415-420.

## Abstract

Recently, the doubly-fed induction machine is commonly utilized in wind generation system. A doubly-fed induction generator (DFIG) has been an extensively known machine compared to other types of the wind energy system. This paper presents, a detailed model that comprises a wind turbine (WT), DFIG, rotor side converter (RSC), power electronic components, and grid side converter (GSC) which are used to investigate the dynamic performance of a wind turbine based on DFIG. Vector control approach has been implemented to design the whole system. There are different control strategies for controlling the machines. However, in this paper, indirect speed control strategy has been performed and the dynamic characteristics of current loops in a wind turbine based on DFIG are analyzed. The entire system has been confirmed by MATLAB/Simulink software and detailed results are discussed.

**Keywords:** Wind turbine, Doubly-fed induction generator, Dynamic analysis, Vector control, Indirect speed control.

## Çift Beslemeli Endüksiyon Jeneratör Tabanlı Rüzgar Türbini Mevcut Döngü Davranışının Dinamik Analizi

### Öz

Son zamanlarda, çift beslemeli endüksiyon makinesi, rüzgar üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çift beslemeli endüksiyon jeneratörü (ÇBIJ), rüzgar enerjisi sisteminin diğer türlerine kıyasla yaygın olarak bilinen bir makine olmuştur. Bu makale, rüzgar türbini (WT), ÇBIJ, rotor tarafı dönüştürücü (RTD), güç elektroniği bileşenleri ve dinamik durumu araştırmak için kullanılan şebeke tarafı dönüştürücü (ŞTD) içeren ayrıntılı bir model sunmaktadır hemde ÇBIJ tabanlı rüzgar türbininin dinamik performansını araştırmak için kullanılır. Tüm sistemi tasarlamak için vektör kontrol yaklaşımı uygulanmıştır. Makineleri kontrol etmek için farklı kontrol stratejileri vardır. Ancak bu yazıda, dolaylı hız kontrol stratejisi uygulanmış ve ÇBIJ tabanlı rüzgar türbinindeki akım döngülerinin dinamik özellikleri analiz edilmiştir. Bu nedenle, akım döngülerinin çok doğru olduğu ve gerçek akım döngülerinin teorik olana oldukça uyduğu fark edilebilir. Tüm sistem MATLAB/Simulink yazılımı ile doğrulanmış ve detaylı sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar türbini, Çift beslemeli endüksiyon jeneratörü, Dynamic analiz, Vektör kontrol, Dolaylı hız kontrolü.

\* Corresponding Author: [saamabdi4f@gmail.com](mailto:saamabdi4f@gmail.com)

## 1. Introduction

Wind energy is among the most well-known renewable energy sources, and its use is increasing steadily around the world. In 2019, alone, more than 60 GW of wind energy capacity was installed globally, which is a 19% rise over installation in 2018, showing that wind energy is gradually dominating the energy industry. A doubly-fed induction generator (DFIG) has been an extensively known machine compared to other forms of the wind energy system. It contains a wind turbine attached to the shaft of an induction generator. A DFIG is built such that: the stator part connects to the power grid directly, whereas the rotor part links to the grid via a PWM converter that controls the slip energy. Moreover, it presents the mathematical modeling of the wind turbine system. The dynamic model of DFIG allows one to know the continual performance (not only under steady-state) of machine parameters, but also during various voltage providing situations. The doubly fed induction machine is commonly utilized in wind generation system.

These paper presents the dynamic model and the performance analysis of the current loops behavior in a wind turbine based DFIG. The dynamic model of DFIG allows one to know the continual performance (not only under steady-state) of machine parameters, but also during various voltage providing situations. This section first develops the dynamic model of DFIG in  $abc$  stationary natural frame. The dynamics of the system is then converted to a rotating  $dq$  reference frame using Clarke and Park transformation method for cancellation of coupling between the two stator and rotor windings. The Clarke transform is a mathematical technique that converts a 3-phase  $abc$  natural frame into an orthogonally structure ( $\alpha\beta$ ) [1]. Let's consider a symmetric 3-phase induction generator having stationary  $abc$  axis with  $120^\circ$  apart. Then it's possible to convert the  $abc$  constituents into  $\alpha\beta$  through the Clarke method. On the contrary, the Park transform technique was first introduced by an American engineer R.H. Park in the late 1920s to simplify a new strategy for the analysis of a 3-phase electrical machine. This method was introduced to transform a 2-phase  $\alpha\beta$  reference frame into a rotating  $dq$  reference frame via a rotating transform  $T_p(\theta)$  matrix. The dynamic model of DFIG in a rotating  $dq$  axis is very important for designing the properties of synchronous and hyper-synchronous operating system as well as implementing vector control strategy for controlling active and reactive output power. There are different strategies in the literature for controlling the DFIG [2-12]. In this paper, we only focus on the dynamic characteristic of the current loops.

This paper is organized as follows: Section II presents the wind turbine system. Section III and IV exhibits the vector control and control strategy of the system. Section V presents the results followed by the conclusion.

## 2. Wind Turbine System

The purpose of this section is to present some basic data and concepts for a wind turbine model. A practical wind turbine has a nominal output power of 1.5 to 3 MW. For this purpose, in this paper, a 2.4 MW of wind turbine has been chosen for the system simulation. The purpose of this section is to present some basic data and concepts for a wind turbine model. A practical wind turbine has a nominal output power of 1.5 to 3 MW. For this

purpose, in this paper, a 2.4 MW of wind turbine has been chosen for the system simulation. aerodynamic model, a drive train model, and a generator. The corresponding wind speed supplied to the aerodynamic system is estimated using a wind speed model. [14]. The amount of rotational speed divided by the real wind speed ( $v_w$ ) is called lambda. Wind speed, blade's pitch angle and speed of the rotor are together fed into the aerodynamic system. Output torque is fed to the drive train model along with the speed of the generator. Drive train model thereby generates electromagnetic torque on the high-speed shaft which is transmitted to the generator system [3, 6].

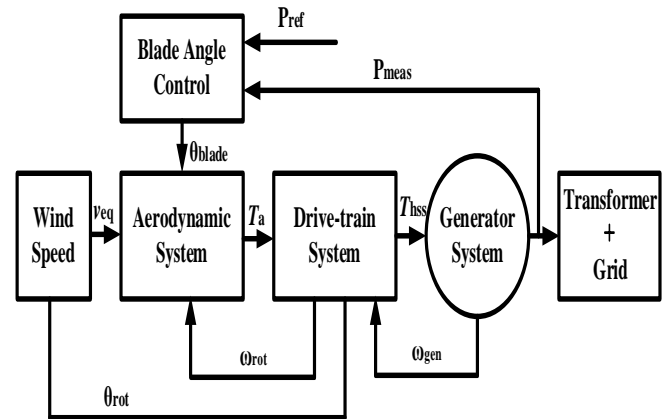


Figure 1. Typical block model of the wind turbine.

## 3. Control of DFIG Based Wind Turbine

In this paper, vector control (VC) which is also called field-oriented control (FOC) of electrical machines has been implemented. VC employs in both the rotor side and grid side converter. Using this control strategy, it is possible to decouple and construct the control of  $d$  component and  $q$  component separately [4, 5]. VC minimizes the control design complication and accomplishes various control goals. The main purpose of the RSC is to control the active and reactive power that allows the turbine to capture the maximum power from the wind, while also providing reactive power supports to the grid. Correspondingly, GSC aims to keep the DC bus voltage constant. In this section, the control of RSC is presented. In RSC control, we have the current loops of the DFIG and the mechanical speed (rotor speed controller). Direct current ( $i_{dr}$ ) is proportional and controls the reactive power, whereas, the quadrature currents are proportional to the torque or stator active power. The GSC control includes the bus voltage references and controls the grid reactive power reference ( $Q_{g-ref}$ ). It also includes the derivation of the transfer function of a closed-loop second order system for the rotor side and grid side of a DFIG. Moreover, an angle calculator also called phase-locked loop (PLL) is designed in both RSC and GSC control, in order to achieve a three-phase stator voltage grid synchronization. PLL offers the reliability to estimate and reject smaller harmonics. Furthermore, Proportional and Integral control and the maximum power point tracking (MPPT) approach using indirect speed controller has been applied in order for the mechanical torque ( $T_t$ ) to follow the maximum power curve in response to the wind speed variations [7-9].

### 3.1. RSC Control

In order to use the vector control approach, the dynamic equation of DFIM should be modelled, which provides the instantaneous voltages and currents in order to compute and

control the parameters. The rotor currents cannot be determined with cage motors, thus the current is substituted by an appropriate amount expressed in a rotating  $dq$  representation by using a well-known technique called as Clarke and Park transformation.

The transfer function of RSC for both current control loops can be expressed as follows [9-11]:

$$TF = \frac{i_{dr}(s)}{i_{dr}^*(s)} = \frac{i_{qr}(s)}{i_{qr}^*(s)} = \frac{sk_p+k_i}{\sigma L_r s^2+(k_p+R_r)s+k_i} = \frac{sk_p+k_i}{L_f s^2+(k_p+R_f)s+k_i} \quad (1),$$

where:  $k_p = 2\omega_n L - R$  is proportional gain;  $k_i = \omega_n^2 L$  is integral gain;  $L_f, L_r$  – filters of inductance and resistance, respectively. Figure 2 shows the Bode plot diagram of  $dq$  closed loop transfer function for the rotor side converter.

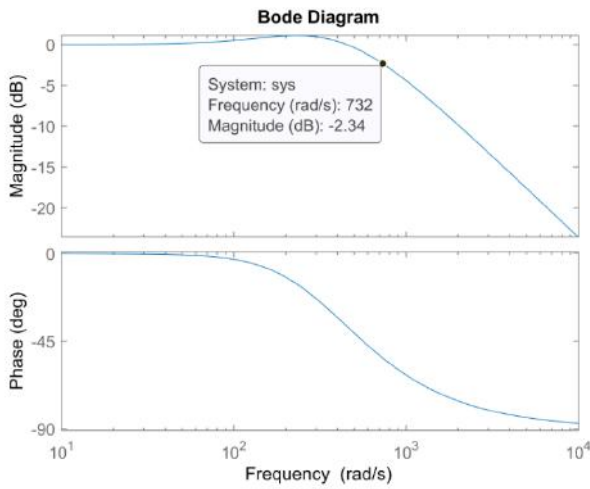


Fig. 2 Bode plot diagram of the closed-loop system of RSC.

### 3.2. GSC Control

It is very important to control some components in the GSC. Because it is impossible to make it operate effectively without controlling certain magnitudes in the grid side system. One of the purposes of the GSC control is to maintain the DC bus voltage constant, irrespective of the region of operation. It also operates at a unit power factor. The GSC is responsible for controlling parts of the power flow of the DFIG. The power produced by the three-blade wind turbine is partially supplied through the rotor of the DFIG. For instance, the power flow that passes through the rotor also passes through the DC-link and then sent to the grid by the GSC. The GSC is connected to the grid through an  $RL$  filter [12].

The transfer function of GSC is expressed as follows [9]:

$$\frac{i_{qs}(s)}{i_{qs}^*(s)} = \frac{sk_p+k_i}{s^2(L_f)+s(R_f+k_p)+k_i} \quad (2)$$

Bode plot diagram of the closed loop for both RSC and GSC is illustrated in Figure 3.

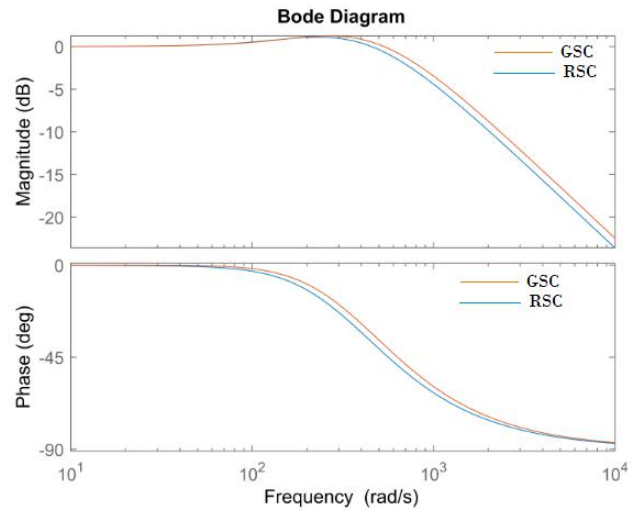


Fig. 3 Bode plot diagram of both RSC and GSC.

In Figure 3, the red line indicates GSC current loops and blue one shows RSC current loops. Current loops of both GSC and RSC with a band width are very similar. Figure 4 shows the step response for the grid side, and it reaches the steady state in 15 milliseconds.

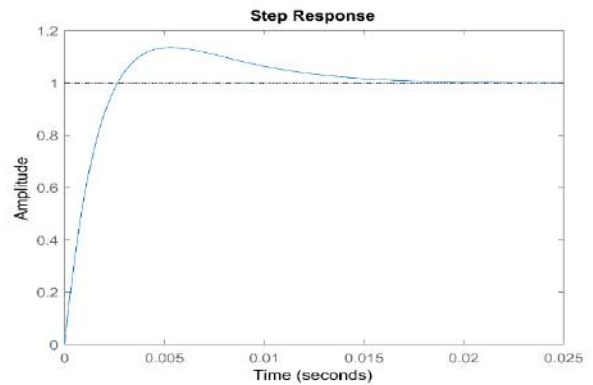


Fig. 4 Step response of the GSC.

## 4. Control Strategy

### 4.1. PI Controller

The PI controllers are some kinds of regulators that combines proportional and integral operation in one unit [15]. It is important to create a PI regulator, in order to assure that the rotor speed, generated torque, the direct ( $i_{dr}$ ) and quadrature ( $i_{qr}$ ) rotor currents follow their references. The torque coefficient and output power curve of the wind turbine are shown in Figure 5. The proposed output power curve has been confirmed by comparing with the output of the generated power for various wind speed.

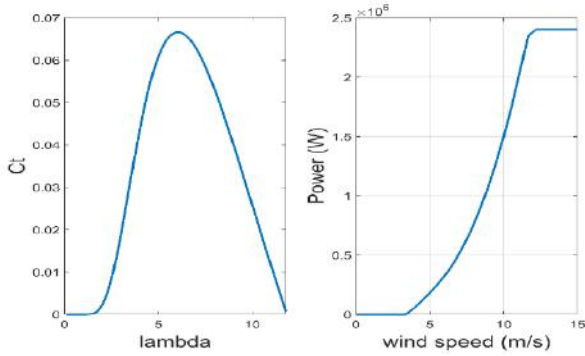


Fig. 5 Torque coefficient versus lambda and power curve.

### 4.2. Indirect Speed Control

Different strategies have been presented in the literature to control the wind turbine under partial load while tracking the maximum power extraction. At this point, there are two types of speed control: direct and indirect speed control. In this paper, MPPT by indirect speed control is considered. This approach is important because it ensures a variable speed operating system, to optimizes the power output across a given wind speed. The power generated by the three blades becomes maximum by maximizing

the power coefficient ( $C_p$ ). As a result, lambda ( $\lambda$ ) should be maximum such that the blades capture the maximum amount of wind energy. Assume the variable speed turbine is functioning at a level of the curve with speed of the wind and rotor torque unchanged (Figure 6). When the rotor speed is lowered to  $\Omega_{t-b}$ , the operational level shifts to level b, and torque becomes  $T_{t-b}$ . Mechanical torque is held at the previous level relating to  $T_{t-a}$ , thus  $T_{t-b}$  is greater than electromagnetic torque  $T_{em}$  and rotor speed rises till it stabilizes near  $\Omega_{t-a}$  level once again. The technical parameters of DFIG are presented in Table 1.

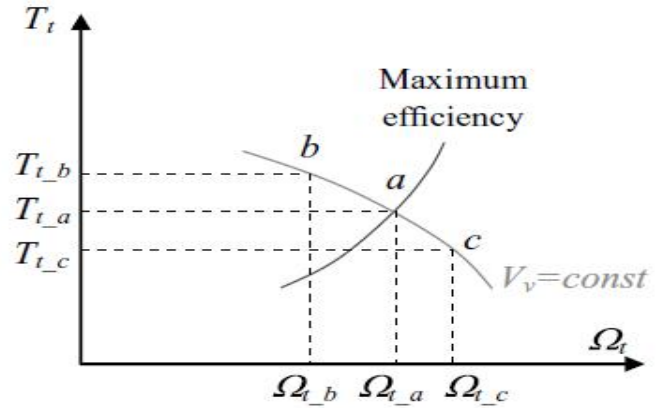


Fig. 6 MPPT stability curve [14]

Table 1. Doubly-fed induction generator parameters

Parameters	Values
Rated power	2 MW
Nominal voltage	690 V
Electromagnetic torque	12732 Nm
Rotational speed	1800 rpm
Stator resistance	2.6m $\Omega$
Stator inductance	2.6m H
Rotor resistance	2.9m $\Omega$
Rotor inductance	2.6m H
Number of poles	2

### 5. Results and Discussion

The overall simulation system has been carried out in MATLAB 2019a software. Three-blade wind turbine of 2.4 MW power has been chosen for the system simulation. The switching frequency for the whole simulation is set at 4 kHz. Quadrature rotor currents behavior is illustrated in Figure 7. It is noted, that the quadrature rotor current component is very accurate.

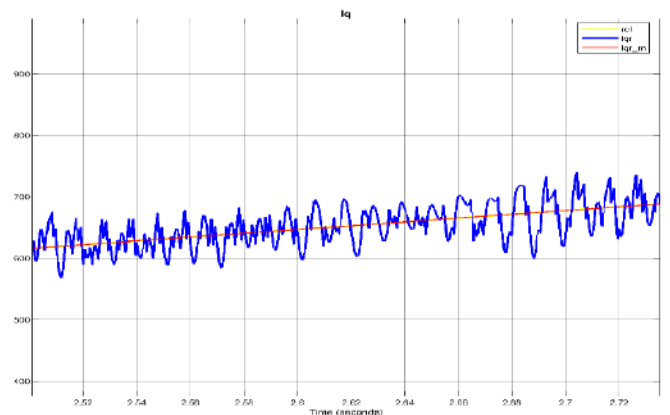


Fig. 7 Quadrature rotor currents behavior

In Figure 8, it can be realized that, the theoretical model ( $idr\_m$ ) has been a little bit degraded but thanks to the compensation, the theoretical model fits quite well with the actual one ( $idr$ ).

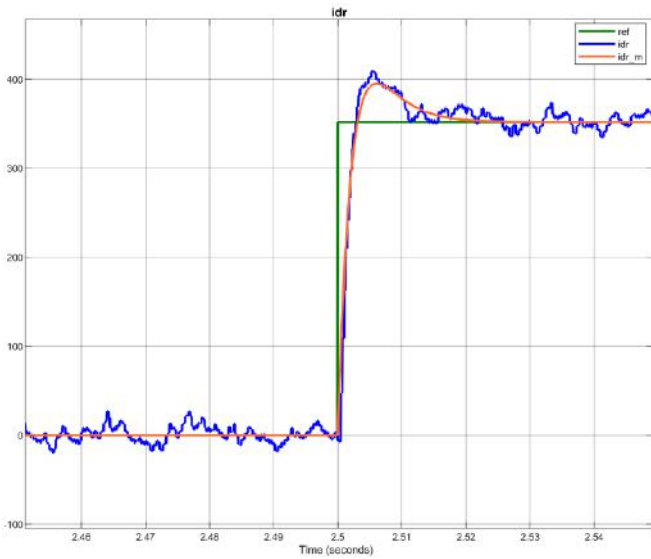


Fig. 8 Direct rotor current behavior

Figure 9 demonstrates the grid reactive power reference.

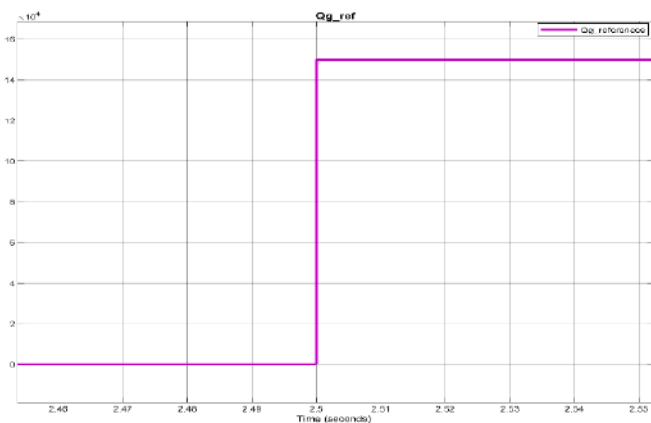


Fig. 9 Grid reactive power reference

Figure 10 and 11 represents quadrature and direct rotor voltage references, respectively. It should be noted that to follow properly dynamic performance of DFIG it is not required to reach the saturation of the voltage references.

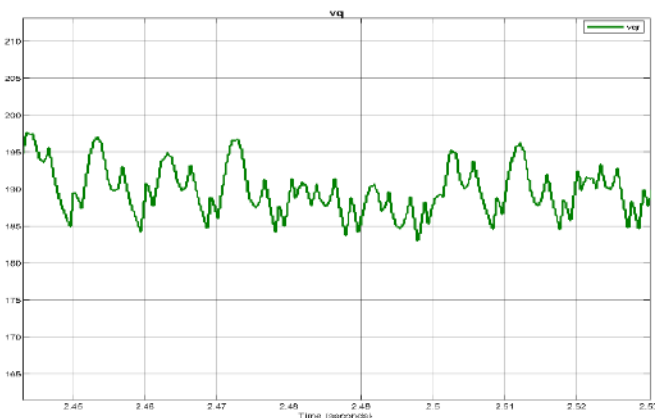


Fig. 10 Quadrature rotor voltage reference

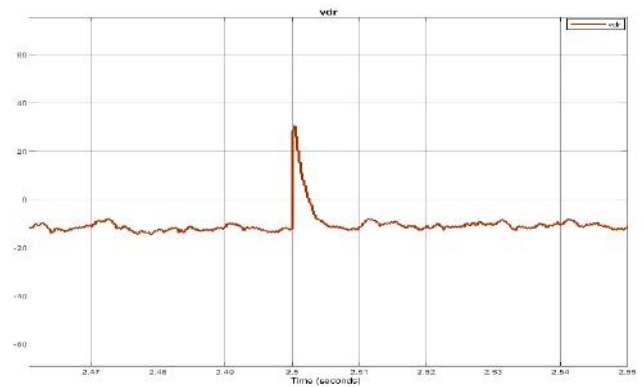


Fig. 11 Direct rotor voltage reference

DC bus voltage in the grid side is shown in Figure 12. We can see that DC bus voltage reaches its steady-state at 1150 V.

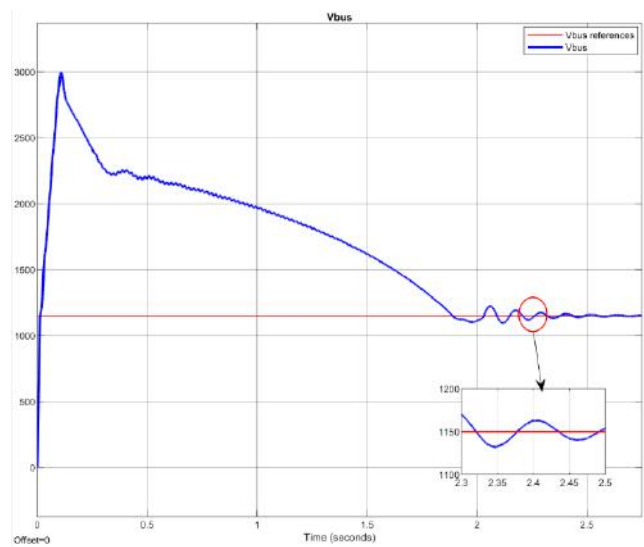


Fig. 12 DC bus voltage

Direct and quadrature grid currents behavior are presented in Figure 13 and 14, respectively. The behavior of the direct grid current is very accurate. The performance of 3-phase grid currents is demonstrated in Figure 15.

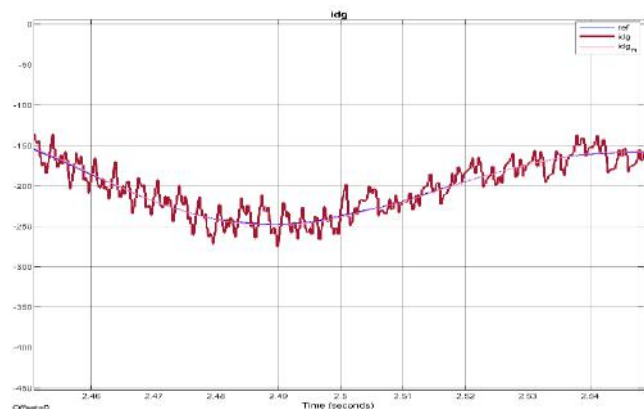


Fig. 13 Direct grid current behavior

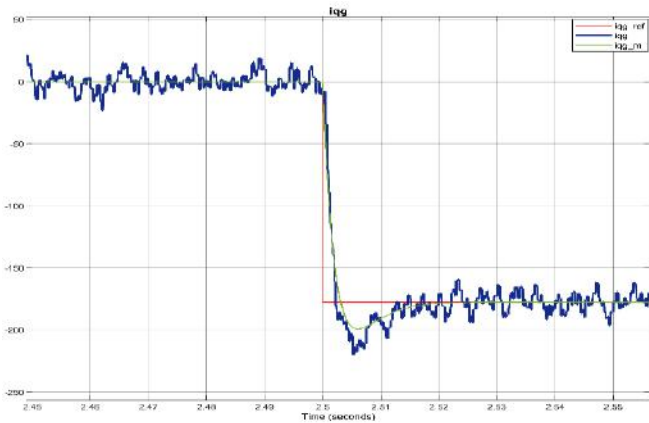


Fig. 14 Quadrature grid current behavior

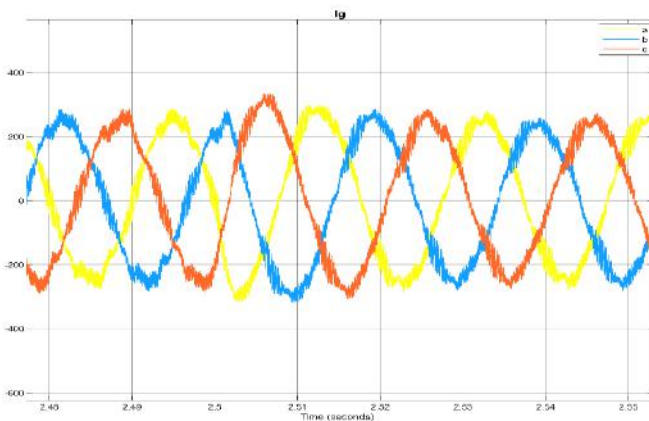


Fig. 15 Three-phase grid currents

## 6. Conclusion

This paper employs vector control strategy of a wind turbine based on DFIG. From the simulation results, it can be observed that the RSC controls the rotor current loops, and rotor voltage references, while, the GSC controls the DC bus voltage and grid reactive power. On the other hand, stator flux-oriented technique is applied to regulate the current loops in the rotor side. Likewise, the grid voltage-oriented technique is implemented to regulate grid reactive power as it varies according to the grid code. The simulated results demonstrates that the accuracy and the similarities of the actual and theoretical current components for both RSC and GSC.

## References

- Instruments, T. (1997). Clarke & park transforms on the tms320c2xx. *Application Report BPR4*, 48.
- Ahmed, H. M., Bentaallah, A., Djeriri, Y., & Mahmoudi, A. (2020). Comparative study between pi and fuzzy pi controllers for DFIG integrated in variable speed wind turbine. *Int J Energ*, 4(2), 8.
- Benkahla, M., Taleb, R., & Boudjema, Z. (2016). Comparative study of robust control strategies for a DFIG-based wind turbine. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(2), 455-462.
- Haseeb, I., Basit, A., Khan, R., & Asif, M. (2019). Designing variable speed small hydro turbine with doubly fed induction generator (DFIG). *International Journal of Renewable Energy Sources*, 4, 1-10.

- Ibrahim, A. (2009). Vector control of current regulated inverter connected to grid for wind energy applications. *International Journal of Renewable Energy Technology*, 1(1), 17-28.
- Michas, M. (2018). *Control of turbine-based energy conversion systems* [Doctoral dissertation, Cardiff University].
- Yang, B., Jiang, L., Wang, L., Yao, W., & Wu, Q. H. (2016). Nonlinear maximum power point tracking control and modal analysis of DFIG based wind turbine. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 74, 429-436.
- Akhmatov, V. (2002). Variable-speed wind turbines with doubly-fed induction generators: Part i: Modelling in dynamic simulation tools. *Wind engineering*, 26(2), 85-108.
- Abu-Rub, H., Malinowski, M., & Al-Haddad, K. (2014). *Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications*. John Wiley & Sons.
- Yaichi, I., Semmah, A., & Wira, P. (2019). European Journal of Electrical Engineering. *European Journal of Electrical Engineering*, 21(5), 457-464.
- Lamnadi, M., Trihi, M., Bossoufi, B., & Boulezhar, A. (2016). Modeling and control of a doubly-fed induction generator for wind turbine-generator systems. *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, 7(3), 982-995.
- Tuka, M. B. (2020). DC Link Voltage and Power Flow Control of Doubly Fed Induction Generator in Wind Power System. *2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, 1-5.
- Noussi, K., Abouloifa, A., Katir, H., & Lachkar, I. (2019). Modeling and control of a wind turbine based on a doubly fed induction generator. *4th World Conference on Complex Systems (WCCS-2019)*, 1-5.
- Abad, G., Lopez, J., Rodriguez, M., Marroyo, L., & Iwanski, G. (2011). *Doubly fed induction machine: modeling and control for wind energy generation*. John Wiley & Sons.
- Nadour, M., Essadki, A., & Nasser, T. (2017). Comparative analysis between PI & backstepping control strategies of DFIG driven by wind turbine. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(3), 1307-1316.



# H-Darrieus Rüzgar Türbininde Simetrik ve Asimetrik Kanat Profili Kullanımının Karşılaştırılması

M. Özgün Korukçu<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4761-4304), ozkorukcu@uludag.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082424)

**ATIF/REFERENCE:** Korukçu, M. Ö. (2022). H-Darrieus Rüzgar Türbininde Simetrik ve Asimetrik Kanat Profili Kullanımının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 421-427.

## Öz

Rüzgar türbinlerinde kanat profili seçimi türbinin aerodinamik performansı açısından çok önemlidir. Bu çalışmada dikey eksenli H-Darrieus rüzgar türbinlerinde simetrik ve asimetrik kanat profili kullanımının türbin verimine olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Beş simetrik kanat profili (NACA0009, NACA0012, NACA0015, NACA0018, NACA0021) ile beş asimetrik kanat profilinin (NACA2412, NACA4412, NACA6412, NACA8412, NACA10412) H-Darrieus rüzgar türbininde kullanılması durumunda türbin verimi incelenmiştir. Hesaplamalarda Çift Çoklu Akım Tüpü (ÇÇAT) (Double Multiple Stream Tube-DMST) yöntemi kullanılmıştır. NACA0018 kanat profili kullanılan türbinde en yüksek güç katsayısı  $C_{Pmax}=0.4791$  bulunurken, NACA2412 kanat profili kullanılan türbinde en yüksek güç katsayısı ise  $C_{Pmax}=0.4726$  bulunmuştur. NACA0018 ve NACA2412 kanat profilleri için kanat uç hız oranının ( $\lambda$ ) güç katsayısına ( $C_P$ ) ve rotor açısının ( $\theta$ ) moment değerlerine ( $\tau$ ) göre değişimlerini veren matematiksel bağıntılar elde edilmiştir. Elde edilen bağıntıların hepsinde regresyon katsayısı oldukça yüksektir ( $r^2 > 0.99$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Dikey Eksenli Rüzgar Türbini, Kanat Profili, DMST, Güç Katsayısı, Yenilenebilir Enerji.

## Comparison of symmetrical and asymmetrical airfoil usage on H-Darrieus Wind Turbine

### Abstract

Airfoil choice is vital for wind turbines. In this study effects of symmetrical and asymmetrical airfoil types on vertical axis H-Darrieus turbine performance are investigated. Coefficient of performance ( $C_P$ ) of H-Darrieus turbine is investigated for five symmetric (NACA0009, NACA0012, NACA0015, NACA0018, NACA0021) and five asymmetric airfoils (NACA2412, NACA4412, NACA6412, NACA8412, NACA10412). In the calculations Double Multiple Stream Tube (DMST) model is used. For NACA0018 airfoil maximum power coefficient is found as  $C_{Pmax}=0.4791$  whereas maximum power coefficient for NACA2412 airfoil is found as  $C_{Pmax}=0.4726$ . Mathematical relations for coefficient of performance ( $C_P$ ) respect to tip speed ratio ( $\lambda$ ) and torque ( $\tau$ ) respect to azimuth angle ( $\theta$ ) are derived. Regression coefficients of the relations are found very high ( $r^2 > 0.99$ ).

**Keywords:** Vertical Axis Wind Turbine, Airfoil, DMST, Power Coefficient, Renewable Energy.

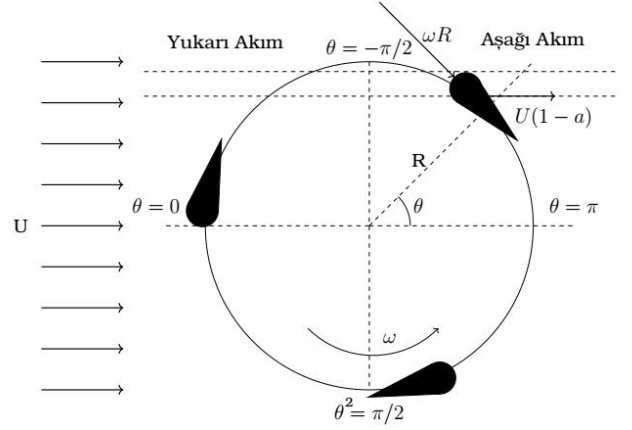
## 1. Giriş

Dünyamızın 1970 senelerinde yaşadığı petrol krizi ülkeleri sürdürülebilir ve fosil kökenli yakıtlara alternatif enerji kaynakları araştırmaya yöneltmiştir. Söz konusu alternatif enerji kaynaklarından birisi de rüzgar enerjisidir (Akpınar, 2006). Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin (YERT) rüzgar enerjisi pazarına hakim olmasına karşın son senelerde dikey eksenli rüzgar türbinleri (DERT) konusunda yapılan araştırma sayısı gittikçe artmaktadır (Mathew, 2006). Dikey eksenli türbinlerin aerodinamik performansını etkileyen ana parametreler; kanat profili, rotor geometrisi, solidite, türbin yüksekliğinin çapa oranı ve kanat uç hız oranıdır. Genelde rüzgar türbinlerinin aerodinamik performansları rüzgar tünellerinde yapılan deneyler, Sayısal Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri, momentum modelleri ile akım-tüpü (stream-tube) modelleri kullanılarak belirlenmektedir. Rüzgar tünellerinde yapılan deneyler doğru sonuç vermesine karşın çok pahalıdır. Sayısal Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği (CFD) analizlerinde ise Navier-Stokes denklemleri zamana bağlı koşullar altında çözülmektedir. Hesaplamalarda ağ yapısı, eleman sayısı, türbülans modeli, zaman adımı ve bilgisayar kapasitesi sonuçları etkilemektedir. Momentum modelleri Reynolds sayısına göre kanat profili tablolarından kanadın kaldırma ( $C_L$ ) ve sürüklenme ( $C_D$ ) katsayısı değerlerini bularak türbin üzerine etki eden kuvvetleri ve moment değerlerini hesaplamaktadır. Akım tüpü modelleri ise diğer yaklaşımlara göre dikey eksenli türbinlerin aerodinamik performansını belirlemede çok hızlı ve kullanışlıdır (Bedon vd., 2015, 2016, Berrone vd., 2011, Chen vd., 2016). Akım tüpü modelleri tek-akım tüpü modelinden (Templin, 1974) doğmuş ve daha sonra çoklu akım tüpü modelleri geliştirilmiştir (Strickland, 1975). Çift Çoklu Akım Tüpü (ÇÇAT) (Double Multiple Stream Tube-DMST) yöntemi ise Paraschivoiu (Paraschivoiu, 1983) tarafından geliştirilmiştir.

Bu çalışmada beş simetrik kanat profili (NACA0009, NACA0012, NACA0015, NACA0018, NACA0021) ile beş asimetrik kanat profilinin (NACA2412, NACA4412, NACA6412, NACA8412, NACA10412) kullanılmasının düz kanatlı dikey H-Darrieus rüzgar türbinin aerodinamik performansına etkisi incelenmiştir.

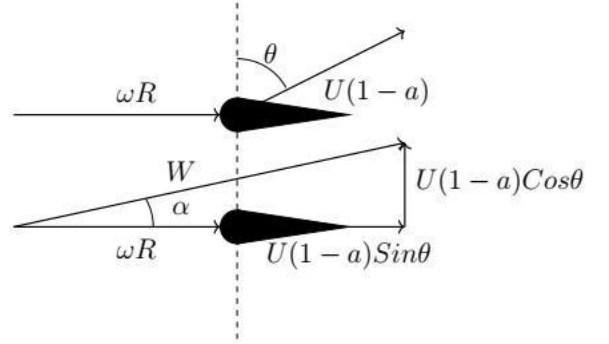
## 2. Materyal ve Metot

Çift-Çoklu Akım Tüpü modelinde rotor üzerine gelen hava akışı akım tüplerinden oluşmaktadır. Her akım tüpü gelen rüzgar hızına ( $U$ ) sahiptir ve daha sonra bu hız yukarı akım ( $U_y$ ) ve aşağı akım ( $U_a$ ) olarak ikiye ayrılır. Çalışmada modellenen rotor geometrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Rotor geometrisi.

Bir kanat üzerine gelen hız bileşenleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kanat üzerindeki hız bileşenleri.

Kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) Eşitlik 1'deki gibi tanımlanmaktadır. Rotorun açılal hızı ( $\omega$ ) ve rotorun yarıçapı ( $R$ ) olarak gösterilebilir.

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (1)$$

Yukarı akım ( $W_y$ ) ve aşağı akım ( $W_a$ ) bağıl hız değerleri Eşitlik 2-3 ile hesaplanabilir.

$$W_y = (\omega R + U_y(1 - a_y)\sin\theta)^2 + (U_y(1 - a_y)\cos\theta)^2 \quad (2)$$

$$W_a = (\omega R + U_a(1 - a_a)\sin\theta)^2 + (U_a(1 - a_a)\cos\theta)^2 \quad (3)$$

Yukarı akım ve aşağı akım aksenal azalma faktörleri ( $a_y$ ,  $a_a$ ) olarak tanımlanmıştır. Rotorun herhangi bir konumda bulunduğu açı ise ( $\theta$ ) ile gösterilmiştir.

Yukarı akım ve aşağı akım hücum açıları ( $\alpha_y$ ,  $\alpha_a$ ) Eşitlik 4-5 ile bulunabilir.

$$\alpha_y = \frac{(U_y(1 - a_y)\cos\theta)}{(\omega R + U_y(1 - a_y)\sin\theta)} \quad (4)$$



$$\alpha_a = \frac{(U_a(1 - a_a)\cos\theta)}{(\omega R + U_a(1 - a_a)\sin\theta)} \quad (5)$$

Akım tüpleri üzerine gelen itki kuvvetleri Eşitlik 6-7 yardımıyla hesaplanabilir.

$$F_y = \frac{Nc}{8\pi R} \frac{W_y^2}{U_y^2} \sec\theta (C_{n_y}\cos\theta - C_{t_y}\sin\theta) \quad (6)$$

$$F_a = \frac{Nc}{8\pi R} \frac{W_a^2}{U_a^2} \sec\theta (C_{n_a}\cos\theta - C_{t_a}\sin\theta) \quad (7)$$

Yukarıdaki eşitliklerde kanat sayısı ( $N$ ), kord uzunluğu ( $c$ ), normal ( $C_n$ ), teğetsel ( $C_t$ ), kaldırma ( $C_l$ ) ve sürüklenme katsayısı ( $C_d$ ) olarak gösterilmiştir. Kanat profillerinin kaldırma ( $C_l$ ) ve sürüklenme katsayısı ( $C_d$ ) değerleri kanat üzerine gelen serbest hava hızından hesaplanan Reynolds sayısına göre XFOIL yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Normal ( $C_n$ ) ve teğetsel ( $C_t$ ) katsayılar kaldırma ( $C_l$ ) ve sürüklenme katsayısı ( $C_d$ ) değerleri yardımıyla Eşitlik 8-9'daki gibi bulunur.

$$C_n = C_l \cos\alpha + C_d \sin\alpha \quad (8)$$

$$C_t = C_l \sin\alpha - C_d \cos\alpha \quad (9)$$

Yukarı ve aşağı akımdaki teğetsel kuvvetler Eşitlik 10-11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_{t_y} = C_{t_y} \left(\frac{W_y}{U}\right)^2 \quad (10)$$

$$F_{t_a} = C_{t_a} \left(\frac{W_a}{U}\right)^2 \quad (11)$$

Her akım tüpündeki tork ( $\tau_i$ ) kanatların birim uzunluğu için hesaplanır ve rotorun toplam torkunun ( $\tau_T$ ) bulunmasında kullanılır (Eşitlik 12-13).

$$\tau_i = \frac{1}{2} \frac{Nc\rho}{2\pi(U_y + U_a)} \quad (12)$$

$$x \left[ \begin{array}{l} W_y^2 U_a \left( C_{t_y} R + C_{n_y} \frac{c}{4} \right) \\ + W_a^2 U_y \left( C_{t_a} R + C_{n_a} \frac{c}{4} \right) \end{array} \right] \quad (12)$$

Kanat uzunluğu ( $L$ ) ve hava yoğunluğu ( $\rho$ ) olarak gösterilmiştir.

$$\tau_T = L \sum_{\theta=-\pi/2}^{\theta=\pi/2} Q_i \quad (13)$$

Rotorun ürettiği güç ( $P$ ) ve güç katsayısı ( $C_p$ ) Eşitlik 14-15 ile hesaplanabilir.

$$P = \tau_T \omega \quad (14)$$

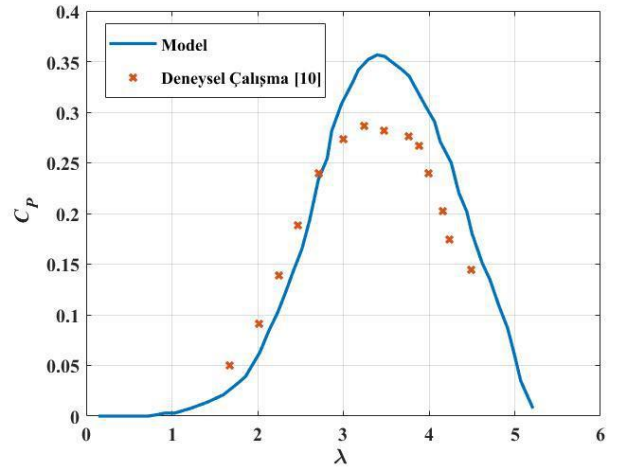
$$C_p = \frac{P}{1/2 \rho A U^3} \quad (15)$$

Bu çalışmada rüzgar hızı ( $U$ ) 10 m/s, hava yoğunluğu ( $\rho$ ) 1.225 kg/m<sup>3</sup>, 3 düz kanattan oluşan H-Darrieus rüzgar türbininde, kord uzunluğu ( $c$ ) 20 cm, rotor yarıçapı ( $R$ ) 2 m ve kanatların yüksekliği 3 m olarak alınmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Doğrulama

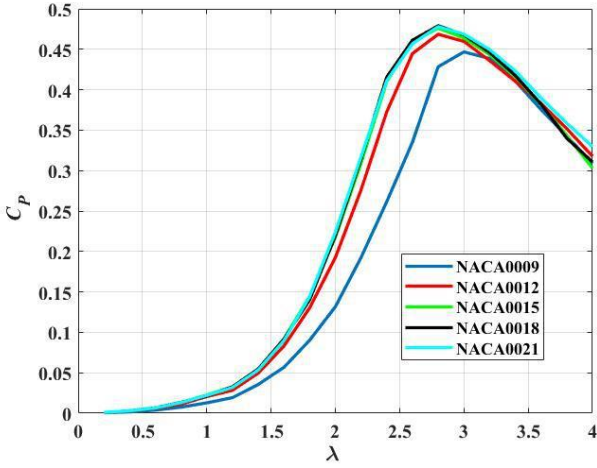
Çalışmada kullanılan model deneysel verilerle (Kjellin vd., 2011) karşılaştırılmış ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'den görüldüğü üzere kullanılan modelde düşük kanat uç hız oranları ( $\lambda$ ) için deneysel veriler ile uyumludur ancak yüksek kanat uç hız oranlarında ( $\lambda$ ) deneysel verilerin üzerinde güç katsayısı ( $C_p$ ) değerleri elde edilmiştir. Modelde elde edilen en yüksek güç katsayısı ( $C_p$ ) değeri ile deneysel verilerden alınan en yüksek güç katsayısı ( $C_p$ ) değeri hemen hemen aynı kanat uç hız oranı  $\lambda=3.3$  değeri için bulunmuştur.



Şekil 3. Model ile deneysel verilerin (Kjellin vd., 2011) karşılaştırılması.

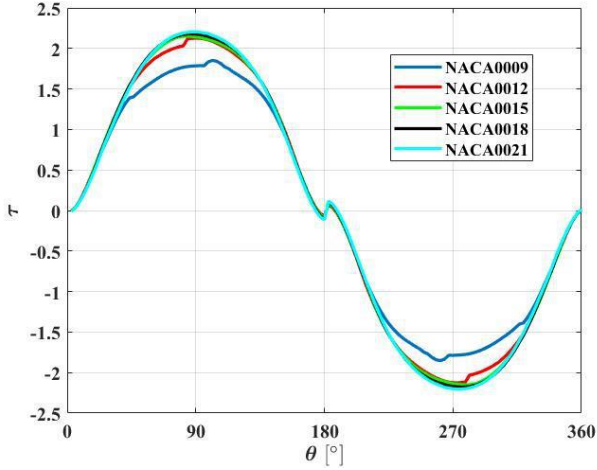
#### 3.2. Simetrik Kanat Profilleri

Seçilen beş adet simetrik kanat profili için (NACA0009, NACA0012, NACA0015, NACA0018, NACA0021) kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_p$ ) ve rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau$ ) Şekil 4-5'de verilmiştir.



Şekil 4. Simetrik kanat profillerinin kanat uç hızına ( $\lambda$ ) bağlı olarak güç katsayılarının ( $C_p$ ) değişimi.

Şekil 4'de görüldüğü üzere en yüksek güç katsayısı değeri NACA0018 profili için  $\lambda=2.8$  değerinde  $C_{Pmax}=0.4791$  olarak bulunmuştur.

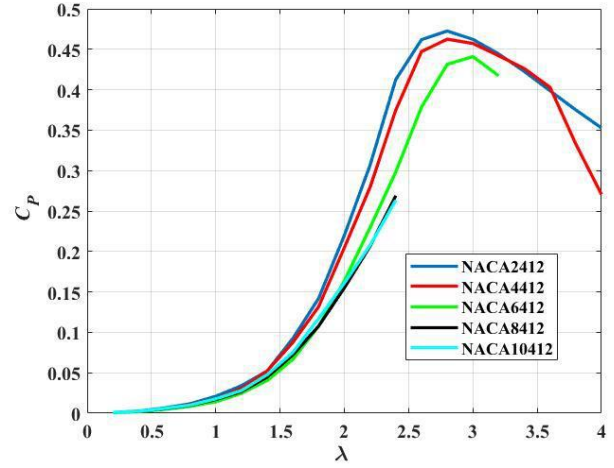


Şekil 5. Simetrik kanat profillerinin dönüş açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak moment değerlerinin ( $\tau$ ) değişimi.

Şekil 5'de görüldüğü üzere en yüksek moment değerleri ( $\tau$ ) NACA0018 ve NACA0021 değerleri için elde edilmiştir. Diğer kanat profillerinde bazı dönüş açılarında dengesizlikler oluşmuştur.

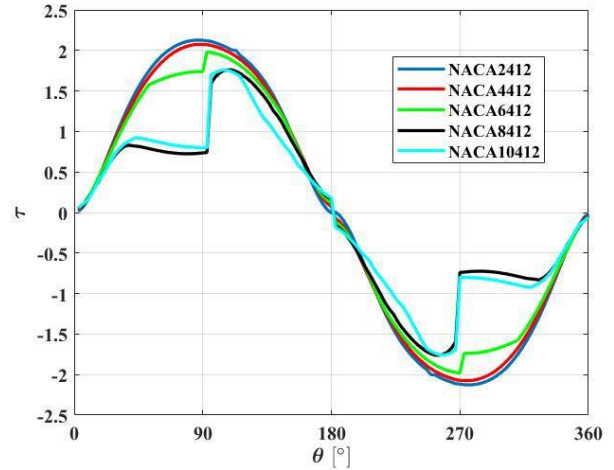
### 3.3. Asimetrik Kanat Profilleri

Seçilen beş adet asimetrik kanat profili için (NACA2412, NACA4412, NACA6412, NACA8412, NACA10412) kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_p$ ) ve rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau$ ) Şekil 6-7'de verilmiştir.



Şekil 6. Asimetrik kanat profillerinin kanat uç hızına ( $\lambda$ ) bağlı olarak güç katsayılarının ( $C_p$ ) değişimi.

Şekil 6'da görüldüğü üzere en yüksek güç katsayısı değeri NACA2412 profili için  $\lambda=2.8$  değerinde  $C_{Pmax}=0.4726$  olarak elde edilmiştir. NACA8412 ve NACA10412 kanat profilleri için çok düşük güç katsayısı ( $C_p$ ) değerleri elde edilmiştir.

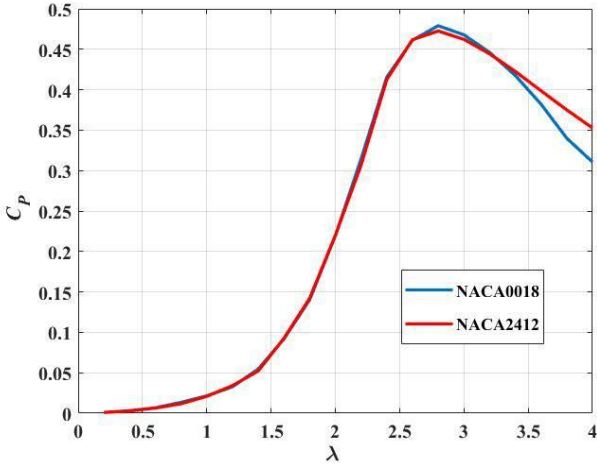


Şekil 7. Asimetrik kanat profillerinin dönüş açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak moment değerlerinin ( $\tau$ ) değişimi.

Şekil 7'den görüleceği üzere en yüksek moment değerleri ( $\tau$ ) NACA2412 ve NACA4412 kanat profilleri için elde edilirken diğer kanat profillerinin moment değerlerinde dengesizlikler olduğu hesaplanmıştır.

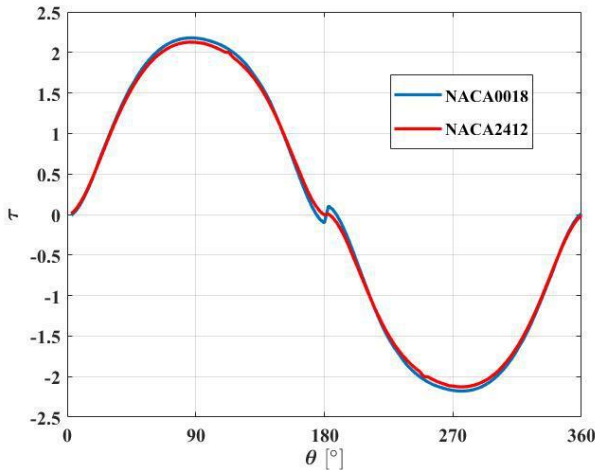
### 3.4 NACA0018 ve NACA2412 kanat profillerinin karşılaştırılması

En yüksek güç katsayısı değerleri ( $C_{Pmax}$ ) elde edilen NACA0018 ve NACA2412 kanat profillerinin kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_p$ ) ve rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau$ ) Şekil 8-9'da verilmiştir.



Şekil 8. NACA0018 ve NACA2412 kanat profillerinin kanat uç hızına ( $\lambda$ ) bağlı olarak güç katsayılarının ( $C_p$ ) değişimi.

Şekil 8'den görüldüğü üzere  $\lambda=2.8$  kanat uç hız oranında elde edilen ( $C_{Pmax}$ ) değerine kadar neredeyse aynı güç katsayısı ( $C_p$ ) değerleri elde edilirken bu değerden sonra  $\lambda=3.2$  kanat uç hız oranı değerine kadar NACA0018 kanat profili daha sonra ise NACA2412 kanat profili için daha yüksek güç katsayısı ( $C_p$ ) değerleri hesaplanmıştır.

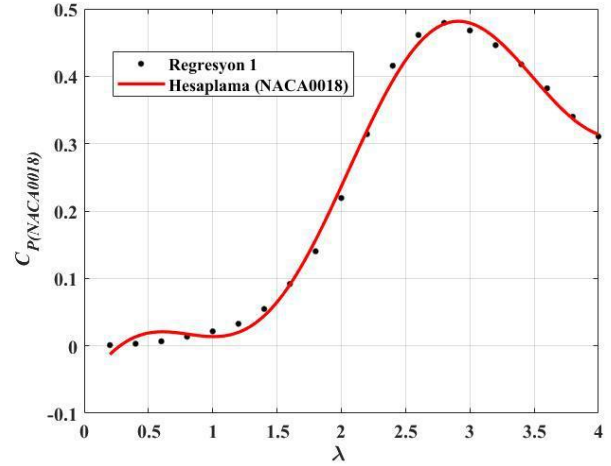


Şekil 9. NACA0018 ve NACA2412 kanat profillerinin dönüş açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak moment değerlerinin ( $\tau$ ) değişimi.

Şekil 9'da NACA0018 kanat profili için elde edilen moment değerlerinin ( $\tau$ ) NACA2412 için elde edilen moment değerlerinden ( $\tau$ ) daha yüksek olduğu görülmektedir.

### 3.5 NACA0018 kanat profili regresyon hesapları

NACA0018 kanat profili için elde edilen güç katsayısı ( $C_p$ ) ve moment değerlerinden ( $\tau$ ) elde edilen veriler yardımıyla matematiksel bağıntılar çıkartılmıştır. Şekil 12'de NACA0018 kanat profilinin kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_p$ ) değerleri ve elde edilen bağıntı karşılaştırılmıştır.



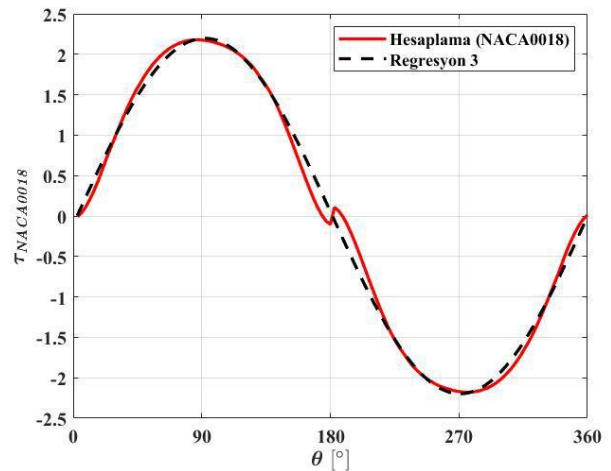
Şekil 10. NACA0018 kanat profilinin kanat uç hızına ( $\lambda$ ) bağlı olarak güç katsayılarının ( $C_p$ ) değişimini veren bağıntının karşılaştırılması.

Eşitlik 16'da NACA0018 kanat profilinin kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_{P(NACA0018)}$ ) değerini veren bağıntı gösterilmiştir.

$$C_{P(NACA0018)} = 0.4214 * \sin(0.5281 * \lambda + 0.3832) + 0.1033 * \sin(2.413 * \lambda + 1.203) \quad (16)$$

$(r^2 = 0.9964)$

Şekil 11'de NACA0018 kanat profili için rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau_{NACA0018}$ ) elde edilen bağıntı karşılaştırılmıştır.



Şekil 11. NACA0018 kanat profilinin dönüş açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak moment değerlerinin ( $\tau$ ) değişimini veren bağıntının karşılaştırılması.

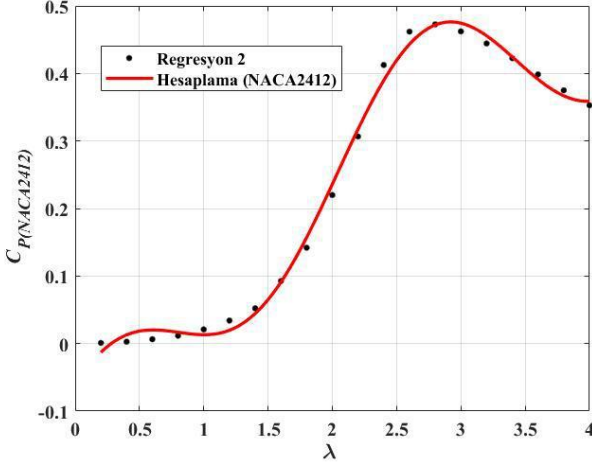
Eşitlik 17'de NACA0018 kanat profilinin rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau_{NACA0018}$ ) için bulunan bağıntı verilmiştir.

$$\tau_{NACA0018} = 2.197 * \sin(0.01758 * \theta - 0.04826) \quad (17)$$

$(r^2 = 0.9946)$

### 3.6 NACA2412 kanat profili regresyon hesapları

NACA2412 kanat profili için elde edilen güç katsayısı ( $C_P$ ) ve moment değerlerinden ( $\tau$ ) elde edilen veriler yardımıyla matematiksel bağıntılar çıkartılmıştır. Şekil 12'de NACA2412 kanat profilinin kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_P$ ) değerleri ve elde edilen bağıntı karşılaştırılmıştır.



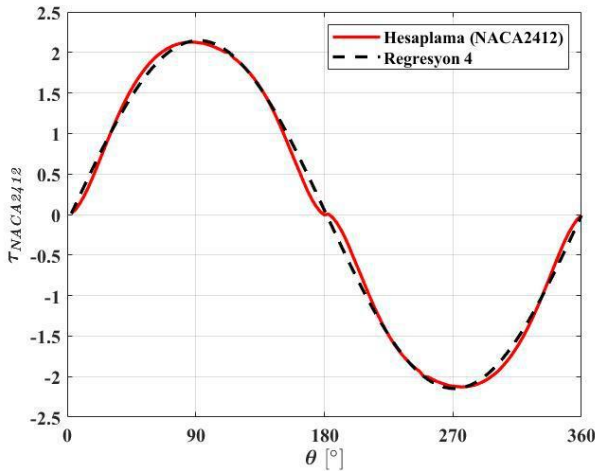
Şekil 12. NACA2412 kanat profilinin kanat uç hızına ( $\lambda$ ) bağlı olarak güç katsayılarının ( $C_P$ ) değişimini veren bağıntının karşılaştırılması.

Eşitlik 18'de NACA2412 kanat profilinin kanat uç hız oranına ( $\lambda$ ) bağlı olarak elde edilen güç katsayısı ( $C_{P(NACA2412)}$ ) değerini veren bağıntı gösterilmiştir.

$$C_{P(NACA2412)} = 0.456 * \sin(0.4654 * \lambda - 0.3364) + 0.09754 * \sin(2.451 * \lambda + 1.177) \quad (18)$$

$$(r^2 = 0.996)$$

Şekil 13'de NACA2412 kanat profili için rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau_{NACA2412}$ ) elde edilen bağıntı karşılaştırılmıştır.



Şekil 13. NACA2412 kanat profilinin dönüş açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak moment değerlerinin ( $\tau$ ) değişimini veren bağıntının karşılaştırılması.

Eşitlik 19'da NACA2412 kanat profilinin rotor açısına ( $\theta$ ) bağlı olarak elde edilen moment değerleri ( $\tau_{NACA2412}$ ) için bulunan bağıntı verilmiştir.

$$\tau_{NACA2412} = 2.147 * \sin(0.01756 * \theta - 0.04542) \quad (19)$$

$$(r^2 = 0.997)$$

Modelin deneysel veriler (Kjellin et al., 2011) ile karşılaştırıldığı Şekil 3'de incelenen modelin 3 boyutlu etkileri ve türbülans değerlerini ihmal etmesi deneysel verilerden daha yüksek güç katsayısı ( $C_P$ ) değerleri elde edilmesine yol açmıştır.

Simetrik ve asimetric kanat profilleri için elde edilen güç katsayısı ( $C_P$ ) ve moment ( $\tau$ ) grafiklerinden anlaşılacağı üzere simetrik kanat profilleri içerisinde NACA0018 en iyi aerodinamik performansı ( $C_{Pmax}$ ) gösterirken NACA0009 ve NACA0012 kanat profilleri daha düşük aerodinamik performans ( $C_P$ ) göstermiştir. Şekil 5'deki moment verileri incelendiğinde NACA0009 ve NACA0012 kanat profilleri için bazı açı değerlerinde dengesiz moment değerleri ( $\tau$ ) bulunmuştur.

Asimetrik kanat profillerinde ise en yüksek performansı ( $C_{Pmax}$ ) NACA2412 kanat profili gösterirken NACA6412, NACA8412 ve NACA10412 kanat profilleri daha düşük aerodinamik performans ( $C_P$ ) göstermiştir. Şekil 7'de verilen moment grafiği incelendiğinde NACA6412, NACA8412 ve NACA10412 kanat profilleri için dengesiz moment değerleri ( $\tau$ ) elde edilmiştir.

Dengesiz moment değerleri ( $\tau$ ) rotor üzerine gelen dengesiz kuvvetlerin sonucunda oluşmaktadır. Bu tarz dengesiz kuvvetler yalnızca rüzgar türbininin aerodinamik performansını olumsuz yönde etkilememekte aynı zamanda türbinin mekanik olarak daha fazla yorulmasına neden olmaktadır.

Seçilen on kanat profili arasında NACA0018 ve NACA2412 oldukça benzer performans göstermişlerdir. İki kanat profili için elde edilen kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) ve güç katsayısı ( $C_P$ ) ile dönüş açısı ( $\theta$ ) moment ( $\tau$ ) bağıntılarının regresyon katsayıları oldukça yüksektir ( $r^2 > 0.99$ ).

## 4. Sonuç

Çalışmada beş adet simetrik (NACA0009, NACA0012, NACA0015, NACA0018, NACA0021) ve beş adet asimetric (NACA2412, NACA4412, NACA6412, NACA8412, NACA10412) kanat profilinin düz kanatlı H-Darrieus rüzgar türbininde kullanılmasının türbin performansına olan etkileri incelenmiştir. İncelenen profillerin her biri için kanat uç hız oranının ( $\lambda$ ) güç katsayısına ( $C_P$ ) ve rotor açısının ( $\theta$ ) moment değerlerine ( $\tau$ ) göre değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre en yüksek güç katsayısı değeri NACA0018 kanat profili için  $C_{Pmax(NACA0018)}=0.4791$  olarak bulunurken NACA2412 kanat profili için en yüksek güç katsayısı  $C_{Pmax(NACA2412)}=0.4726$  bulunmuştur.

Simetrik kanat profillerinden NACA0009 ve NACA0012, asimetric kanat profillerinden ise NACA6412, NACA8412 ve NACA10412 profilleri bazı dönüş açılarında ( $\theta$ ) dengesiz moment değerleri ( $\tau$ ) oluşturduğundan dikey eksenli rüzgar türbinlerinde kullanılması uygun görülmemiştir.

NACA0018 ve NACA2412 kanat profilleri için kanat uç hız oranının ( $\lambda$ ) güç katsayısına ( $C_P$ ) ve rotor açısının ( $\theta$ ) moment değerlerine ( $\tau$ ) göre değişimlerini veren bağıntılar elde edilmiştir.

Elde edilen bağıntılar H-Darrieus rüzgar türbini tasarımında kullanılabilir.

Son olarak hesaplamalarda kullanılan modelin 2 boyutlu olduğu, 3 boyutlu hava hızı ve türbülans etkilerinin ihmal edilmesinden dolayı gerçek veriler ile farklılıklar olduğu sonucuna varılmıştır.

Modelin rüzgar türbini için güç katsayısı ( $C_p$ ) hesaplamaları oldukça hızlıdır. Ancak elde edilen veriler dikey eksenli rüzgar türbinlerinin aerodinamik performansının ilk tahmini olarak kullanılabilir. Daha gerçekçi veriler için rüzgar türbinlerinde yapılan deneylere ve üç boyutlu Sayısal Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) çalışmalarına gereksinim duyulmaktadır.

## Kaynakça

- Akpınar, E. K. (2006). A statistical investigation of wind energy potential. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 28(9), 807–820. <https://doi.org/10.1080/009083190928038>
- Bedon, G., De Betta, S., & Benini, E. (2016). Performance-optimized airfoil for Darrieus wind turbines. *Renewable Energy*, 94, 328–340. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.071>
- Bedon, G., Paulsen, U. S., Madsen, H. A., Belloni, F., Castelli, M. R., & Benini, E. (2015). Aerodynamic Benchmarking of the Deepwind Design. *Energy Procedia*, 75, 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.486>
- Berrone, S., Garbero, V., & Marro, M. (2011). Numerical simulation of low-Reynolds number flows past rectangular cylinders based on adaptive finite element and finite volume methods. *Computers and Fluids*, 40(1), 92–112. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2010.08.014>
- Chen, J., Chen, L., Xu, H., Yang, H., Ye, C., & Liu, D. (2016). Performance improvement of a vertical axis wind turbine by comprehensive assessment of an airfoil family. *Energy*, 114, 318–331. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.005>
- Kjellin, J., Bülow, F., Eriksson, S., Deglaire, P., Leijon, M., & Bernhoff, H. (2011). Power coefficient measurement on a 12 kW straight bladed vertical axis wind turbine. 36, 3050–3053. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.031>
- Mathew, S. (2006). *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Springer Berlin Heidelberg.
- Paraschivoiu, I. (1983). *Double-Multiple Streamtube Model for Darrieus Wind Turbines*.
- Strickland, J. (1975). *The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Stream Tubes*.
- Templin, R. J. (1974). Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine. *National Research Council Canada*.



# Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Çok Amaçlı Genel Değişken Komşuluk Arama Metasezgisel Yaklaşımı

Hacer Yumurtacı Aydoğmuş<sup>1\*</sup>, Yücel Özcan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye. (ORCID: 0000-0002-2307-0840), [hacer.aydogmus@alanya.edu.tr](mailto:hacer.aydogmus@alanya.edu.tr)

<sup>2</sup> Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0264-6062), [yclzcn07@gmail.com](mailto:yclzcn07@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082592)

**ATIF/REFERENCE:** Yumurtacı Aydoğmuş, H. & Özcan, Y. (2022). Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Çok Amaçlı Genel Değişken Komşuluk Arama Metasezgisel Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 428-432.

## Öz

İşletmeler açısından rotalama problemleri büyük önem taşıyan ve çözümünü için çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılan problemlerden birisidir. Günümüzde sera gazı salınımının düşürülmesine yönelik sürdürülebilirlik çerçevesinde çeşitli önlemler alınmaktadır. Araç rotalama problemleri de sera gazı salınımının yaklaşık yüzde yirmilik kısmını oluşturan ulaştırma sektörü içinde karşılaşılabilen problemlerdendir. Bu açıdan araç rotalama problemlerinde genellikle minimum mesafe, minimum araç sayısı, minimum karbon emisyonu gibi amaç fonksiyonları kullanılmaktadır. 1997 yılında ilk olarak Mladenovic ve Hansen tarafından geliştirilen ve sistematik olarak komşuluk değişimleri fikrini kullanan Değişken Komşuluk Arama (DKA) metasezgiseli farklı çeşitlere sahiptir. Bu çeşitlerden birisi de Genel Değişken Komşuluk Arama (GDKA) yapısıdır. Bu çalışmada çok amaçlı araç rotalama problemine uygulamak üzere geliştirilen ve değişken komşuluk arama metasezgisel yaklaşımı temelli Çok Amaçlı Genel Değişken Komşuluk Arama (ÇAGDKA) yönteminin gerçek hayat probleminde uygulanarak mevcut rotalar üzerinde iyileştirme yapılması amaçlanmıştır. ÇAGDKA (Yumurtacı Aydoğmuş, 2011) yaklaşımı, Geiger'in 2004 yılında ilk defa ortaya attığı çok amaçlı değişken komşuluk arama (ÇADKA) yönteminden yola çıkarak geliştirilmiştir. Çalışmada ÇAGDKA yaklaşımının mevcut rotadan daha iyi sonuç verdiği ve farklı iki senaryo ile elde edilen sonuçlarla da karşılaştırıldığında da daha iyi sonuçlar sunduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Amaçlı Genel Değişken Komşuluk Arama, Metasezgisel, Araç Rotalama.

## Multi Objective General Variable Neighborhood Search Metaheuristic for Solving Vehicle Routing Problem

### Abstract

Routing problems are one of the problem types that are of great importance for businesses and various methods are tried to be developed for their solution. Today, different measures are taken within the framework of sustainability to reduce greenhouse gas emissions. Vehicle routing problems are also one of the problems that can be encountered in the transportation sector, which accounts for about twenty percent of greenhouse gas emissions. In this respect, objective functions such as minimum distance, minimum number of vehicles, minimum carbon emission are generally used in vehicle routing problems. Variable Neighborhood Search (VNS), which was first developed by Mladenovic and Hansen in 1997 and systematically uses the idea of neighborhood changes, has different varieties of metaheuristics. One of these types is the General Variable Neighborhood Search (GVNS) structure. In this study, it is aimed to improve the existing routes by applying the variable neighborhood search metaheuristic approach-based Multi-Objective General Variable Neighborhood Search (MOGVNS) method, which was developed to apply to the multi-objective vehicle routing problem, in a real life problem. The MOGVNS (Yumurtacı Aydoğmuş, 2011) approach was developed based on the Multi-Objective Variable Neighborhood Search (MOVNS) method, which was first introduced by Geiger in 2004. In the study, it was seen that the MOGVNS approach gave better results than the current route and provided better results when the results obtained with the two different scenarios were compared.

**Keywords:** Multi-Objective General Variable Neighborhood Search, Metaheuristic, Vehicle Routing.

\* Sorumlu Yazar: [hacer.aydogmus@alanya.edu.tr](mailto:hacer.aydogmus@alanya.edu.tr)

## 1. Giriş

Modern firmaların lojistik operasyonlarının özünde malzemelerin minimum maliyetle depolara yönlendirilmesi veya birleştirilmesi sorunu bulunmaktadır ve bu sorunların belirli kısıtlamaları bulunmaktadır [1]. Arazi kullanımı, kaynak tüketimi gibi açılardan ekosistemlere ve insan sağlığına zarar vermesi nedeniyle araç taşımacılığının çevre üzerindeki olumsuz etkisi bilinmektedir. Ayrıca sera gazı emisyonunun, küresel sıcaklıklarda gözlenen artışa sebep olduğu bilinmektedir [2]. 2011 yılında yapılan bir çalışma göstermektedir ki CO<sub>2</sub> emisyonlarının %33'ü ulaştırma sektöründen gelmektedir [3]. Ulaştırma sektöründeki çevresel ve ekonomik yönlendirmeler, araştırmacıların yönlendirme sorunlarının optimizasyonuna olan ilgisini arttırmaktadır [4].

NP-hard problemlerden olan araç rotalama problemleri (ARP) [5], ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında ele alınmasından bu yana geçen 60 yıllık sürede sıklıkla ele alınan bir konu olmuştur. Laporte [6] ARP'nin uygun teslimatı tasarlama problemi olarak tanımlanabildiğini, bir veya birkaç depodan coğrafi açıdan dağınık şehir ve müşterileri kapsadığını belirtmiştir.

ARP, taşıdığı özelliklere göre farklı çeşitlere ayrılmıştır. Aracın tipine göre homojen veya heterojen ARP, talebin yapısına göre sabit veya stokastik talepli ARP, depo sayısına göre çok ve tek depolu, aracın depoya dönme şartının bulunmaması durumu için açık uçlu ARP gibi. Ayrıca, problem sahip olduğu amaç fonksiyonunun bir veya birden fazla olmasına göre de tek amaçlı veya çok amaçlı olmak üzere ikiye ayrılabilir. [7].

Araç rotalama problemleri genellikle maliyet (uzaklık veya finansal) minimizasyonu gibi tek amaca sahip olmaktadır. Çoğu gerçek endüstri problemleri ise sadece maliyet ile sınırlanılmayıp, birden çok amaca sahiptir. Örneğin, sadece maliyet bile göz önüne alınmış olsa, aynı problem için farklı maliyetlerin (zaman ve para gibi) tanımlanması mümkündür. Ayrıca, maliyetin yanı sıra gecikme ve eşitlik gibi kavramlarla da uğraşan amaçlar olabilmektedir. Bu sebeplerden çok amaçlı araç rotalama problemlerine ilgi gösterilmektedir [7].

ARP çözümleri için çok sayıda metasezgisel yöntemler kullanılmıştır. Bunlar; tavlama benzetimi [8, 9, 10], tabu arama [11, 12], genetik algoritma [13, 14, 15] gibi yöntemleri kapsamaktadır.

Bu çalışmada da 1997 yılında geliştirilen ve ilk olarak p-medyan problemine uygulanan Değişken Komşuluk Arama (DKA) yaklaşımının bir çeşidi olan Genel Değişken Komşuluk Arama (GDKA) yönteminin çok amaçlı araç rotalama problemine uygulanması gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. ÇAGDKA Yaklaşımına Ait Algoritma

Bu çalışma için, Geiger'in 2004 yılında ilk defa ortaya attığı çok amaçlı değişken komşuluk arama (ÇADKA) yönteminin üzerinde çeşitli değişiklikler yapılması ve genel değişken komşuluk arama (GDKA) yaklaşımına uyarlanmasıyla 2011 yılında geliştirilen çok amaçlı genel değişken komşuluk arama (ÇAGDKA) kullanılmıştır.

ÇADKA uygulamasında komşuluklar içerisindeki rassal seçim yapılması durumu söz konusu iken, ÇAGDKA yönteminde denemeler sonucu bulunan belli bir sıranın takip edilmesi esastır. GDKA'nın yapısı gereği, söz konusu komşuluk yapılarının uygun sıraları, silkeleme ve yerel arama aşamalarında ayrı ayrı olmak üzere belirlenmiştir. Bu açıdan çalışmada komşuluk yapılarının sırasının belirlenmesine odaklanarak farklı sıralamalarla ve farklı tekrarlar sayıları ile elde edilen sonuçları göstermektedir.

Çalışmada kullanılan ÇAGDKA yaklaşımına ait algoritma Şekil 1'de gösterilmiştir.

*Adım 1:* Seçilen yöntemin çalıştırılması ile başlangıç çözümü oluşturulur.

*Adım 2:* Başlangıç çözümünün iki amaç fonksiyonu değeri "pareto" kümesine atılır.

*Dış döngü tekrarı:*  
k=1 olarak alınır.

k ≤ 5 için tekrar adımları:

*Adım 3:* Silkeleme aşamasının gerçekleştirilmesi için, amaç fonksiyonu değerlerine bakılmadan, geçerli çözüme k komşuluk yapısının uygulanması ile kısıtları sağlayan rassal bir çözüm üretilir.

*İç döngü tekrarı (yerel arama):*  
l=1 olarak alınır.

l ≤ 6 için tekrar adımları:

*Adım 4:* geçerli çözüme l komşuluk yapısının uygulanması ile kısıtları sağlayan çözümler üretilir.

*Adım 5:* l komşuluk yapısı için üretilen her çözüm, iki amaç fonksiyonu değerlerine bakılarak Pareto kümesine alınmasına veya alınmamasına karar verilir. Verilen kararlar doğrultusunda Pareto kümesi güncellenir.

*Adım 6:* Pareto kümesinin güncellenmesi sonucunda kümeye yeni giren çözüm değerleri varsa bunlar incelenmemiş olarak "0" indisi ile belirtilir. İncelenmemiş çözüm değerlerinden herhangi birisi rassal olarak seçilir ve yeni pareto kümesi üzerinden l=l+1 alınır.

*Sonlandırma:* Durdurma kriterine ulaşıldığında işlemler durdurulur.

Şekil 1. ÇAGDKA algoritması için işlem adımları

### 2.1.1. ÇAGDKA İçin Kullanılan Komşuluk Yapıları

Çalışmada kullanılan komşuluk yapıları şu şekildedir:

- Rota İçeri Değişim 1-1
- Rota İçeri Değişim 2-1
- Rotalar Arası Değişim 1-1
- Rotalar Arası Değişim 2-1
- Rota İçeri Kaydırma 2-0
- Rotalar Arası Kaydırma 1-0
- Rotalar Arası Kaydırma 2-0

### 2.1.2. Problem Formülasyonu

Çok amaçlı araç rotalama problemi için matematiksel model aşağıda sunulmuştur.

Amaç fonksiyonları:

$$\text{Min.} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Min}K \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i,j} X_{ij} = 1 \quad \sum_{i,j} X_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j,j \neq i} X_{ij} = 1 \quad \sum_{j,j \neq i} X_{ij} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j D_i \cdot X_{ij} \leq Q \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0j} = K \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i0} = K \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (8)$$

$d_{ij}$  : i ve j noktaları arası mesafe.

$x_{ij}$  : i den hemen sonra j noktasına gidilecekse 1; değilse 0'dır.

Q : Araç kapasitesi.

$D_i$  : i. müşterinin toplam ürün talebidir.

K : Araç sayısıdır.

i : 0,1,.....n

j : 0,1,.....n

(1) ve (2) numaralı amaç fonksiyonları sırasıyla minimum yol ve minimum araç sayısını göstermektedir. (3) ile gösterilen kısıtta bir noktaya gelen yolların sadece bir tane olması gerektiği ve (4) numaralı kısıtta ise bir noktadan sadece tek bir noktaya gidiş olması gerektiği ifade edilmektedir. (5) numaralı gösterim bir turdaki ziyaret edilen noktaların toplam talebinin araç kapasitesini aşmaması gerektiğini gösterirken, (6) ve (7) numaralı ifadeler depodan çıkan ve depoya gelen noktaların araç sayısına eşit olması gerektiği ifade edilmiştir.

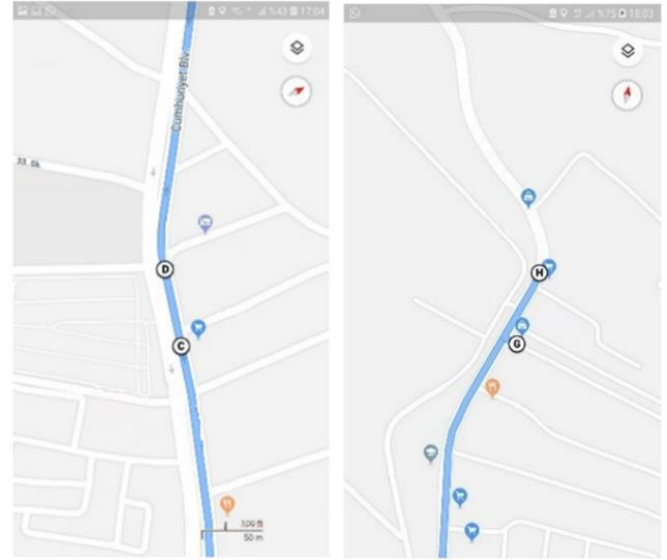
### 2.1.3. Pareto Güncelleme

Baskın olmayan çözümler kümesi Pareto kümesini oluşturmaktadır. Sunulan çalışmada yerel arama aşaması sonunda bulunan yeni çözümün kabul edilmesi, Pareto kümesine dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Yeni çözüm Pareto kümesinde bulunan mevcut çözümlerle karşılaştırılmakta ve Pareto baskınlık ilişkisine göre karar verilmektedir. Gerçekleştirilen bu işlemde her iki amaç fonksiyonu değerleri de göz önüne alınmaktadır. Yeni çözümün herhangi bir amaç fonksiyonunun değeri, mevcut çözümlerin o amaç fonksiyonu için aldıkları değerlerden daha iyi ise çözüm kümeye dahil edilmektedir. Her iki amacı da mevcut çözümlerden iyi olmayan yeni çözümler kümeye dahil edilmez ve kümede bulunan incelenmemiş bir çözüm ile yeni arama tekrarlanır.

### 2.1.4. Problem

Çalışmada uygulama aşamasında ilk olarak işletmenin mevcut dağıtım rotaları gözlenmiş ve mesafeler kaydedilmiştir. Verilerin MATLAB programında işlenebilmesi için gerekli olan uzaklık matrisinin oluşturulması aşamasında, Google Haritalar üzerinden iki nokta arasındaki alternatif güzergahlar içinden en kısa uzaklığa sahip olanın seçilmesiyle km cinsinden mesafe değerleri girilmiştir. Aradaki mesafeler  $x_i, y_j$  ( $i=1,2,...,43$  &  $j=1,2,...,43$ ) matrisi üzerinde gösterilerek 1849 verinin girdisi yapılmıştır. 45 müşterisi olan işletmenin Şekil 2'de gösterildiği gibi dağıtım için çok yakın olan (60-100 metre arası) dört müşterisi için öbekleme yapılarak orta noktaları alınmıştır.

Gizlilik açısından işletmenin adı ve diğer bilgilere çalışmada yer verilmemiştir.



Şekil 2. Google haritalardan örnek görüntü

Haritadan gerçek verilerle oluşturulan uzaklık matrisinin (43\*43) örnek bir kısmının görüntüsü Şekil 3'te sunulmuştur (Tabloda km değerleri 100 ile çarpılarak aktarılmıştır).

	J	K	L	M	N	O
9	240	310	360	360	460	600
10	0	75	95	130	190	330
11	120	0	50	90	150	290
12	170	80	0	75	100	240
13	180	90	45	0	100	280
14	320	180	130	130	0	350

Şekil 3. Uzaklık matrisi

Problemin çözümü için akademik lisanslı MATLAB R2017b (9.3.0.713579) kullanılmış olup, programın çalıştırıldığı bilgisayar Intel(R) Core(TM) i5-6400 CPU @ 2.70GHz 2.71 GHz işlemci özelliğindedir.

İşletmenin mevcut kat ettiği mesafe 82,05 km olarak gözlenmiştir. ÇAGDKA yaklaşımının sonucunun kıyaslanması için, gerçek veriler kullanılarak mevcut güzergah verisi ile karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca müşterilerin x-y koordinatları ile çalıştırılarak Öklid mesafeleri kullanan Clarke & Wright algoritma tabanlı bir ARP çözücü olan programdan elde edilen sonuç ile karşılaştırma yapılmıştır. Söz konusu hazır paket program açık erişime sahip olup çalışma prensibi programın web sayfasında [16] şu şekilde açıklanmıştır:

“ARP çözücü, araç rotalama problemleri için Clarke-Wright tasarruf algoritmasının rastgele bir versiyonunu uygulamaktadır. Her müşterinin yerini (enlem ve boylam) ve talebi listeleyen bir metin dosyasından girdi almaktadır. Mesafeler açıkça girilebilir ya da “Öklid” veya “Büyük Daire” ölçümleri kullanılarak otomatik olarak hesaplanabilir. Her şehri tam olarak bir kez ziyaret eden ve kullanıcı tarafından belirlenen araç hacmi ve mesafe sınırlarına uyan araç rotaları oluşturur. Sonuçlar grafik (harita) biçiminde ve metin biçiminde görüntülenmektedir”.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Elde Edilen Sonuçlar

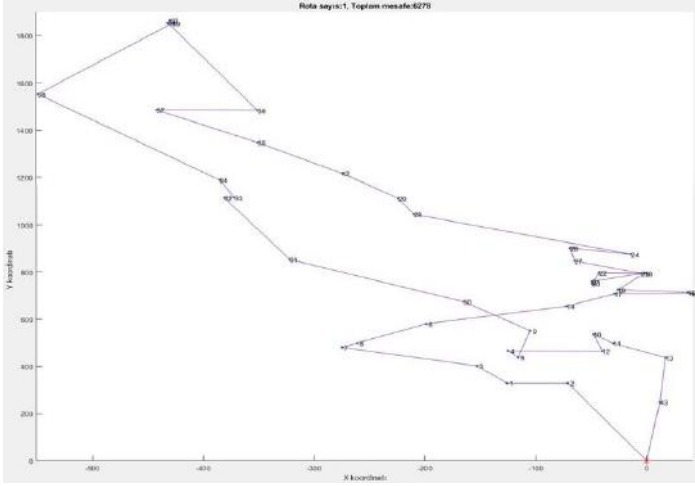
GDKA yaklaşımının tek amaçlı araç rotalama problemleri üzerinde başarılı bir algoritma olduğu bilinmekte iken bu çalışma



sonucunda çok amaçlı araç rotalama problemleri üzerinde de başarılı sonuçlarına ulaşmıştır. Uygulama sonuçları incelendiğinde çok kısa sürede daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Şekil 4 ile 6 arasında sunulan sonuçların elde edilmesi 2,5 sn ile 6 sn arasında değişkenlik göstermiştir. Metasezgisel yöntemler kesin çözüm sunan yöntemlere göre daha kısa sürede ve kabul edilebilir iyi sonuçlar veren yöntemlerdir. Son yıllarda metasezgisel yöntemler geliştirilmeye devam etmektedir.

### 3.1.1. Gerçek Uzaklık Matrisinin Kullanımı

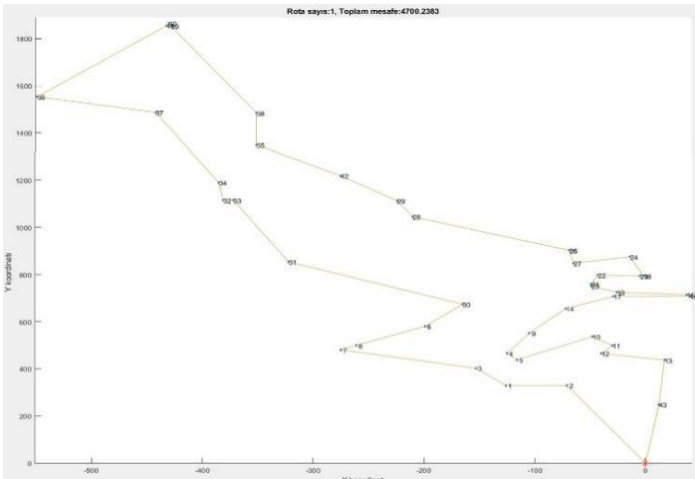
43 nokta için haritadan elde edilen gerçek verilerle ÇAGDKA uygulaması sonucunda mevcut 82,05 km rotaya karşılık 62,78 km ile 19,27 km daha kısa mesafe elde edilmesi sağlanmıştır. Günlük gerçekleştirilen bu dağıtım planı aylık olarak (20 gün) ele alındığında 385,4 km daha az yol katedilmesi, daha az maliyet ve daha az karbon emisyonu anlamına gelmektedir. Kullanılan yollarda trafik yoğunluğu açısından dikkate değer bir fark olmaması sebebiyle zaman boyutu kullanılmamıştır. Şekil 4'te elde edilen rotanın MATLAB program çıktısı gösterilmiştir. Depo "0" noktası ile gösterilmiştir.



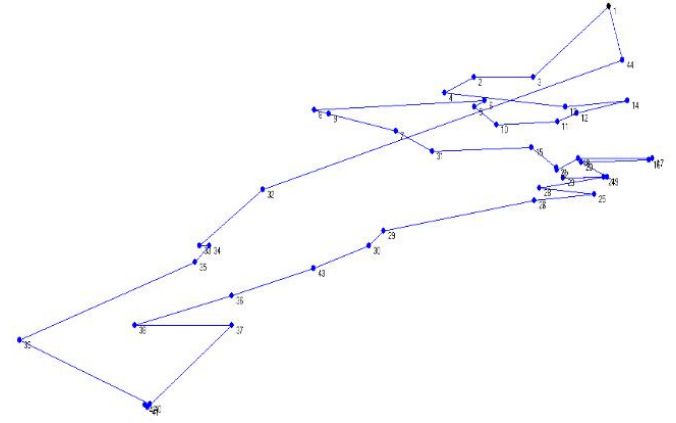
Şekil 4. Gerçek uzaklık değerleri ile ÇAGDKA uygulaması

### 3.1.2. Öklid Uzaklık Matrisinin Kullanımı

43 nokta için Öklid uzaklıkların kullanılmasıyla Clarke & Wright algoritmasını temel alan program çalıştırıldığında 70,03 km rotaya karşılık aynı uzaklık değerlerinin kullanılmasıyla ÇAGDKA çalıştırıldığında elde edilen 47 km ile 23,03 km daha kısa mesafe elde edilmesi sağlanmıştır. Şekil 5 ve 6'da elde edilen rotalar gösterilmiştir.



Şekil 5. Öklid mesafe değerleri ile ÇAGDKA uygulaması

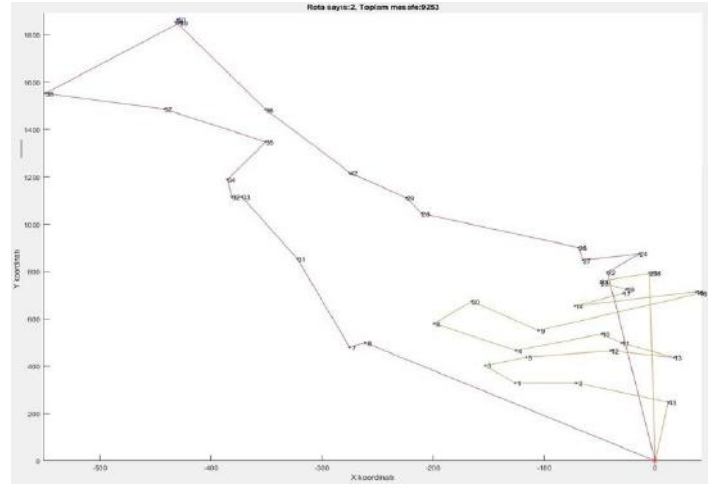


Şekil 6. Öklid mesafe değerleri ile Clarke & Wright algoritmasının uygulaması

Şekil 6'da Depo 1 numara ile gösterildiği için 44 nokta görülmektedir.

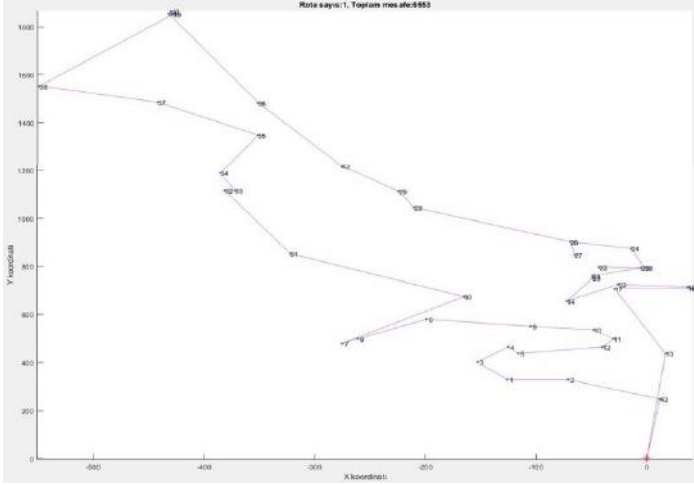
### 3.1.3. Birden Fazla Rota ile Uygulama

Bu çalışmada, ÇAGDKA uygulamasında pareto analizi ile iki amaç değerlendirilmektedir. İlk iki uygulamada başlangıçta tek rota ile uygulamalara geçilmesi araç sayısının en düşük kılınması amacını gösteremediği için Şekil 7'de gösterilen iki araç başlangıç çözümü ile program çalıştırılarak daha iyi bir sonuç elde edilmesi amacıyla program çalıştırılmıştır.



Şekil 7. İki rotalı başlangıç çözümü

Oluşturulan iki rotalı başlangıç çözümü 92,53 km şeklindedir. Araç sayısı ve mesafeyi minimum kılma amaçları doğrultusunda ÇAGDKA yaklaşımının uygulanması ile elde edilen sonuç Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu şekilde minimum araç sayısı 1 ve mesafe de 65,53 olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Rota ve mesafe amacının birlikte çalışması sonucunun gösterimi

### 3.2. Tartışma

Bulgular kısmında görüldüğü gibi ÇAGDKA yaklaşımı başarılı sonuçlar sunmaktadır. Elde edilen iyileştirmeler hem çevre hem de ekonomik açıdan katkılar sunmasıyla önem taşımaktadır. ÇAGDKA yaklaşımının daha farklı problemlere de uygulanabilmesi, ileride farklı alanlarda da katkısını sağlayabilecektir. Aynı zamanda amaç fonksiyonlarının farklılaştırılarak da değişik uygulamalarının gerçekleştirilmesi imkanı bulunmaktadır.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar 2011 yılında Yumurtacı Aydoğmuş [17] tarafından tez çalışmasında geliştirilen ÇAGDKA yaklaşımının başarılı uygulamalara sahip olduğunu göstermektedir. Geliştirilen yöntem DKA yaklaşımının temel özelliği olarak da kabul edilen “fazla parametreye ihtiyaç duymaması” açısından kısa süreler içerisinde kabul edilebilir iyi sonuçlar sunmaktadır.

ÇAGDKA yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen sonuç %23,5 değerinde iyileşme sağlamıştır (82,05 km ile 62,78 km). Öklid mesafelerin kullanılmasıyla yapılan iki yöntem karşılaştırmasında ise, diğer yöntemlere göre ÇAGDKA yaklaşık %33 daha iyi sonuç vermiştir (70,03 km ile 47 km). İki rotalı ele alınan başlangıç çözümünün kullanılması ise mesafenin yanı sıra araç sayısında da düşüş meydana gelmiştir.

### Kaynakça

[1] Nagarajan, V., & Ravi, R. (2012). Approximation algorithms for distance constrained vehicle routing problems. *Networks*, 59(2), 209-214.

[2] Pradenas, L., Oportus, B., & Parada, V. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in vehicle routing problems with backhauling. *Expert Systems with Applications*, 40(8), 2985-2991.

[3] Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2018). Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. *Sustainable cities and society*, 40, 214-221.

[4] Bouyahyoiy, K., & Bellabdaoui, A. (2021). A mixed-integer linear programming model for the selective full-truckload

multi-depot vehicle routing problem with time windows. *Decision Science Letters*, 10(4), 471-486.

[5] Kuo, Y., & Wang, C. C. (2012). A variable neighborhood search for the multi-depot vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6949-6954.

[6] Laporte, G., 2009, Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*. Vol.43, No.4, 408-416. Publisher:INFORMS.

[7] Jozefowicz, N., Semet, F., & Talbi, E. G. (2008). From single-objective to multi-objective vehicle routing problems: Motivations, case studies, and methods. In *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges* (pp. 445-471). Springer, Boston, MA.

[8] Kuo, Y. (2010). Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 157-165.

[9] Lin, S. W., Vincent, F. Y., & Lu, C. C. (2011). A simulated annealing heuristic for the truck and trailer routing problem with time windows. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15244-15252.

[10] Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Leung, S. C. (2018). A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European journal of operational research*, 265(3), 843-859.

[11] Bernal, J., Escobar, J. W., Paz, J. C., Linfati, R., & Gatica, G. (2018). A probabilistic granular tabu search for the distance constrained capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 29(4), 453-477.

[12] Caballero-Morales, S. O., Martínez-Flores, J. L., & Sánchez-Partida, D. (2018). An evolutive tabu-search metaheuristic approach for the capacitated vehicle routing problem. In *New Perspectives on Applied Industrial Tools and Techniques* (pp. 477-495). Springer, Cham.

[13] Alba, E., & Dorronsoro, B. (2004). Solving the vehicle routing problem by using cellular genetic algorithms. In *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization* (pp. 11-20). Springer, Berlin, Heidelberg.

[14] Marinakis, Y., & Migdalas, A. (2007). Annotated bibliography in vehicle routing. *Operational Research*, 7(1), 27-46.

[15] Azad, T., & Hasin, M. A. A. (2019). Capacitated vehicle routing problem using genetic algorithm: a case of cement distribution. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 32(1), 132-146.

[16] VRP Solver, Larry Snyder, <https://coral.ise.lehigh.edu/larry/software/vrp-solver/>.

[17] Yumurtacı Aydoğmuş, H. (2011). Değişken komşuluk arama sezgisel yaklaşımı ve tedarik zinciri yönetiminde bir uygulama. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.



# On The Solutions of Three-Dimensional Difference Equation Systems Via Pell Numbers

Hüseyin Büyük<sup>1</sup>, Necati Taşkara<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Selcuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8331-1960), [hbuyukgeo@gmail.com](mailto:hbuyukgeo@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Selcuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7974-435x), [ntaskara@selcuk.edu.tr](mailto:ntaskara@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082643)

**ATIF/REFERENCE:** Büyük, H., Taskara, N., On The Solutions of Three-Dimensional Difference Equation Systems Via Pell Numbers, (2022). Xxxx Xxxx Xxxx. *European Journal of Science and Technology*, (34), 433-440.

## Abstract

In this study, we investigate the form of the solutions of the following rational difference equation system

$$x_n = \frac{z_{n-1}z_{n-3}}{x_{n-2} + 2z_{n-3}}, y_n = \frac{x_{n-1}x_{n-3}}{-y_{n-2} + 6x_{n-3}}, z_n = \frac{y_{n-1}y_{n-3}}{z_{n-2} + 14y_{n-3}}, n \in N_0$$

where initial values  $x_{-3}, x_{-2}, x_{-1}, y_{-3}, y_{-2}, y_{-1}, z_{-3}, z_{-2}, z_{-1}$  are nonzero real numbers, such that their solutions are associated with Pell numbers. We also give a relationships between Pell numbers and solutions of systems

**Keywords:** System of difference equations, Pell numbers, Representation of solutions, Binet formula, Solutions.

## Üç Boyutlu Fark Denklem Sistemlerinin Pell sayıları yardımıyla Çözümleri

### Öz

Bu çalışmada

$$x_n = \frac{z_{n-1}z_{n-3}}{x_{n-2} + 2z_{n-3}}, y_n = \frac{x_{n-1}x_{n-3}}{-y_{n-2} + 6x_{n-3}}, z_n = \frac{y_{n-1}y_{n-3}}{z_{n-2} + 14y_{n-3}}, n \in N_0$$

rasyonel fark denklem sisteminin çözüm formlarını Pell sayılarıyla ilişkili olacak şekilde araştırıldı. Burada  $x_{-3}, x_{-2}, x_{-1}, y_{-3}, y_{-2}, y_{-1}, z_{-3}, z_{-2}, z_{-1}$  başlangıç değerleri sıfırdan farklı reel sayılardır. Aynı zamanda sistemin çözümleri ile Pell sayıları arasındaki ilişkiler de verildi.

**Anahtar Kelimeler:** Fark denklem sistemleri, Pell sayıları, Çözümlerin temsili, Binet formülü, Çözümler.

\* Corresponding Author: [ntaskara@selcuk.edu.tr](mailto:ntaskara@selcuk.edu.tr)

# 1. Introduction

Nonlinear difference equations and equation systems have long interested researchers in the field of mathematics as well as in other sciences. There are many recent investigations and interest in the field of nonlinear difference equations from several authors. (see, for example, [1]-[27] and the related references therein). For example,

Cinar [1] studied the difference equation and found its solutions

$$x_{n+1} = \frac{x_{n-1}}{1 + x_n x_{n-1}}, n \in \mathbb{N}_0 \tag{1.1}$$

In [2], Tollu et.al. studied the solutions and asymptotic of the difference equations

$$x_{n+1} = \alpha x_{n-k} + \frac{\delta x_{n-k} - x_{n-k-l}}{\beta x_{n-k-l} + x_n x_{n-1}} \tag{1.2}$$

In [3], Elsayed obtained the solutions of the difference equation

$$x_{n+1} = \alpha x_{n-1} + \frac{bx_n x_{n-1}}{cx_n + dx_{n-2}} \tag{1.3}$$

In addition, [9]-[12] studies have had different approaches to the solution of difference equations. There are also studies on the solutions of difference equation systems. For example;

Sahinkaya et al. [4], in their study, starting conditions are real numbers, they defined the difference equation system

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= \frac{x_n y_n + a}{x_n + y_n}, \\ y_{n+1} &= \frac{y_n z_n + a}{y_n + z_n}, \\ z_{n+1} &= \frac{z_n x_n + a}{z_n + x_n} \end{aligned} \tag{1.4}$$

They also obtained the general solutions in closed form.

Halim et al. [5], in their study; investigated the solutions of on a three-dimensional system of difference equations

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= \frac{z_{n-1}}{a + by_n z_{n-1}}, \\ y_{n+1} &= \frac{x_{n-1}}{a + bz_n x_{n-1}}, \\ z_{n+1} &= \frac{y_{n-1}}{a + bx_n y_{n-1}} \end{aligned} \tag{1.5}$$

In addition, in the studies [13]-[20], there have been approaches from different perspectives on the solutions of difference equation systems. There are also studies that related the solutions of difference equations or systems of difference equations with some integer sequences (see, for example, [20]-[26] and the related references therein). For example,

Yazlık et al. in [6], considered the following difference equation systems

$$x_{n+1} = \frac{x_{n+1} \pm 1}{y_n x_n - 1}, y_{n+1} = \frac{y_{n-1} \pm 1}{x_n y_{n-1}} \tag{1.6}$$

They also show that their solutions are associated to Padovan numbers.

Tollu et al., in [7], studied the systems of difference equations

$$x_{n+1} = \frac{1 + p_n}{q_n}, y_{n+1} = \frac{1 + r_n}{s_n}, n \in \mathbb{N}_0 \tag{1.7}$$

and solved fourteen systems out of sixteen possible systems. In particularly, the representation formulae of solutions of twelve systems were stated via Fibonacci numbers.

Okumus et al., in [8], considering four rational difference equations

$$x_{n+1} = \frac{\mp 1}{x_n(x_{n-1} - 1) \pm 1} \tag{1.8}$$

$$x_{n+1} = \frac{\mp 1}{x_n(x_{n-1} + 1) \pm 1},$$

they examined their solutions with Tribonacci numbers.

Now we give information about Pell numbers that establish a large part of our study.

Pell sequences are given such that

$$P_{n+1} = 2P_n + P_{n-1} ; n \geq 1 \tag{1.9}$$

with initial conditions  $P_0=0, P_1=1$ .

It can be easily obtained that the characteristic equation of (1.9) has the form

$$\lambda^2 - 2\lambda - 1 = 0$$

having the roots

$$\alpha = 1 + \sqrt{2} , \beta = 1 - \sqrt{2} \tag{1.10}$$

Binet formula for Pell sequences

$$P_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \tag{1.11}$$

In this study, we consider the solutions of the following three-dimensional difference equation systems

$$x_n = \frac{z_{n-1} z_{n-3}}{x_{n-2} + 2z_{n-3}}, \tag{1.12}$$

$$y_n = \frac{x_{n-1} x_{n-3}}{-y_{n-2} + 6x_{n-3}},$$

$$z_n = \frac{y_{n-1} y_{n-3}}{z_{n-2} + 14y_{n-3}}, n \in \mathbb{N}_0$$

such that their solutions are associated with Pell numbers. We also establish a relationship between Pell numbers and solutions of systems.

Our aim is to show that system (1.12) is solvable by finding its closed-form formulas through an analytical approach and solutions are relationship between Pell numbers, in our present paper.

## 2. Material and Method

In our study, we investigated the solution and the relationship between solutions and Pell numbers, by using the apply the change variables, the Binet formula and recurrence relations of Pell numbers.

## 3. Results and Discussion

Assume that  $\{x_n, y_n, z_n\}_{n \in \mathbb{N}_0}$  is a well-defined solution to system (1.12). Then we have

$$\frac{z_{n-1}}{x_n} = \frac{x_{n-2} + 2z_{n-3}}{z_{n-3}}, \quad (3.1)$$

$$\frac{x_{n-1}}{y_n} = \frac{-y_{n-2} + 6x_{n-3}}{x_{n-3}},$$

$$\frac{y_{n-1}}{z_n} = \frac{z_{n-2} + 14y_{n-3}}{y_{n-3}}$$

If we apply the change variables for  $n \geq -2$ , we have

$$u_n = \frac{z_{n-1}}{x_n}, v_n = \frac{x_{n-1}}{y_n}, w_n = \frac{y_{n-1}}{z_n} \quad (3.2)$$

Then system (1.12) can be written as

$$\begin{aligned} u_n &= \frac{1}{u_{n-2}} + 2, \\ v_n &= \frac{-1}{v_{n-2}} + 6, \\ w_n &= \frac{1}{w_{n-2}} + 14 \end{aligned} \quad (3.3)$$

If we arrange the equations (3.3), we have

$$\begin{aligned} u_n &= \frac{2u_{n-2} + 1}{u_{n-2}}, \\ v_n &= \frac{6v_{n-2} - 1}{v_{n-2}}, \\ w_n &= \frac{14w_{n-2} + 1}{w_{n-2}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Let

$$\begin{aligned} u_n \text{ for } u_m^{(i)} &= u_{2m+i}, \\ u_{n-2} \text{ for } u_{m-1}^{(i)} &= u_{2(m-1)+i} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} v_n \text{ for } v_m^{(i)} &= v_{2m+i}, \\ v_{n-2} \text{ for } v_{m-1}^{(i)} &= v_{2(m-1)+i} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} w_n \text{ for } w_m^{(i)} &= w_{2m+i}, \\ w_{n-2} \text{ for } w_{m-1}^{(i)} &= w_{2(m-1)+i} \end{aligned} \quad (3.7)$$

where  $n \in \mathbb{N}_0, i \in \{0,1\}$

By using equations (3.5), (3.6), (3.7), we can write the equation (3.4) as

$$\begin{aligned} u_m^{(i)} &= \frac{2u_{m-1}^{(i)} + 1}{u_{m-1}^{(i)}}, \\ v_m^{(i)} &= \frac{6v_{m-1}^{(i)} - 1}{v_{m-1}^{(i)}}, \\ w_m^{(i)} &= \frac{14w_{m-1}^{(i)} + 1}{w_{m-1}^{(i)}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Through an analytical approach, we put

$$u_{m-1}^{(i)} = \frac{r_m}{r_{m-1}} \quad (3.9)$$

$$v_{m-1}^{(i)} = \frac{s_m}{s_{m-1}} \quad (3.10)$$

$$w_{m-1}^{(i)} = \frac{t_m}{t_{m-1}} \quad (3.11)$$

Using the equations (3.9), (3.10) and (3.11), we can write the equation (3.8) as

$$r_{m+1} = 2r_m + r_{m-1} \quad (3.12)$$

$$s_{m+1} = 6s_m - s_{m-1} \quad (3.13)$$

$$t_{m+1} = 14t_m + t_{m-1} \quad (3.14)$$

Thus, we converted it to linear equations.

Firstly, let's find to root of linear equation (3.12).

If we write the characteristic equation

$$\lambda^2 - 2\lambda - 1 = 0,$$

roots of the equation are

$$\lambda_1 = 1 + \sqrt{2} = \alpha, \lambda_2 = 1 - \sqrt{2} = \beta$$

It turns out to that the roots of (3.12) are the same as the roots of the Pell number sequence.

Then general solution of the equation (3.12)

$$r_m = c_1(1 + \sqrt{2})^m + c_2(1 - \sqrt{2})^m \quad (3.15)$$

where  $r_0, r_{-1}$  are initial values.

Hence

$$r_0 = c_1 + c_2$$

$$r_{-1} = c_1(\sqrt{2} - 1) - c_2(\sqrt{2} + 1)$$

Using the initial values  $r_0, r_{-1}$  with some calculations and written at (3.15), we get

$$\begin{aligned} r_m &= \frac{r_{-1} + (\sqrt{2} + 1)r_0}{2\sqrt{2}} (1 + \sqrt{2})^m + \\ &\quad \frac{r_{-1} + (1 - \sqrt{2})r_0}{-2\sqrt{2}} (1 - \sqrt{2})^m \\ &= \frac{r_0[(1+\sqrt{2})^{m+1} - (1-\sqrt{2})^{m+1}]}{2\sqrt{2}} + \end{aligned}$$

$$\frac{r_{-1} \left[ (1 + \sqrt{2})^m - (1 - \sqrt{2})^m \right]}{2\sqrt{2}}$$

Hence we have

$$r_m = \frac{r_0[(\alpha)^{m+1} - (\beta)^{m+1}]}{\alpha - \beta} + \frac{r_{-1}[(\alpha)^m - (\beta)^m]}{\alpha - \beta}$$

By using the Binet formula in equation (1.11)

$$r_m = r_0 P_{m+1} + r_{-1} P_m \tag{3.16}$$

When we substitute (3.16) using (3.9)

$$u_{-1} = \frac{r_0}{r_{-1}},$$

$$u_{m-1}^{(i)} = \frac{r_0 P_{m+1} + r_{-1} P_m}{r_0 P_m + r_{-1} P_{m-1}} = \frac{\frac{r_0}{r_{-1}} P_{m+1} + P_m}{\frac{r_0}{r_{-1}} P_m + P_{m-1}} \tag{3.17}$$

$$= \frac{u_{-1} P_{m+1} + P_m}{u_{-1} P_m + P_{m-1}}$$

Using (3.8) and (1.9) we have

$$u_m^{(i)} = \frac{u_{-1} P_{m+2} + P_{m+1}}{u_{-1} P_{m+1} + P_m} \tag{3.18}$$

Using (3.5), (3.17) and (3.18), we have

$$u_{2m}^{(i)} = \frac{u_{-1} P_{2m+2} + P_{2m+1}}{u_{-1} P_{2m+1} + P_{2m}} \tag{3.19}$$

$$u_{2m+1}^{(i)} = \frac{u_{-1} P_{2m+3} + P_{2m+2}}{u_{-1} P_{2m+2} + P_{2m+1}} \tag{3.20}$$

**Theorem 3.1** Let  $\{u_n, v_n, w_n\}_{n \geq -2}$  be a well-defined solution to the system (3.4). Then, for  $u_n$ ,

$$u_{6n} = \frac{z_{-1} P_{6n+1} + x_0 P_{6n}}{z_{-1} P_{6n} + x_0 P_{6n-1}}$$

$$u_{6n+1} = \frac{z_{-1} P_{6n+2} + x_0 P_{6n+1}}{z_{-1} P_{6n+1} + x_0 P_{6n}}$$

$$u_{6n+2} = \frac{z_{-1} P_{6n+3} + x_0 P_{6n+2}}{z_{-1} P_{6n+2} + x_0 P_{6i-3}}$$

$$u_{6n+3} = \frac{z_{-1} P_{6n+4} + x_0 P_{6n+3}}{z_{-1} P_{6n+3} + x_0 P_{6i-4}}$$

$$u_{6n+4} = \frac{z_{-1} P_{6n+5} + x_0 P_{6n+4}}{z_{-1} P_{6n+4} + x_0 P_{6i-5}}$$

$$u_{6n+5} = \frac{z_{-1} P_{6n+6} + x_0 P_{6n+5}}{z_{-1} P_{6n+5} + x_0 P_{6i-6}}$$

**Proof.** Putting in place  $m = \{3n, 3n+1, 3n+2\}$ , the equation  $u_{-1} = \frac{x_0}{z_{-1} - 2x_0}$  and Pell sequence in the equations (3.19) and (3.20), the desired equality is found.

Also the equations  $\{u_{6i}, u_{6i-1}, u_{6i-2}, u_{6i-3}, u_{6i-4}, u_{6i-5}\}$  are found by taking  $m = \{3i, 3i-1, 3i-2\}$ ,  $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$  in (3.19) in a similar way. ■

Now, we find the roots of linear equation (3.13). If we write characteristic equation of (3.13), we have  $\lambda^2 - 6\lambda + 1 = 0$

Roots of the equation are

$$\lambda_1 = 3 + 2\sqrt{2} = \alpha^2,$$

$$\lambda_2 = 3 - 2\sqrt{2} = \beta^2$$

It turns out to that the roots of (3.13) are related the roots of the Pell number sequence.

Then general solution of the equation (3.13) is

$$s_m = c_1(3 + 2\sqrt{2})^m + c_2(3 - 2\sqrt{2})^m \tag{3.21}$$

where  $s_0, s_1$  are initial values.

Hence

$$s_0 = c_1 + c_2$$

$$s_{-1} = c_1(3 + 2\sqrt{2})^{-1} + c_2(3 - 2\sqrt{2})^{-1}$$

And we have

$$c_1 = \frac{(3+2\sqrt{2})s_0 - s_{-1}}{4\sqrt{2}}, \quad c_2 = \frac{s_{-1} - (3-2\sqrt{2})s_0}{4\sqrt{2}}$$

Using the initial values  $s_0, s_{-1}$  with some calculations and written at (3.21), we get

$$s_m = \frac{(3 + 2\sqrt{2})s_0 - s_{-1}}{4\sqrt{2}} (3 + 2\sqrt{2})^m + \frac{s_{-1} - (3 - 2\sqrt{2})s_0}{4\sqrt{2}} (3 - 2\sqrt{2})^m$$

$$= \frac{s_0 \left[ (3 + 2\sqrt{2})^{m+1} - (3 - 2\sqrt{2})^{m+1} \right]}{4\sqrt{2}} - \frac{s_{-1} \left[ (3 + 2\sqrt{2})^m - (3 - 2\sqrt{2})^m \right]}{4\sqrt{2}}$$

Hence we have

$$s_m = \frac{s_0[(\alpha^2)^{m+1} - (\beta^2)^{m+1}]}{2(\alpha - \beta)} - \frac{s_{-1}[(\alpha^2)^m - (\beta^2)^m]}{2(\alpha - \beta)}$$

By using the Binet formula in equation (1.11),

$$s_m = \frac{s_0 P_{2m+2} - s_{-1} P_{2m}}{2} \tag{3.22}$$

When we substitute (3.22) using (3.10),

Then general solution of the equation (3.14) is

$$v_{m-1}^{(i)} = \frac{s_m}{s_{m-1}}, \quad v_{-1} = \frac{s_0}{s_{-1}}$$

$$v_{m-1}^{(i)} = \frac{s_0 P_{2m+2} - s_{-1} P_{2m}}{s_0 P_{2m} - s_{-1} P_{2m-2}} = \frac{\frac{s_0}{s_{-1}} P_{2m+2} - P_{2m}}{\frac{s_0}{s_{-1}} P_{2m} - P_{2m-2}} \quad (3.24)$$

$$= \frac{v_{-1} P_{2m+2} - P_{2m}}{v_{-1} P_{2m} - P_{2m-2}}$$

Using (3.8) and (1.9) in (3.24), we have

$$v_m^{(i)} = \frac{v_{-1} P_{2m+4} - P_{2m+2}}{v_{-1} P_{2m+2} - P_m} \quad (3.25)$$

Then by considering (3.6), (3.24) and (3.25), we have

$$v_{2m}^{(i)} = \frac{v_{-1} P_{4m+4} - P_{4m+2}}{v_{-1} P_{4m+2} - P_{4m}} \quad (3.26)$$

$$v_{2m-1}^{(i)} = \frac{v_{-1} P_{4m+2} - P_{4m}}{v_{-1} P_{4m-2} - P_{4m-4}} \quad (3.27)$$

**Theorem 3.2.** Let  $\{u_n, v_n, w_n\}_{n \geq -2}$  be a well-defined solution to the system (3.4). Then, for  $v_n$ ,

$$v_{6n} = \frac{x_{-1} P_{12n+2} - y_0 P_{12n}}{x_{-1} P_{12n} - y_0 P_{12n-2}}$$

$$v_{6n+1} = \frac{x_{-1} P_{12n+4} - y_0 P_{12n+2}}{x_{-1} P_{12n+2} - y_0 P_{12n}}$$

$$v_{6n+2} = \frac{x_{-1} P_{12n+6} - y_0 P_{12n+4}}{x_{-1} P_{12n+4} - y_0 P_{12n+2}}$$

$$v_{6n+3} = \frac{x_{-1} P_{12n+8} - y_0 P_{12n+6}}{x_{-1} P_{12n+6} - y_0 P_{12n+4}}$$

$$v_{6n+4} = \frac{x_{-1} P_{12n+10} - y_0 P_{12n+8}}{x_{-1} P_{12n+8} - y_0 P_{12n+6}}$$

$$v_{6n+5} = \frac{x_{-1} P_{12n+12} - y_0 P_{12n+10}}{x_{-1} P_{12n+10} - y_0 P_{12n+8}}$$

**Proof.** Putting in place  $m = \{3n, 3n+1, 3n+2\}$ , the equation  $v_{-1} = \frac{y_0}{6y_0 - x_{-1}}$  and Pell sequence in the equations (3.26) and (3.27), the desired equality is found.

Also,  $\{v_{6i}, v_{6i-1}, v_{6i-2}, v_{6i-3}, v_{6i-4}, v_{6i-5}\}$  equations are found by giving  $m = \{3i, 3i-1, 3i-2\}$ ,  $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$  values in (2.19) in a similar way. ■

Now, we are finding the roots of linear equation (3.14).

If we write characteristic equation of (3.14), we have

$$\lambda^2 - 14\lambda - 1 = 0$$

Roots of the equation are

$$\lambda_1 = 7 + 5\sqrt{2} = \alpha^3, \quad \lambda_2 = 7 - 5\sqrt{2} = \beta^3$$

It turns out to that the roots of (3.14) are related the roots of the Pell number sequence.

$$t_m = c_1(7 + 5\sqrt{2})^m + c_2(7 - 5\sqrt{2})^m \quad (3.28)$$

where  $t_0, t_1$  are initial values.

$$t_0 = c_1 + c_2$$

$$t_{-1} = c_1(7 + 5\sqrt{2})^{-1} + c_2(7 - 5\sqrt{2})^{-1}$$

And we have

$$c_1 = \frac{(7+5\sqrt{2})t_0+t_{-1}}{10\sqrt{2}}, \quad c_2 = \frac{t_{-1}+(7-5\sqrt{2})t_0}{-10\sqrt{2}}$$

Using the initial values  $s_0, s_{-1}$  with some calculations and written at (3.28), we get

$$t_m = \frac{(7 + 5\sqrt{2})t_0 + t_{-1}}{10\sqrt{2}} (7 + 5\sqrt{2})^m$$

$$+ \frac{t_{-1} + (7 - 5\sqrt{2})t_0}{-10\sqrt{2}} (7 - 5\sqrt{2})^m$$

$$= \frac{t_0 [(7 + 5\sqrt{2})^{m+1} - (7 - 5\sqrt{2})^{m+1}]}{10\sqrt{2}}$$

$$+ \frac{t_{-1} [(7 + 5\sqrt{2})^m - (7 - 5\sqrt{2})^m]}{10\sqrt{2}}$$

Hence we have

$$t_m = \frac{t_0 [(\alpha^3)^{m+1} - (\beta^3)^{m+1}]}{5(\alpha - \beta)} + \frac{t_{-1} [(\alpha^3)^m - (\beta^3)^m]}{5(\alpha - \beta)}$$

By using the Binet formula in equation (1.11)

$$t_m = \frac{t_0 P_{3m+3} + t_{-1} P_{3m}}{5} \quad (3.29)$$

When we substitute (3.29) using (3.11)

$$w_{m-1}^{(i)} = \frac{t_m}{t_{m-1}}, \quad w_{-1} = \frac{t_0}{t_{-1}}$$

$$w_{m-1}^{(i)} = \frac{t_0 P_{3m+3} + t_{-1} P_{3m}}{t_0 P_{3m} + t_{-1} P_{3m-3}} = \frac{\frac{t_0}{t_{-1}} P_{3m+3} + P_{3m}}{\frac{t_0}{t_{-1}} P_{3m} + P_{3m-3}} \quad (3.30)$$

$$= \frac{w_{-1} P_{3m+3} + P_{3m}}{w_{-1} P_{3m} + P_{3m-3}}$$

Using (3.8) and (1.9) in (3.30), we have

$$w_m^{(i)} = \frac{w_{-1} P_{3m+6} + P_{3m+3}}{w_{-1} P_{3m+3} + P_{3m}} \quad (3.31)$$

Then by considering (3.7), (3.30) and (3.31), we have

$$w_{2m}^{(i)} = \frac{w_{-1} P_{6m+6} + P_{6m+3}}{w_{-1} P_{6m+3} + P_{6m}} \quad (3.33)$$

$$w_{2m-1}^{(i)} = \frac{w_{-1} P_{6m+3} + P_{6m}}{w_{-1} P_{6m} + P_{6m-3}} \quad (3.34)$$

**Theorem 3.3.** Let  $\{u_n, v_n, w_n\}_{n \geq -2}$  be a well-defined solution to the system (3.4). Then, for  $w_n$ ,

$$w_{6i} = \frac{y_{-1}P_{18i+3} + z_0P_{18i}}{y_{-1}P_{18i} + z_0P_{18i-3}}$$

$$w_{6i-1} = \frac{y_{-1}P_{18i} + z_0P_{18i-3}}{y_{-1}P_{18i-3} + z_0P_{18i-6}}$$

$$w_{6i-2} = \frac{y_{-1}P_{18i-3} + z_0P_{18i-6}}{y_{-1}P_{18i-6} + z_0P_{18i-9}}$$

$$w_{6i-3} = \frac{y_{-1}P_{18i-6} + z_0P_{18i-9}}{y_{-1}P_{18i-9} + z_0P_{18i-12}}$$

$$w_{6i-4} = \frac{y_{-1}P_{18i-9} + z_0P_{18i-12}}{y_{-1}P_{18i-12} + z_0P_{18i-15}}$$

$$w_{6i-5} = \frac{y_{-1}P_{18i-12} + z_0P_{18i-15}}{y_{-1}P_{18i-15} + z_0P_{18i-18}}$$

**Proof.** Putting in place  $m=\{3n, 3n+1, 3n+2\}$ , the equation  $w_{-1} = \frac{z_0}{y_{-1}-14z_0}$  and Pell sequence in the equations (3.33) and (3.34), the desired equality is found.

Also the equations  $\{w_{6i}, w_{6i-1}, w_{6i-2}, w_{6i-3}, w_{6i-4}, w_{6i-5}\}$  are found by taking  $m=\{3i, 3i-1, 3i-2\}$ ,  $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$  in (3.19) in a similar way. ■

**Corollary 3.1.** Let  $\{x_n, y_n, z_n\}$  be a well-defined solution to the system (1.12).

Now we take

$$x_n = \frac{z_{n-1}}{u_n}, \quad n \in \mathbb{N}_0 \tag{3.35}$$

$$y_n = \frac{x_{n-1}}{v_n}, \quad n \in \mathbb{N}_0 \tag{3.36}$$

$$z_n = \frac{y_{n-1}}{w_n}, \quad n \in \mathbb{N}_0 \tag{3.37}$$

Using equalities (3.36) and (3.37) in formula (3.35), after some calculations we have

$$x_{6n} = \frac{x_{6n-6}}{u_{6n}w_{6n-1}v_{6n-2}u_{6n-3}w_{6n-4}v_{6n-5}} \tag{3.38}$$

Using equalities (3.35) and (3.37) in formula (3.36), we get

$$y_{6n} = \frac{y_{6n-6}}{v_{6n}u_{6n-1}w_{6n-2}v_{6n-3}u_{6n-4}w_{6n-5}} \tag{3.39}$$

Using equalities (3.36) and (3.37) in formula (3.35), we get

$$z_{6n} = \frac{z_{6n-6}}{w_{6n}v_{6n-1}u_{6n-2}w_{6n-3}v_{6n-4}u_{6n-5}} \tag{3.40}$$

Multiplying the equalities which are obtained (3.38), (3.39) and (3.40) from 1 to n, respectively, it follows that

$$\tag{3.41}$$

$$x_{6n} = \frac{x_0}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}},$$

$$y_{6n} = \frac{y_0}{\prod_{i=1}^n v_{6i}u_{6i-1}w_{6i-2}v_{6i-3}u_{6i-4}w_{6i-5}}, \tag{3.42}$$

$$z_{6n} = \frac{z_0}{\prod_{i=1}^n w_{6i}v_{6i-1}u_{6i-2}w_{6i-3}v_{6i-4}u_{6i-5}} \tag{3.43}$$

Using the equalities (3.41), (3.42) and (3.43) in (3.35), (3.36) and (3.37), we get

$$x_{6n-1} = y_{6n}v_{6n} \tag{3.44}$$

$$= \frac{y_0 \left( \frac{x_{-1}P_{12n+2} - y_0P_{12n}}{x_{-1}P_{12n} - y_0P_{12n-2}} \right)}{\prod_{i=1}^n v_{6i}u_{6i-1}w_{6i-2}v_{6i-3}u_{6i-4}w_{6i-5}}$$

$$y_{6n-1} = z_{6n}w_{6n} \tag{3.45}$$

$$= \frac{z_0 \left( \frac{y_{-1}P_{18n+3} + z_0P_{18n}}{y_{-1}P_{18n} + z_0P_{18n-3}} \right)}{\prod_{i=1}^n w_{6i}v_{6i-1}u_{6i-2}w_{6i-3}v_{6i-4}u_{6i-5}}$$

$$z_{6n-1} = x_{6n}u_{6n} \tag{3.46}$$

$$= \frac{x_0 \left( \frac{z_{-1}P_{6n+1} + x_0P_{6n}}{z_{-1}P_{6n} + x_0P_{6n-1}} \right)}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}}$$

Similarly, using the equalities (3.44), (3.45) and (3.46) in (3.35), (3.36) and (3.37), we get

$$x_{6n-2} = y_{6n-1}v_{6n-1} \tag{3.47}$$

$$= \frac{z_0 \left( \frac{y_{-1}P_{18n+3} + z_0P_{18n}}{y_{-1}P_{18n} + z_0P_{18n-3}} \right) \left( \frac{x_{-1}P_{12n} - y_0P_{12n-2}}{x_{-1}P_{12n-2} - y_0P_{12n-4}} \right)}{\prod_{i=1}^n w_{6i}v_{6i-1}u_{6i-2}w_{6i-3}v_{6i-4}u_{6i-5}}$$

$$y_{6n-2} = z_{6n-1}w_{6n-1} \tag{3.48}$$

$$= \frac{x_0 \left( \frac{z_{-1}P_{6n+1} + x_0P_{6n}}{z_{-1}P_{6n} + x_0P_{6n-1}} \right) \left( \frac{y_{-1}P_{18n} + z_0P_{18n-3}}{y_{-1}P_{18n-3} + z_0P_{18n-6}} \right)}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}}$$

$$z_{6n-2} = x_{6n-1}u_{6n-1} \tag{3.49}$$

$$= \frac{y_0 \left( \frac{x_{-1}P_{12n+2} - y_0P_{12n}}{x_{-1}P_{12n} - y_0P_{12n-2}} \right) \left( \frac{z_{-1}P_{6n} + x_0P_{6n-1}}{z_{-1}P_{6n-1} + x_0P_{6n-2}} \right)}{\prod_{i=1}^n v_{6i}u_{6i-1}w_{6i-2}v_{6i-3}u_{6i-4}w_{6i-5}}$$

Using the equalities (3.41), (3.42) and (3.43) in (3.35), (3.36) and (3.37), we obtain

$$x_{6n+1} = \frac{z_{6n}}{u_{6n+1}} \tag{3.50}$$

$$= \frac{z_0 \left( \frac{z_{-1}P_{6n+1} + x_0P_{6n}}{z_{-1}P_{6n+2} + x_0P_{6n+1}} \right)}{\prod_{i=1}^n w_{6i}v_{6i-1}u_{6i-2}w_{6i-3}v_{6i-4}u_{6i-5}}$$



$$y_{6n+1} = \frac{x_{6n}}{v_{6n+1}} \quad (3.51) \quad z_{6n+1} = \frac{y_{6n}}{w_{6n+1}} \quad (3.52)$$

$$= \frac{x_0 \left( \frac{x_{-1}P_{12n+2} - y_0P_{12n}}{x_{-1}P_{12n+4} - y_0P_{12n+2}} \right)}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}} = \frac{y_0 \left( \frac{y_{-1}P_{18n+3} + z_0P_{18n}}{y_{-1}P_{18n+6} + z_0P_{18n+3}} \right)}{\prod_{i=1}^n v_{6i}u_{6i-1}w_{6i-2}v_{6i-3}u_{6i-4}w_{6i-5}}$$

Similarly, using the equalities (3.50), (3.51) and (3.52) in (3.35), (3.36) and (3.37), we get

$$x_{6n+2} = \frac{z_{6n+1}}{u_{6n+2}} = \frac{y_0 \left( \frac{y_{-1}P_{18n+3} + z_0P_{18n}}{y_{-1}P_{18n+6} + z_0P_{18n+3}} \right) \left( \frac{z_{-1}P_{6n+2} + x_0P_{6n+1}}{z_{-1}P_{6n+3} + x_0P_{6n+2}} \right)}{\prod_{i=1}^n v_{6i}u_{6i-1}w_{6i-2}v_{6i-3}u_{6i-4}w_{6i-5}} \quad (3.53)$$

$$y_{6n+2} = \frac{x_{6n+1}}{v_{6n+2}} = \frac{z_0 \left( \frac{z_{-1}P_{6n+1} + x_0P_{6n}}{z_{-1}P_{6n+2} + x_0P_{6n+1}} \right) \left( \frac{x_{-1}P_{12n+4} - y_0P_{12n+2}}{x_{-1}P_{12n+6} - y_0P_{12n+4}} \right)}{\prod_{i=1}^n w_{6i}v_{6i-1}u_{6i-2}w_{6i-3}v_{6i-4}u_{6i-5}} \quad (3.54)$$

$$z_{6n+2} = \frac{y_{6n+1}}{w_{6n+2}} = \frac{x_0 \left( \frac{x_{-1}P_{12n+2} - y_0P_{12n}}{x_{-1}P_{12n+4} - y_0P_{12n+2}} \right) \left( \frac{y_{-1}P_{18n+6} + z_0P_{18n+3}}{y_{-1}P_{18n+9} + z_0P_{18n+6}} \right)}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}} \quad (3.55)$$

Similarly, using the equalities (3.53), (3.54) and (3.55) in (3.35), (3.36) and (3.37), we have

$$x_{6n+3} = \frac{z_{6n+2}}{u_{6n+3}} = \frac{x_0 \left( \frac{x_{-1}P_{12n+2} - y_0P_{12n}}{x_{-1}P_{12n+4} - y_0P_{12n+2}} \right) \left( \frac{y_{-1}P_{18n+6} + z_0P_{18n+3}}{y_{-1}P_{18n+9} + z_0P_{18n+6}} \right) \left( \frac{z_{-1}P_{6n+3} + x_0P_{6n+2}}{z_{-1}P_{6n+4} + x_0P_{6n+3}} \right)}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}} \quad (3.56)$$

$$y_{6n+3} = \frac{z_{6n+2}}{u_{6n+3}} = \frac{y_0 \left( \frac{x_{-1}P_{12n+6} - y_0P_{12n+4}}{x_{-1}P_{12n+8} - y_0P_{12n+6}} \right) \left( \frac{y_{-1}P_{18n+3} + z_0P_{18n}}{y_{-1}P_{18n+6} + z_0P_{18n+3}} \right) \left( \frac{z_{-1}P_{6n+2} + x_0P_{6n+1}}{z_{-1}P_{6n+3} + x_0P_{6n+2}} \right)}{\prod_{i=1}^n u_{6i}w_{6i-1}v_{6i-2}u_{6i-3}w_{6i-4}v_{6i-5}} \quad (3.57)$$

$$z_{6n+3} = \frac{y_{6n+2}}{w_{6n+3}} = \frac{z_0 \left( \frac{z_{-1}P_{6n+1} + x_0P_{6n}}{z_{-1}P_{6n+2} + x_0P_{6n+1}} \right) \left( \frac{x_{-1}P_{12n+4} - y_0P_{12n+2}}{x_{-1}P_{12n+6} - y_0P_{12n+4}} \right) \left( \frac{y_{-1}P_{18n+9} + z_0P_{18n+6}}{y_{-1}P_{18n+12} + z_0P_{18n+9}} \right)}{\prod_{i=1}^n w_{6i}v_{6i-1}u_{6i-2}w_{6i-3}v_{6i-4}u_{6i-5}} \quad (3.58)$$

Thus, by examining the solutions of difference equation systems in the literature, it was investigated the relationships integer sequences. In this study, the closed-form solutions of three-dimensional difference equation systems were found with an analytical approach and the relations between these solutions with pell number sequences were investigated.

### 4. Conclusions and Recommendations

In this work, we have successfully established in a constructive way the closed-form solution of system of rational difference equation

$$x_n = \frac{z_{n-1}z_{n-3}}{x_{n-2} + 2z_{n-3}},$$

$$y_n = \frac{x_{n-1}x_{n-3}}{-y_{n-2} + 6x_{n-3}},$$

$$z_n = \frac{y_{n-1}y_{n-3}}{z_{n-2} + 14y_{n-3}},$$

Where  $n \in N_0$  and initial values  $x_{-3}, x_{-2}, x_{-1}, y_{-3}, y_{-2}, y_{-1}, z_{-3}, z_{-2}, z_{-1}$  are nonzero real numbers. We correlated their solutions with pell numbers. We write the e-ISSN: 2148-2683

solutions in terms of Pell numbers with the help for Pell’s Binet formula.

The results in this article can be extended to a similar system of difference equations with the help of the Binet formula. It can be generalized to be expressed by number sequences such as Pell-Lucas, Jacopsthal, Fibonacci, Horadam number sequences.

### References

- [1] Cinar C., On the positive solutions of the difference equation  $x(n+1) = x(n-1) / (1 + ax(n)x(n-1))$ , Applied Mathematics and Computation, 2004, 158 (3): 809-812.
- [2] Tollu D.T., Yazlik Y., Taskara N., 2018, On a solvable nonlinear difference equations of higher order, Turkish Journal of Mathematics, 2004, 42: 1765-1778.
- [3] Elsayed, E. M., On the solution of recursive sequence of order two, Fasciculi Mathematici, 2008a, 40: 6-13.
- [4] Şahinkaya A.F., Yalçinkaya İ., Tollu D.T., A solvable system of nonlinear difference equations, Ikonion Journal of Mathematics, 2020, 2: 10-20.
- [5] Halim, Y., Berkal, M., Khelifa, A., On a three dimensional solvable system of difference equations, Turk J Math, 2020, 44:2001-40.doi:10.3906.

- [6] Yazlik, Y., Tollu, D. T., Taskara, N., On the solutions of difference equation systems with Padovan numbers, *Appl. Math.*, 2013, 4:15-20.
- [7] Tollu D.T., Yazlık Y., Taskara N., On fourteen solvable systems of difference equations, *Applied Mathematics and Computation*, 2014, 233: 310-319.
- [8] Okumus I., Soykan Y., On the solutions of four rational difference equations associated to Tribonacci numbers, *Hacettepe Journal of Mathematics & Statistics*, 2019, DOI: 10.15672/HJMS.xx.
- [9] Stević S., More on a rational recurrence relation, *Applied Mathematics E-Notes*; 2004, 4 (1): 80-85.
- [10] Tollu D.T., Yazlık Y., Taskara N., On the solutions of two special types of Riccati difference equation via Fibonacci numbers, *Adv. Differ. Equ.*, 2013, 4: 174.
- [11] Touafek N., On a second order rational difference equation, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 2012, 41: 867-874.
- [12] Zeng, X. Y., Shi, B., Zhang, D. C., Stability of solutions for the recursive sequence, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2005, 176(2): 283-291.
- [13] Tollu, D. T., Yazlik, Y. and Taskara, N., On global behavior of a system of nonlinear difference equations of order two, *Advanced Studies in Contemporary Mathematics*, 2017, 27(3): 373-383.
- [14] Elsayed, E. M., Alotaibi, A. and Almaylubi, A. H., On a solutions of fourth order rational systems of difference equations, *Journal of Computational Analysis and Applications*, 2017, 7(22): 1298-1308.
- [15] Kurbanli, A. S., Çinar, C. and Yalçinkaya, I., On the behavior of positive solutions of the system of rational difference equations, *Mathematical and Computer Modelling*, 2011, 53(5-6):1261-1267.
- [16] Akrouf Y, Touafek N, Halim Y., On a system of difference equations of second order solved in closed-form. *Miskolc Mathematical Notes* 20, 2019, (2): 701-717.
- [17] Kara M, Yazlik Y., Solvability of a system of nonlinear difference equations of higher order. *Turkish Journal of Mathematics* 43, 2019, (3): 1533-1565. doi: 10.3906/mat-1902-24.
- [18] Kara M, Yazlik Y, Tollu DT., Solvability of a system of higher order nonlinear difference equations. *Hacettepe Journal of Mathematics & Statistics* , 2020, doi: 10.15672/HJMS.xx.
- [19] Yılmazyıldırım B., Tollu D.T., Explicit solutions of a three-dimensional system of nonlinear difference equations, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 2018, 5(2): 119-123.
- [20] Aloqeili M., Dynamics of a rational difference equation. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 176 (1): 768-774.
- [21] Halim Y., A system of difference equations with solutions associated to Fibonacci numbers. *International Journal of Difference Equations* , 2016, 11: 65-77.
- [22] Khelifa A, Halim Y, Berkal M., Solutions of a system of two higher-order difference equations in terms of Lucas sequence. *Universal Journal of Mathematics and Applications* , 2019, 2(4): 202-211.
- [23] I. Okumus, Y. Soykan , A Review on the Solutions of Difference Equations via Integer Sequences such as Fibonacci Numbers and Tribonacci Numbers , *Communications in Advanced Mathematical Sciences Vol. II*, 2019, 2:291/292.
- [24] O. Ocalan, O. Duman, On solutions of the recursive equations via Fibonacci-type sequences, *Elect. J. Math. Anal. Appl.*, 2018, 7(1): 102-115.
- [25] Y. Halim, J. F. T. Rabago, On the solutions of a second-order difference equation in terms of generalized Padovan sequences, *Math. Slovaca*, 2018, 68(3): 625-638.
- [26] Tollu D.T., Yazlık Y., Taskara N., The Solutions of Four Riccati Difference Equations with Fibonacci Numbers, *Balkan Journal Of Mathematics*, 2014, 02:163-172
- [27] Taskara, N., Uslu, K. and Tollu, DT, The periodicity and solutions of the rational difference equation with periodic coefficients, *Computers & Mathematics with Applications*, 2011, 62 (4) : 1807-1813



# Anod Çamurundaki Altının Sulu Ortamda Klorinasyonu Esnasında Çinko Liçinginin Optimizasyonu

Büyüamin Dönmez<sup>1\*</sup>, Cafer Çelik<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID:0000-0002-7680-0755), [bdonmez@atauni.edu.tr](mailto:bdonmez@atauni.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID:0000-0002-7025-2647), [ccecelik@atauni.edu.tr](mailto:ccecelik@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082659)

**ATIF/REFERENCE:** Dönmez, B. & Çelik, C. (2022). Anod Çamurundaki Altının Sulu Ortamda Klorinasyonu Esnasında Çinko Liçinginin Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 441-445.

## Öz

Bakırı giderilmiş anod çamurundaki altının sulu ortamda klorinasyonuna ait optimizasyonu esnasında çinkonun liçing davranışı incelenmiştir. Çalışmada, Taguchi deneysel tasarımı kullanılmış olup deney planı olarak  $L^9(3^4)$  ortogonal dizisi belirlenmiştir. Ön denemeler ışığı altında parametre olarak; reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, asit konsantrasyonu ve katı-sıvı oranı seçilmiştir. Çinkonun çözündürülmesine ait optimum şartlar şöyle tespit edilmiştir: reaksiyon sıcaklığı 40 °C, reaksiyon süresi 2700 s, karıştırma hızı 420 dak<sup>-1</sup> ve katı-sıvı oranı 0.1 g.mL<sup>-1</sup>. Deneysel sonuçlara göre, optimum liç koşulları altında çinko ekstraksiyonunun % 71,8 olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakırı Giderilmiş Anod Çamuru, Klorinasyon, Çinko Liçingi, Taguchi Deney Tasarımı.

## Optimization of Zinc Leaching During Aqueous Chlorination of Gold in Anode Slime

### Abstract

The leaching behavior of zinc was investigated during the optimization of the chlorination of gold in the decopperized anode slime in aqueous medium. In the study, Taguchi experimental design was used and the  $L^9(3^4)$  orthogonal array was determined as the experimental plan. As a parameter under the light of preliminary tests; reaction temperature, stirring speed, acid concentration and solid-liquid ratio were selected. The optimum conditions for dissolution of zinc were determined as follows: reaction temperature 40 °C, reaction time 2700 s, stirring speed 420 min<sup>-1</sup> and solid-liquid ratio 0.1 g.mL<sup>-1</sup>. According to the experimental results, Zinc extraction was observed to be 71.8 % under optimum leaching conditions.

**Keywords:** Decopperized Anode Slime, Chlorination, Zinc Leaching, Taguchi Experimental Design.

\* Sorumlu Yazar : [bdonmez@atauni.edu.tr](mailto:bdonmez@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

Nadir ve değerli metallerin ana kaynaklarından birisi de elektrolitik rafineri çamurlarıdır. Bakırın elektrorafinasyonu prosesinde, çözünmemiş metaller, oksitler ve diğer bileşikler elektrolitik hücrelerin tabanında birikerek anod çamurunu oluşturur. Cu, Pb, Sn ve Zn'nun elektrorafine edilmesinden kaynaklanan anod çamurları Au, Ag ve platin grubu metaller gibi asil metaller içermektedir.

Anod çamurlarının değeri esas olarak asil metal içeriği ile belirlenir, ancak bazı durumlarda Ni, Se, Zn ve diğer safsızlıkların katkıları da önemlidir. Bu nedenle, bu metallerin birincil ve ikincil kaynaklardan geri kazanılması için yeni yaklaşımların araştırılmasına ilgi artmaktadır (Amer, 2003; Ding vd. 2019; Chen vd. 2013). Anod çamurlarının işlenmesinde genellikle hidrometalurjik prosesler kullanılmış ve bu amaca yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Havuz vd. 2010; Topçu vd. 2021; Harangi vd. 2015).

Soy metaller içeren zenginleştirilmiş atıkların liçi, soy metallerin geri kazanımı için önemli bir adımdır. Bu durum, liç çözeltilerinin doğasına da bağlıdır. Zenginleştirilmiş kurşun, kalay ve çinko anod çamurları, soy metaller arasında genellikle yalnızca altın veya gümüş içerir. Bu metallerin bakır anod çamurlarından hidrometalurjik yöntemlerle geri kazanımında genellikle asit liçi oksidatif liç, basınç altında liç, vakum altında liçing, mikrodalga ve ultrason destekli asit liçi gibi yöntemler kullanılmaktadır (Li vd. 2016; Yang vd. 2018; Li vd. 2017; Tokkan vd. 2013; Wang vd. 2017; Qiu vd. 2012; Guo vd. 2018; Ruşen ve Topçu, 2018).

Proses değişkenlerinin etkilerini değerlendirmek ve bakır eritme çürufundaki Zn ve Pb'un geri kazanımına yönelik bir klorlamalı-kavurma prosesini optimize etmek amacı ile Box-Behnken tasarımı önerilmiştir (Zhang vd. 2021). Prosesin termodinamik analizinin de yapıldığı bir çalışmada, Zn ve Pb için geri kazanım verimlerinin sırasıyla % 87.85 ve % 99.26 olduğu gözlenmiştir. Optimum şartlar; kavurma sıcaklığı 1172 °C, CaCl<sub>2</sub> oranı % 30 (w/w) ve kavurma süresi 100 dakika olarak belirlenmiştir.

Üstün oksidasyon kapasitesine sahip ozon, anod çamurundan bir takım metalleri yükseltgemedeki önemli bir potansiyele sahiptir. Ozon eşliğinde bakır anod çamurundan bakırın liç davranışı farklı koşullar altında araştırılmış ve oksijen ortamına göre karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimum liç koşullarının şu şekilde olduğu gözlenmiştir: ozonun akış hızı 200 L/h, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 150 g/L, sıcaklık 25 °C, süre 100 dakika, karıştırma hızı 500 rpm ve katı/sıvı oranı 3: 1'dir (Liu vd. 2018).

Taguchi yöntemi, optimizasyon yöntemi olarak son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntemin geleneksel deneysel tasarım yöntemlerine göre bazı önemli avantajları vardır. Bunlardan biri, deneysel maliyeti minimum seviyede tutmasının yanı sıra performansı hedef değere getirirken hedef etrafındaki değişkenliği en aza indirmesidir. Avantajlarından bir diğeri ise, laboratuvar çalışmalarından elde edilen optimum çalışma koşullarının gerçek üretim ortamında da uygulanabilmesidir.

Taguchi yönteminin polimer, inşaat, makine ve kimya mühendisliği gibi geniş bir uygulama alanı vardır (Gündoğdu vd. 2021; Türkmen vd. 2008; Yakut vd. 2006; Ruşen vd. 2017). Taguchi yöntemi ile yapılan çalışmalardan birisi de, oksijenli/oksijensiz H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilerinde ham anod çamurunda bakırın çözündürülmesi üzerine yapılan araştırma olup optimum koşullar şu şekilde belirlenmiştir: pedal sayısı 1, reaksiyon sıcaklığı 70 °C, O<sub>2</sub> akış hızı 1,24×10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, karıştırma hızı 450 dak<sup>-1</sup>, asit konsantrasyonu % 5.43, katı-sıvı oranı 0,125 g.mL<sup>-1</sup>, reaksiyon süresi 3600 s ve kavurma sıcaklığı 300 °C (Dönmez vd. 1999).

Diğer bir çalışma ise, bakırı giderilmiş anod çamurundaki altının klor gazı ile sulu ortamda klorlanmasının optimizasyonudur. Altın ekstraksiyonunun yaklaşık % 99 olduğu optimum koşullar: reaksiyon sıcaklığı 60 °C, reaksiyon süresi 4500 s, karıştırma hızı 600 dak<sup>-1</sup> ve katı-sıvı oranı 0.1 g.mL<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Dönmez\* vd. 1999).

Bu çalışmanın amacı, Taguchi yöntemi ile sulu ortamda klor gazı ile bakırı giderilmiş anod çamurunun altın liçingi esnasında çinkonun çözündürülmesinin optimum koşullarını belirlemektir.

## 2. Materyal ve Yöntemler

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar

Sarkuysan Bakır Sanayi'nden temin edilen ham anod çamurunun önce bakırı giderilmiştir (Dönmez vd. 1999). Bakırı giderilmiş anod çamuru birkaç kez yıkanmış süzölmüş ve laboratuvar sıcaklığında kurutulmuştur. Homojen bir şekilde harmanlanmış numunenin kimyasal analizi volumetrik, gravimetrik ve atomik absorpsiyon yöntemi (AAS) ile tayin edilmiştir (Tablo 1). Bakırı giderilmiş anod çamurundaki çinkonun liç işleminde saf Cl<sub>2</sub> gazı kullanılmıştır.

Tablo 1. Bakırı giderilmiş anod çamurunun kimyasal bileşimi

Bileşen	Bileşim (% , w/w)
Au	0,133
Pb	29,00
Ag	2,05
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	28,70
Sn	15,95
Sb	17,16
Zn	0,275
Diğerleri	6,865

### 2.2. Deneysel İçin Kullanılan Materyaller

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bulunduran gaz yıkama kolonu, kok içeren kolon, flowmetre, mekanik karıştırıcı, 250 mL'lik cam reaktör, gaz dağıtıcı, sabit sıcaklık sirkülatörü ve çeker ocak.

### 2.2. Deneysel Sistem

Çalışmanın öncelikli amacı, anod çamurundaki altının çözündürülmesi idi. Liçing denemeleri sonunda altın içeren çözeltilerde Zn tayini yapılmıştır. Anod çamurunun klor gazında

çözündürülmesi amacıyla yönelik liç deneyleri, bir sabit sıcaklık sirkülatörü ile donatılmış, kontrol edilebilen su banyosuna daldırılmış 250 mL kapasiteli küresel bir cam reaktörde gerçekleştirilmiştir (Dönmez\* vd. 1999). Reaktördeki 150 mL distile su, sıcaklık istenilen değere ayarlandıktan sonra olası nemi gidermek için sülfürik asit kolonu ve kok kulesinden (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> giderimi için) geçirilen Cl<sub>2</sub> gazı ile doyuruldu ve sonrasında mekanik karıştırılmalı ortamda reaktöre belli bir miktar numune eklendi. Her denemeden sonra, karışım süzüldü ve çözelti deiyonize su ile seyreltildi. Seyreltilmiş liç çözeltisinin Au ve Zn içeriği, AAS ile tayin edildi.

### 2.3. Parametreler ve Optimum Şartların Belirlenmesi

Çalışma için seçilen deneysel parametreler ve seviyeleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde incelenen parametreler ve değerleri

	Parametre	Seviye		
		1	2	3
A	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	20	40	60
B	Karıştırma hızı (dak <sup>-1</sup> )	420	600	840
C	Katı/sıvı oranı (g.mL <sup>-1</sup> )	0.1	0.2	0.333
D	Reaksiyon süresi (s)	300	1200	2700

Her biri 3 seviyeli 4 parametre inceleneceğinden Tablo 3'de verilen L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) ortogonal dizisi deney planı olarak seçilmiştir.

Tablo 3. Seçilen L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) deney planı

Deney no	Parametreler ve seviyeleri			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Laboratuvar ortamının sıcaklığı ve nemi gibi bozucu kaynaklarının liç prosesi üzerindeki etkilerini gözlemlemek için her deney, aynı koşullar altında farklı zamanlarda üçer kez tekrarlanmıştır. Optimizasyon kriteri olarak daha büyük daha iyi performans istatistiği seçilmiştir. Performans istatistiği aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Kaçkar, 1985):

$$Z_B = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

Burada n, bir deneysel kombinasyon için yapılan tekrar sayısı ve Y<sub>i</sub>, i. deneyin performans (çözünürlük) değeridir. Taguchi yönteminde, optimum çalışma koşullarına karşı gelen deney çalışma sırasında yapılmamış olabilir. Bu gibi durumlarda, optimum çalışma koşullarına karşı gelen performans değeri, aşağıda verilen toplamsal model yardımı ile tahmin edilebilir (Phadke ve Kackar, 1983):

$$Y_i = \mu + X_i + e_i \quad (2)$$

Burada μ, performans değerinin genel ortalamasıdır, X<sub>i</sub>, i. deneyde kullanılan parametre-seviye kombinasyonunun sabit etkisi ve e<sub>i</sub>, i. deneydeki rassal hatayı temsil eder. Eşitlik (2) deneysel veriler kullanılarak hesaplanan bir nokta tahmini olduğundan, bu değer anlamlı olup olmadığını belirlemek için güven aralığı hesaplanmalıdır. Seçilen hata seviyesindeki güven aralığı, (3) nolu eşitlik yardımı ile hesaplanabilir (Ross, 1988):

$$Y_i \pm \sqrt{F_{\alpha;1,DF_{MSe}} MS_e \left( \frac{1+m}{N} + \frac{1}{n_i} \right)} \quad (3)$$

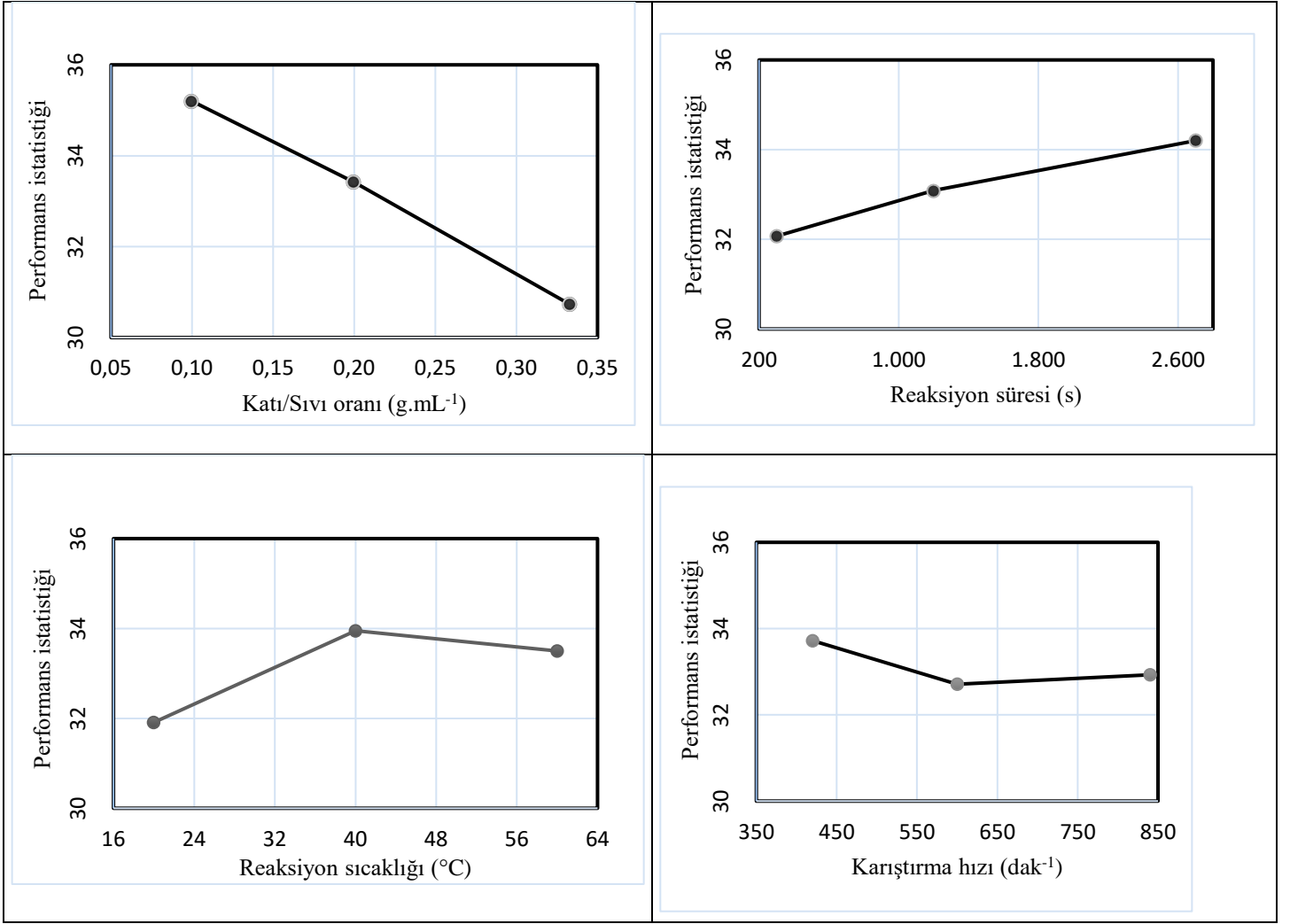
Burada F, tablo değeri, α hata seviyesi, DF<sub>MSe</sub> hata kareler ortalamasını serbestlik derecesi toplamı, m optimum çalışma koşullarında elde edilecek liç değerinin (Y<sub>i</sub>) tahmininde kullanılan parametrelerin serbestlik derecesi toplamı, N toplam deney sayısı ve n<sub>i</sub> doğrulama deneylerindeki tekrar sayısıdır. Deney sonuçları yüzde (%) olarak ifade ediliyorsa, eşitlik (2) ve (3), hesaplanmadan önce aşağıdaki denklem yardımıyla yüzdelik değerlerin omega dönüşümü yapılır. Daha sonra ilgilenilen değerler aynı denklem kullanılarak ters dönüşüm yapılarak belirlenir (Taguchi, 1987).

$$\Omega(db) = -10 \log \left( \frac{1}{p} - 1 \right) \quad (4)$$

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Optimum çalışma koşullarının belirlenmesi

Deneyler ve ölçümler yapıldıktan sonra toplanan veriler MINITAB paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Parametrelerin optimizasyon kriteri (performans istatistiği) üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 1'de verilmiştir. Grafiklerin sırası parametrelerin performans istatistiği üzerindeki etki derecesine göre belirlenmiştir. Her grafikteki maksimum noktanın sayısal değeri, ilgili parametrenin en iyi değerini gösterir. Optimum çalışma şartları Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 1. Parametrelerin optimizasyon kriteri üzerindeki etkileri

Tablo 4. Optimum çalışma koşulları ve karşılık gelen çinko değerleri

	Parametre	Optimum seviye	Optimum değer
A	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	2	40
B	Karıştırma hızı (dak <sup>-1</sup> )	1	420
C	Katı/sıvı oranı (g.mL <sup>-1</sup> )	1	0,1
D	Reaksiyon süresi (s)	3	2700
Tahmini çözünme miktarı (%)		71,8	
Tahmini güven aralığı (%)		65,68-77,92	

#### 4. Sonuç

Bu çalışma, bakırı giderilmiş anod çamurundaki altının çözündürülmesi esnasında çinko liçinginin davranışını ve optimizasyonunu içermektedir. Anod çamurları genellikle % 0.2-1.0 Zn içeriğine sahiptir (Pan vd. 2019). Çalışmada kullanılan anod çamurundaki çinko miktarı 2750 ppm dir. Çinkonun klor gazı ile sulu ortamda çözündürülmesine yönelik optimum

koşullar Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. Bu değerlendirmelerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Şekil 1'den, liçing üzerinde en etkili parametrelerin sırası ile katı-sıvı oranı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı olduğu görülmektedir.
- Etkin olan parametreler altının optimizasyonu için sırasıyla reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi iken, çinko liçinginde katı-sıvı oranı ve reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir.
- Çinko çözünürlüğünün, artan reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı ve azalan katı-sıvı oranı ile artmakta olduğu, fakat karıştırma hızı ile pek fazla değişmediği gözlenmiştir.
- Optimum liç koşulları altında, anod çamurundaki çinkonun % 71,8'i çözündürülmüştür. Anod çamurundaki altının % 97,8'inin çözündüğü optimal liç koşulları altında, çinkonun çözünme % si ise 64,5 olarak hesaplanmıştır.
- Taguchi yöntemi ile laboratuvar ortamında belirlenen optimum koşullar gerçek üretim ortamlarında da tekrarlanabilir olduğundan, mevcut laboratuvar ölçekli

çalışmanın bulguları endüstriyel ölçekte anod çamurunun işlenmesi için çok faydalı olabilir.

## Kaynakça

- Amer, A. M., (2003). "Processing of copper anodic-slimes for extraction of valuable metals." *Waste Management*, 23, 763–770.
- Chen, G., Yang, H., Guo, J., and Li, X., 2013. "The rougher flotation process of copper anode slime for collecting gold and silver." *Precious Metals*, 34, 32–34.
- Ding, Y., Zhang, S., Liu, B., Zheng, H., Chang, C. C., and Ekberg, C., (2019). "Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review," *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 284-298.
- Dönmez, B., Çelik, C., Çolak, S., and Yartaşı, A., (1998). "Dissolution optimization of copper from anode slime in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 37, 3382-3387.
- Dönmez\*, B., Ekinci, Z., Celik, C., and Çolak, S., (1999). "Optimisation of the chlorination of gold in decopperized anode slime in aqueous medium", *Hydrometallurgy*, 52, 81-90.
- Guo, X., Xu, Z., Tian, Q., and Li, D., (2017). "Optimization on Selenium and Arsenic Conversion from Copper Anode Slime by Low-Temperature Alkali Fusion Process", *J Cent South Univ*, 24, 1537–1543.
- Gündoğdu, C. C., Gündüz, T. and Atıcı U. H., (2021). "Taguchi Yöntemi İle Polimer Hammadde Karışım Optimizasyonu. Journal of Industrial Engineering", *Journal of Industrial Engineering*, 32, 164-176.
- Harangi, Z., Kulcsar, T., and Kekesi, T., (2015). "Hydrometallurgical processing of anode slimes obtained from the electrolytic refining of soldering scrap", *Materials Science and Engineering*, 40, 64–74.
- Havuz, T., Dönmez, B., and Çelik, C., (2010). "Optimization of removal of lead from bearing-lead anode slime", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16(3), 355–358.
- Li, D., Guo, X., Xu, Z., Xu, R. and Feng, Q., (2016). "Metal values separation from residue generated in alkali fusion-leaching of copper anode slime", *Hydrometallurgy*, 165, 290–294.
- Li, X., Yang, H., Jin, Z., Tong, L. and Xiao, F., (2017). "Selenium Leaching from Copper Anode Slimes Using a Nitric Acid-Sulfuric Acid Mixture", *Metallurgist*, 61, 348–356.
- Liu, J., Wang, S., Liu, C., Zhang, L., and Kong, D., (2021). "Decopperization mechanism of copper anode slime enhanced by ozone", *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 531-541.
- Kackar, R.N., (1985). Off-line quality control, parameter design and Taguchi methods, *Journal of Quality Technology*.
- Pan, D. A., Li, L., Tian, X., Wu, Y., Cheng, N. and Yu, H., (2019). "A review on lead slag generation, characteristics, and utilization", *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 140-155.
- Phadke, M.S., Kackar, R.N., Speeney, D.V. and Grieco, M.J. (1983). "Off-line quality control in integrated circuit fabrication using experimental design", *The Bell System Technical J.*, 62, 1273-1309.
- Qiu, K., Lin, D. and Yang, X., (2012). "Vacuum evaporation technology for treating antimony-rich anode slime.", *JOM*, 64, 1321–1325.
- Ross, P.J. (1988). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- Rüşen, A. and Topcu, M. A., (2017). "Optimization of Gold Recovery from Copper Anode Slime by Acidic Ionic Liquid", *Korean J Chem. Eng.*, 34, 2958–2965.
- Rüşen, A. and Topcu, M. A., (2018). "Investigation of an Alternative Chemical Agent to Recover Valuable Metals from Anode Slime" *Chem Pap*, 72, 2879–2891.
- Taguchi, G., (1987). *System of Experimental Design*, *Quality Resources*, New York.
- Tokkan, D., Kuşlu, S., Çalban, T. and Çolak, S., (2013). "Optimization of Silver Removal from Anode Slime by Microwave Irradiation in Ammonium Thiosulfate Solutions", *Ind Eng Chem Res*, 52, 9719–9725.
- Topçu, M. A., Kalem, V. and Rüşen, A., (2021). "Processing of anode slime with deep eutectic solvents as a green leachant", *Hydrometallurgy*, 205, 105732.
- Türkmen, İ., Gül, R. and Çelik, C., (2008). "A Taguchi approach for investigation of some physical properties of concrete produced from mineral admixtures", *Building and Environment*, 43, 1127-1137.
- Wang, S., Cui, W., Zhang, G., Zhang, L. and Peng, J., (2017). "Ultrafast Ultrasound-Assisted Decopperization from Copper Anode Slime", *Ultrason Sonochem*, 36, 20–26.
- Yakut, K., Alemdaroglu, N. Kotcioglu, I. and Celik, C., (2006). "Experimental investigation of thermal resistance of a heat sink with hexagonal fins", *Applied Thermal Engineering*, 26(17-18), 2262-2271.
- Yang, H., Li, X., Tong, L., Jin, Z., Yin, L. and Chen, G., (2018). "Leaching Kinetics of Selenium from Copper Anode Slimes by Nitric Acid Sulfuric Acid mixture", *Trans Nonferrous Met Soc China*, 28, 186–192.
- Zhang, B. K., Guo, X. Y., Wang, Q. M. and Tian, Q. H., (2021). "Thermodynamic analysis and process optimization of zinc and lead recovery from copper smelting slag with chlorination roasting", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31, 3905-3917.







# Polikarbazol ve ZnO Katkılı Polikarbazolün Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Elektrokimyasal Sentezi ve Korozyon Performanslarının Araştırılması

Gülten Uzun<sup>1</sup>, Berrin Duran<sup>2</sup>, Evrim Hür<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizikokimya A. D., Eskişehir, Türkiye, (ORCID:0000-0002-7489-1198), [gltenuzun@gmail.com](mailto:gltenuzun@gmail.com)

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3892-5012), [bduran@ogu.edu.tr](mailto:bduran@ogu.edu.tr)

<sup>3\*</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7489-1198), [evrimhur@ogu.edu.tr](mailto:evrimhur@ogu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082731)

**ATIF/REFERENCE:** Uzun, G., Duran, B., & Hür, E. (2021). Polikarbazol ve ZnO Katkılı Polikarbazolün Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Elektrokimyasal Sentezi ve Korozyon Performanslarının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 446-452.

## Öz

Bu çalışmada karbazol (Kz) monomerin farklı derişimlerde ZnO varlığında 304 paslanmaz çelik (304-PÇ) yüzeyinde elektropolimerizasyonu ile ZnO katkılı polikarbazol (PKz-ZnO) filmleri elde edilmiştir. Elektropolimerizasyon işlemi Kz, ZnO ve tetra bütül amonyum perklorat (TBAP) içeren asetonitril (ACN) çözeltisi içerisinde dönüşümlü voltametri yöntemi ile 0,3 V ile 1,4 V potansiyel aralığında, 50 mVs<sup>-1</sup> tarama hızında 10 döngü alınarak gerçekleştirilmiştir. Üç farklı miktarda (%0,01, %0,05, %0,10) ZnO ile PKz filmleri katkılanmıştır. Optimum ZnO miktarını belirlemek amacıyla elde edilen PKz-ZnO filmlerinin 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri karşılaştırılmış ve %0,05 oranında ZnO katkılı PKz filmlerinin en iyi korozyon performansını gösterdiği belirlenmiştir. %0,05 ZnO katkılı PKz-ZnO filmlerinin yapıları ATR-FTIR ve SEM ile karakterize edilerek bu filmlerin korozyon performansları 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında açık devre potansiyelinin zamanla değişimi (E<sub>ocp</sub>-t) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon (PP) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri ile incelenerek katkılanmamış PKz'nin verileri ile karşılaştırılmıştır. EIS ile 168 saat izlenen polimer kaplı paslanmaz çeliklerin korozyon performanslarının 72. saatten sonra azalmaya başladığı ancak ZnO katkılı polikarbazolün 120. saatte tekrar iyileşme gösterdiği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Korozyon, Polikarbazol, ZnO, Çelik, İletken Polimer, Elektropolimerizasyon.

## Electrochemical Synthesis of Polycarbazole and ZnO Doped Polycarbazole on Stainless Steel Surface and Investigation of Corrosion Performances

### Abstract

In this study, ZnO doped polycarbazole (PCz-ZnO) films were obtained by electropolymerization of carbazole (Cz) monomer in the presence of different concentrations of ZnO on the surface of 304 stainless steel (304-SS). Electropolymerization process was carried out using cyclic voltammetry method in the potential range of 0.3 V to 1.4 V, at 50 mVs<sup>-1</sup> scan rate by applying 10 cycles in acetonitrile (ACN) solution containing Cz, ZnO and tetra butyl ammonium perchlorate (TBAP). PCz films were doped with three different amounts of ZnO (0.01%, 0.05%, 0.10%). In order to determine the optimum ZnO amount, the potentiodynamic polarization curves recorded for PCz-ZnO films in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> medium were compared and it was determined that the 0.05% ZnO doped PCz films showed the best corrosion performance. The structures of the 0.05% ZnO doped PCz-ZnO films were characterized by ATR-FTIR and SEM, and the corrosion performances of these films were investigated via variation of the open circuit potential with time (E<sub>ocp</sub>-t) curves, potentiodynamic polarization (PP) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) methods in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions and compared with the data of undoped PCz. It was determined that the corrosion performance of polymer-coated stainless steels, which were monitored for 168 hours with EIS, started to decrease after 72 hours, but ZnO doped polycarbazole showed improvement at 120 hours.

**Keywords:** Corrosion, Polycarbazole, ZnO, Steel, Conducting polymer, Electropolymerization.

\* Sorumlu Yazar: [evrimhur@ogu.edu.tr](mailto:evrimhur@ogu.edu.tr)

## 1. Giriş

İletken polimerler, kimyasal, biyolojik, elektriksel, termal ve optik özelliklerinden dolayı birçok bilimsel ve teknolojik alanda geniş çapta kullanılmaktadır. Bu polimerler ayrıca metallerin korozyon hızını azaltmak amacıyla koruyucu kaplamalar olarak da önemli bir kullanıma sahiptirler. Son yıllarda, aktif metaller üzerinde korozyon önleyici iletken polimer kaplamaların geliştirilmesi, korozyonu önleme ve kontrol alanında yaygın olarak araştırılan konulardan biridir (Duran, Ünver, Bereket,2017).

Polipirol, polianilin, poliindol, polikarbazol vb. iletken polimerler 1970'lerin sonlarından beri yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bu polimerler arasında polikarbazoller, iyi elektroaktiviteleri, termal, elektriksel, fototermal ve elektrokromik özellikleri ile bilinmektedirler. Bu özelliklerine bağlı olarak elektrolüminesans cihazlar, sensörler, redoks katalizörleri ve elektrokromik ekranlar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Düdükçü, Udum, Ergün, Köleli, 2008).

Son yıllarda ise polikarbazollerle kaplama; korozyondan korumak amacı ile üzerinde yoğun olarak çalışılan konulardan biridir. Polikarbazol filmlerinin korozif türlerle karşı fiziksel bir bariyer oluşturması, taşıdıkları polar gruplar sayesinde polimerik bir inhibitör gibi davranmaları, kapladıkları metalin korozyon potansiyelini metalin korozyona uğramadığı pasiflik bölgesine yükseltmesi gibi avantajları, bu polimerleri çok daha cazip hale getirmektedir (Duran, Ünver, Bereket, 2017).

Tabiatta bileşikler halinde bulunan metaller, bir seri kimyasal işlemde geçirilerek elde edilirler. Bu yolla elde edilen metaller, doğada buldukları bileşik hallerine göre daha yüksek enerjilidir. Korozif ortama bırakılan metal ve alaşımlar, çevresel etkilerin neden olduğu kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlarla yeniden düşük enerjili yapılarına dönme eğilimi göstererek korozyona uğrarlar. Günümüzde demir ve alaşımları birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu uygulamaların çeşitliliği, araştırmaları yoğunlaştırmıştır. Çeşitli nötr veya agresif ortamlarda çelik gibi demir esaslı metallerin polimerik kaplamalar kullanılarak korozyon direncinin artırılması birçok araştırmanın konusu olmuştur (Duran, Ünver, Bereket, 2017).

Metal yüzeyinde elektropolimerizasyon ile doğrudan sentezlenebilen iletken polimer kaplamaların korozyon performansını arttırmak amacıyla, kopolimerizasyon veya farklı metal oksitler ile katkılama yapılarak kompozitlerinin hazırlandığı çalışmalar da literatürde yerini almıştır (Ateş and Topkaya, 2015+Mahmoudian, vd. 2011). Özellikle iletken polimer/anorganik metal oksit nanokompozitlerinin korozyon uygulamalarında alternatif olarak kullanılabilirlikleri rapor edilmiştir (Mahmoudian, Basirun, Alias2011).

Bu çalışmanın amacı, ZnO katkılı polikarbazol filmlerinin 304 paslanmaz çeliğin korozyonunun önlenmesinde polikarbazol filmlerine alternatif olabildiğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, öncelikle en iyi korozyon performansı veren ZnO miktarını belirlemek üzere, polikarbazol filmlerinin çelik elektrot yüzeyinde susuz ortamda dönüşümlü voltametri yöntemiyle sentezi sırasında farklı miktarlarda ZnO eklenerek, ZnO katkılı polikarbazol filmleri sentezlenmiş ve ZnO katkılı polikarbazol kaplı çelik elektrotların 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde kaydedilen

potansiyodinamik polarizasyon eğrileri karşılaştırılarak optimum ZnO miktarı belirlenmiştir. Sonrasında ise en iyi koruma sağlayan ZnO katkılı polikarbazol filmlerinin yapıları ATR-FTIR ve SEM yöntemleri ile spektroskopik ve morfolojik olarak karakterize edilmiştir. Çeliğin korozyondan korunmasında ZnO katkılı polikarbazolün, polikarbazol kaplamaya alternatif olabildiğini araştırmak üzere bu PKz-ZnO kaplamalar 304 paslanmaz çelik elektrot yüzeyinde sentezlenerek, korozyon performansları 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> korozif test çözeltisinde açık devre potansiyelinin zamanla değişimi (E<sub>ocp</sub>-t) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon (PP) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri kullanılarak araştırılmış ve elde sonuçlar katkılanmamış polikarbazolün verileri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Mataryal

Elektrokimyasal sentez ve korozyon testleri, beş rodajlı giriş bulunan sırasıyla 10 mL ve 100 mL hacimli farklı cam hücrelerde gerçekleştirilmiştir. Girişlerden üç tanesi çalışma elektrodu, referans elektrot ve karşıt elektrot olmak üzere üç farklı elektrodun yerleştirilmesi, diğer ikisi ise inert atmosferde çalışma yapmak üzere azot gazı girişi ve çıkışı için kullanılabilir. Elektropolimerizasyon susuz ortamda gerçekleştirilmiş olup çözücü olarak Sigma-Aldrich'den temin edilen, dielektrik sabiti yüksek (20°C'de 37,5) olan ve elektrokimyada susuz ortam çalışmalarında en çok kullanılan çözücülerden biri olan asetonitril (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>N, %99,8) kullanılmıştır. Karbazol monomer, tetrabutil amonyum perklorat (TBAP) destek elektrolit ve ZnO Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir. Susuz ortamda elektrokimyasal sentez sırasında referans elektrot olarak 1 mm kalınlığında ve 5 cm uzunluğunda Ag tel, karşıt elektrot olarak 0,5 mm kalınlıkta Pt levha kullanılmıştır. Korozif test çözeltisi %98 saflıkta H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Sigma) kullanılarak hazırlanmış olup, sulu ortamda korozyon testlerinde referans elektrot olarak Ag/AgCl (3 M KCl, Gamry) elektrot, karşıt elektrot olarak da platin tel (CHI115) kullanılmıştır.

Silindir şeklinde 6 mm çapında 304 PÇ çalışma elektrodu, elektrokimyasal sentez öncesinde Gripo 1V taşlama parlatma cihazında 1200 silikon karbür (SiC) kâğıt zımpara kullanılarak zımparalandıktan sonra, ultrasonik banyoda önce etanol-aseton karışımı, sonra asetonitril ile yıkayıp, kurutulmuştur. Pt levha ve Ag tel yine ultrasonik banyoda, önce alkol-aseton karışımı, sonra asetonitril ile temizlendikten sonra hücreye yerleştirilmiştir.

Elektrokimyasal sentez ve korozyon testleri Gamry Reference 600<sup>TM</sup> potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde yapılmış, veriler Gamry Echem Analyst yazılımı ile analiz edilmiştir. Polimer ile kaplı çelik levhaların FTIR spektrumları Perkin Elmer/Spectrum 100 ATR-FTIR spektrometrede 4000-650 cm<sup>-1</sup> aralığında kaydedilmiş olup, yüzey morfolojileri Hitachi Regulus 8230 model FE-SEM cihazında incelenmiştir.

### 2.2. Elektrokimyasal Sentez

304 PÇ elektrot yüzeyinde ZnO katkılı polikarbazol filmlerinin sentezi 0,01 M karbazol, 0,1 M TBAP, ve %0,05 ZnO içeren asetonitril çözeltisinde dönüşümlü voltametri yöntemiyle +0,3 ile +1,4 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızında 10 döngü alınarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.3. Korozyon Testleri

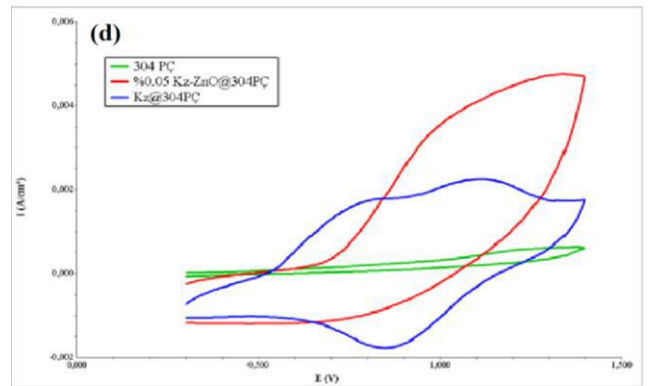
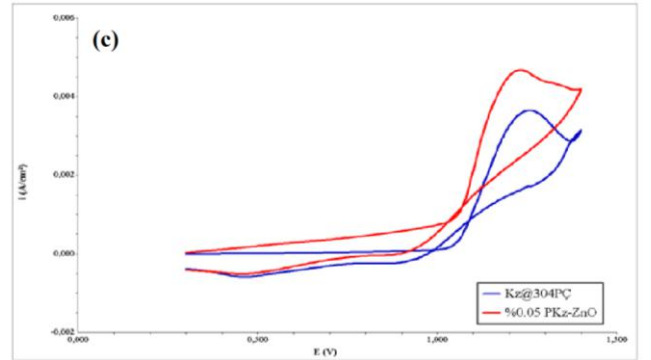
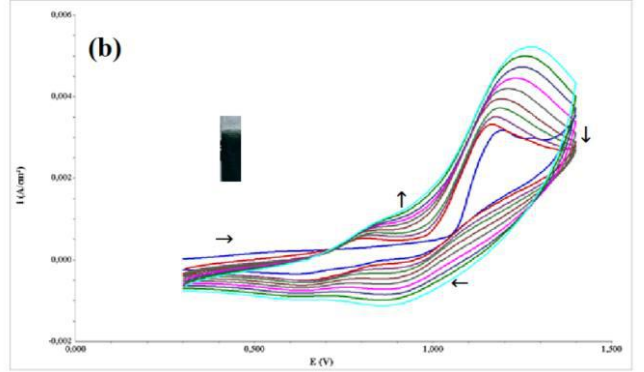
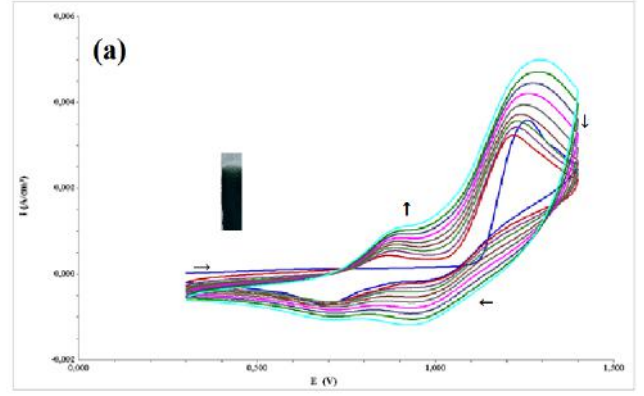
Polimer ile kaplanmış ve kaplanmamış 304 PÇ elektrotların korozyon testleri 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında, açık devre potansiyelinin zamanla değişiminin izlenmesi, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon (PP) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. EIS ve PP deneyleri, çalışma elektrodunun açık devre potansiyelinin kararlı hale ulaşabilmesi için 30 dakika korozif ortamda bekletildikten sonra başlatılmıştır. Elektrokimyasal empedans ölçümleri açık devre potansiyelinde 100 kHz ile 1 mHz frekans aralığında 10 mV alternatif akım genliğinde yapılırken, potansiyodinamik polarizasyon eğrileri açık devre potansiyeline göre -0,4 V ile +0,4 V potansiyel aralığında 1 mV/s tarama hızında kaydedilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. PKz ve PKz-ZnO Filmlerinin Elektrokimyasal Sentezi

Daha önce 304 PÇ elektrot yüzeyinde susuz asetonitril ortamında dönüşümlü voltametrik sentez koşulları belirlenen PKz filmleri (Duran, Ünver, Bereket, 2013), bu çalışmada %0,01, %0,05, %0,1 derişimlerde ZnO varlığında aynı dönüşümlü voltametrik koşullarda sentezlenerek PKz-ZnO polimer filmleri elde edilmiştir. Şekil 1.a'da verilen dönüşümlü voltomogram 0,1 M TBAP ve 0,01 M Kz içeren ACN çözeltisi içerisinde 10 döngüde PKz sentezine ait iken Şekil 1.b aynı koşullarda %0.05 ZnO katkılı PKz-ZnO sentezini göstermektedir. PKz ve %0.05 ZnO katkılı PKz-ZnO sentezine ait voltomogramların ilk döngülerinden monomere ait yükseltgenme pikinin 1,1 V civarında olduğu (Şekil 1.c); ancak polimerizasyon çözeltisine ZnO eklendiğinde pik akımının daha yüksek olduğu görülmektedir. İlk döngüden itibaren elektrot yüzeyi koyu yeşil renkli PKz filmi ile kaplanmakta ve bu filmin kendisine ait indirgenme ve yükseltgenme pik akımları, filmin büyümesi ile birlikte giderek artmaktadır. Filmin büyümesi sırasında 0,8 V civarında bir tane yükseltgenme piki ve bu pike karşılık 0,9 V civarında bir tane indirgenme piki gözlenmektedir. Bu piklerin her döngüde büyümesi polimer filminin oluştuğunun kanıtıdır.

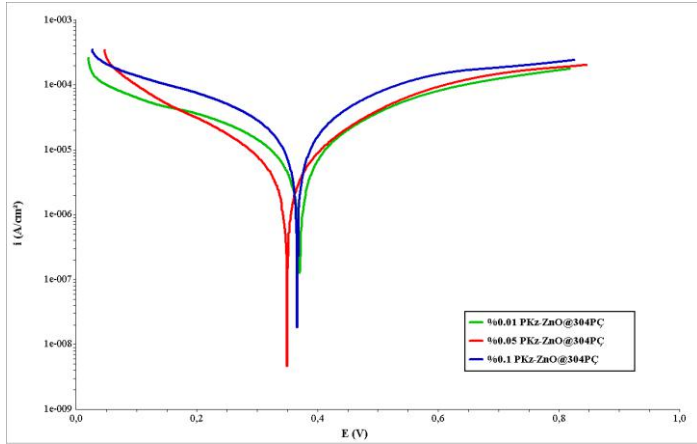
Kaplanmamış 304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotlarının elektrokimyasal davranışlarını incelemek için monomer içermeyen 0,1 M TBAP içeren ACN çözeltisi içerisinde 50 mV/s tarama hızında tek döngülü dönüşümlü voltomogramları alınmıştır (Şekil 1.d). PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların tek döngülü voltomogramları, 304PÇ elektrodun voltomogramına göre oldukça yüksek akım değerine sahiptir. Bu durum, oluşan kaplamaların iletkenlik özelliğinin PKz@304PÇ elektrotların tek döngülü dönüşümlü voltomogramlarında yükseltgenme ve indirgenme piklerinin belirginliğini kaybetmiş olması, redoks özelliğine göre kapasitif özelliklerinin daha baskın olduğunu göstermektedir.



**Şekil 1.** (a) 304 PÇ elektrot üzerinde PKz sentezi sırasında 0,1 M TBAP ve 0,01 M Kz içeren ACN ortamında 50 mV/s tarama hızında kaydedilen 10 döngülü voltomogram (Potansiyel aralığı: +0,3 V +1,4 V) (b) aynı koşullarda %0.05 ZnO katkılı PKz@ZnO sentezi (c) PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotlarının ilk döngülerin karşılaştırılması (d) Kaplanmamış 304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların monomer içermeyen sentez çözeltisinde elektrokimyasal davranışlarının karşılaştırılması.

### 3.2. Optimum ZnO Miktarının Belirlenmesi

Polikarbazol filmlerinin korozyon performansını artırmak üzere ZnO ile katkılama yapılmıştır. Bunun için üç farklı derişimde (%0,01, %0,05, %0,10) ZnO ile PKz filmleri katkılanmıştır. Bu amaçla; 0,1 M TBAP ve 0,01 M Kz içeren asetonitril ortamına ilave edilen farklı miktarlarda ZnO varlığında +0,3 V ve +1,4 V (Ag'ye karşı) gerilim aralığında 50 mV/s tarama hızında 10 döngü uygulanarak dönüşümlü voltametri yöntemi ile 304 PÇ yüzeyinde PKz-ZnO filmleri sentezlenmiştir. Elde edilen bu filmlerin 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamındaki korozyon performansları, potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile test edilmiş ve elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. %0,01, %0,05, %0,10 derişimlerde ZnO varlığında PKz ile kaplı 304 çelik elektrotların (PKz-ZnO@304PÇ) 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

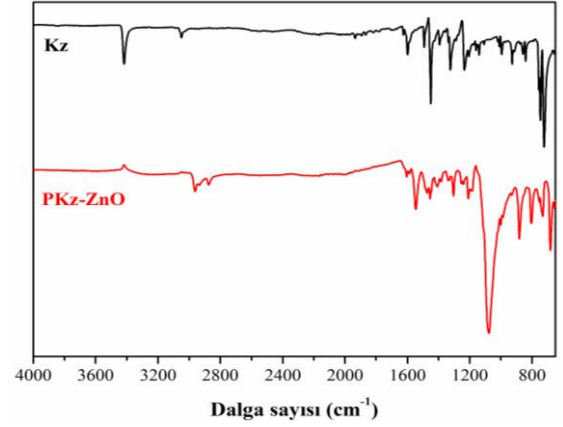
Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerine Tafel ekstrapolasyonu uygulanmasıyla elde edilen veriler Tablo 1'de listelenmiş olup, korozyon akımı (*i*<sub>kor</sub>) değerlerine göre en az korozyon akımına sahip olması nedeniyle %0,05 derişimde ZnO katkılı PKz filminin en iyi korozyon performansını gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 1. %0,01, %0,05, %0,10 derişimlerde ZnO varlığında PKz ile kaplı 304 çelik elektrotların (PKz-ZnO@304PÇ) potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

Elektrot	E <sub>kor</sub> (mV)	i <sub>kor</sub> (A/cm <sup>2</sup> )
PKz-ZnO(%0,01)@PÇ	370,0	28,7×10 <sup>-6</sup>
PKz-ZnO(%0,05)@PÇ	349,0	11,0×10 <sup>-6</sup>
PKz-ZnO(%0,10)@PÇ	366,2	31,0×10 <sup>-6</sup>

### 3.3. PKz-ZnO Filmlerinin Karakterizasyonu

PKz-ZnO polimerin FTIR spektrumunda 3000 cm<sup>-1</sup> civarında görülen geniş ve yayvan bant benzen halkarındaki aromatik C-H gerilme titreşimlerinin göstergesidir. 2800-2900 cm<sup>-1</sup> aralığındaki zayıf pikler alifatik C-H gerilme titreşimlerini göstermektedir. 1400-1600 cm<sup>-1</sup> aralığındaki pikler benzen halkalarının aromatik C=C gerilmelerine aittir. 1200-1250 cm<sup>-1</sup> de görülen pikler karbazol birimlerindeki C-N gerilme titreşiminden, 1100 cm<sup>-1</sup>'de gözlenen kuvvetli bant yapıya katılan perklorat anyonlarından gelen Cl-O gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Son olarak 700-750 cm<sup>-1</sup> aralığındaki sinyaller benzen halkalarının 1,2 disübstitüsyonlarına aittir (Duran, Ünver, Bereket, 2017,2013).

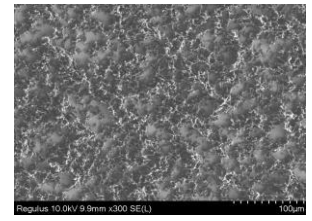
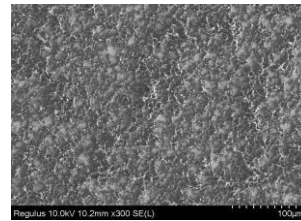


Şekil 3. Kz monomer ile çelik elektrot yüzeyinde sentezlenen PKz-ZnO(%0,05) filmlerinin ATR-FTIR spektrumları.

Şekil 4'den PKz ve PKz-ZnO filmlerinin SEM görüntüleri ile EDS analizleri görülebilir. PKz ve PKz-ZnO filmlerinin SEM mikrofotografı karşılaştırıldığında film morfolojilerinin benzer olduğu ancak ZnO katkılı filmin elektrot yüzeyini daha iyi kapladığını daha az boşluk kaldığını ve parçacık boyutunun daha küçük olduğunu söyleyebiliriz. Bu özellik diğer analiz sonuçları ile karşılaştırdığımızda PKz-ZnO filminin paslanmaz çeliği korozyona karşı koruma performansının daha iyi olduğunu desteklemektedir. EDS sonuçlarına göre ise PKz filminin ZnO ile katkılı olduğu EDS spektrumlarında Zn metalinin yoğunluğunun fazla olması ile ispatlanmaktadır.

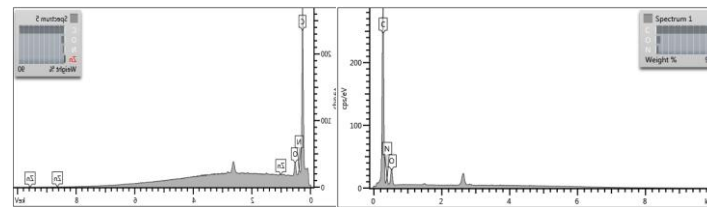
PKz-ZnO

PKz



PKz-ZnO

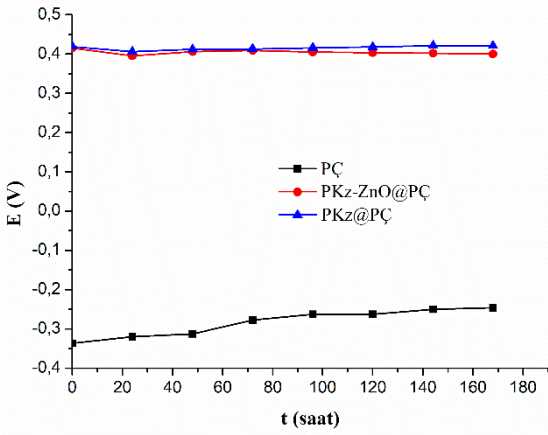
PKz



Şekil 4. PKz-ZnO(%0,05) ve PKz kaplamalarının SEM mikrofotografı ile EDS spektrumları

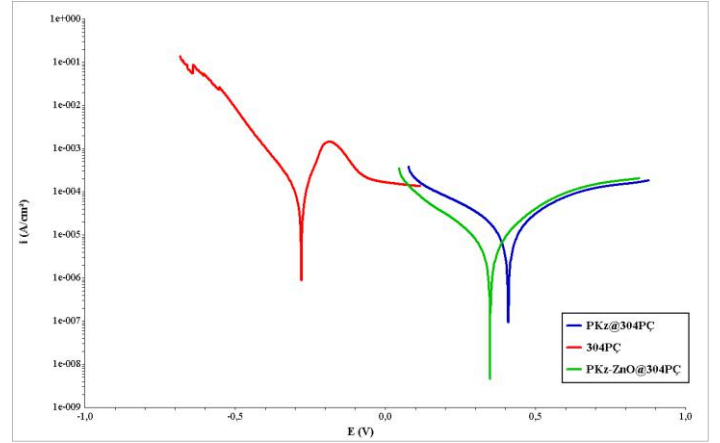
### 3.4. 304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ Elektrotlarının Korozyon Performanslarının Araştırılması

304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların korozyon performansları, açık devre potansiyeli-zaman ( $E_{ocp}-t$ ) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleri kullanılarak 1 M  $H_2SO_4$  çözeltisinde incelenmiştir. 304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların 168 saat boyunca daldırma süresine karşı  $E_{ocp}$  değerleri ölçülmüş ve ilgili  $E_{ocp}-t$  eğrileri Şekil 5'te verilmiştir. İletken polimer kaplamaların bariyer ve anodik koruma etkileri ile iki farklı mekanizma üzerinden metalleri korozyona karşı koruma sağlayabildikleri (Duran, Ünver, Bereket, 2017). Şekil 5 incelendiğinde, 168 saatlik daldırma süresi boyunca PKz ve PKz-ZnO kaplı elektrotların  $E_{ocp}$  değerlerinin, kaplanmamış PÇ elektrotunkine göre çok daha pozitif olduğu görülmektedir. Bu durum, kaplamaların yükseltgenmiş formlarını koruduğunu ve 304PÇ için iyi anodik koruma sağladığını göstermektedir (Duran, Ünver, Bereket, 2013).



Şekil 5. 304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların 1 M  $H_2SO_4$  çözeltisinde kaydedilen  $E_{ocp}$ -zaman eğrileri.

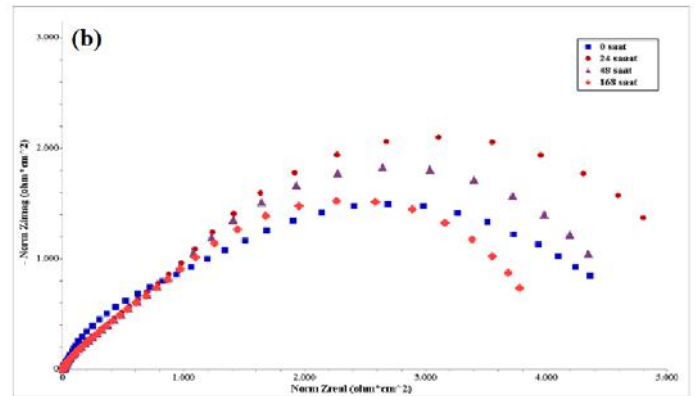
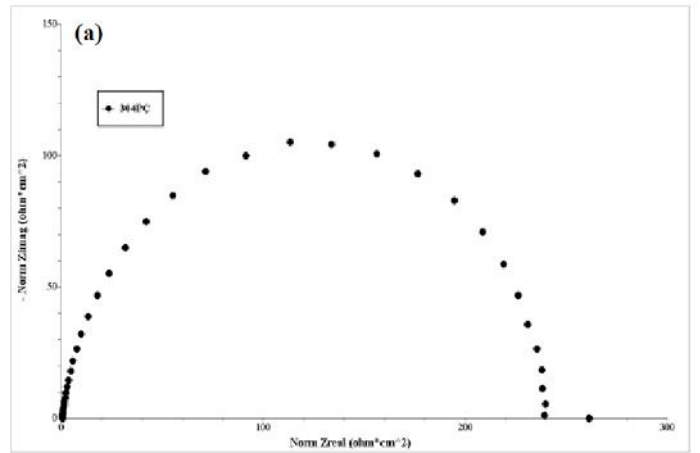
304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotlar için kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerine Tafel ekstrapolasyonunun uygulanmasıyla elde edilen veriler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den, PKz ve PKz-ZnO kaplamalarının paslanmaz çeliğin korozyon akım yoğunluğunu ( $i_{kor}$ ) azalttığı, buna bağlı olarak da 1 M  $H_2SO_4$  çözeltisinde PÇ'nin korozyon hızını azalttığı açıkça görülebilmektedir. Ayrıca, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların korozyon akım yoğunlukları karşılaştırıldığında, PKz-ZnO kaplamasının PÇ'nin korozyon akım yoğunluğunu PKz kaplamaya göre daha fazla düşürmesi nedeniyle PKz-ZnO kaplamasının, katılanmamış PKz kaplamalara alternatif olabileceği anlaşılabilmektedir.

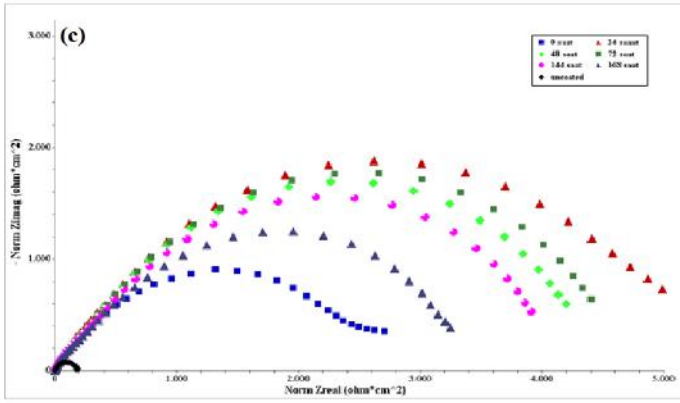


Şekil 6. 304PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların 1 M  $H_2SO_4$  çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

Tablo 2. %0,01, %0,05, %0,10 derişimlerde ZnO varlığında PKz ile kaplı 304 çelik elektrotların (PKz-ZnO@304PÇ) potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

Elektrot	$E_{kor}$ (mV)	$i_{kor}$ ( $A/cm^2$ )	$\beta_a$ (V/dec)	$\beta_c$ (V/dec)
304PÇ	-279,0	$46,3 \times 10^{-6}$	$39,8 \times 10^{-3}$	$68,2 \times 10^{-3}$
PKz@304PÇ	409,0	$20,5 \times 10^{-6}$	$294,3 \times 10^{-3}$	$324,5 \times 10^{-3}$
PKz-ZnO@304PÇ	349,0	$11,0 \times 10^{-6}$	$335,4 \times 10^{-3}$	$295,5 \times 10^{-3}$



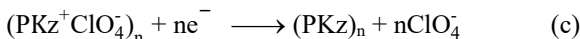
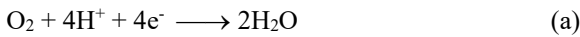


**Şekil 7.** (a) Kaplanmamış 304PÇ elektrodun 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında kaydedilen Nyquist diyagramı (b) PKz@304PÇ elektrodun 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında kaydedilen Nyquist diyagramları, (c) PKz-ZnO@304PÇ elektrodun 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında 168 saat daldırma süresince kaydedilen Nyquist diyagramları.

Şekil 7a, b ve c sırasıyla 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde farklı daldırma sürelerinde kaydedilen 304 PÇ, PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların Nyquist empedans grafiklerini göstermektedir. 168 saat süresince kaydedilen PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ kaplı elektrotların Nyquist eğrileri bozulmuş yarım daire şeklindedir. Tablo 3'den görülebileceği gibi PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ kaplı elektrotların Nyquist diyagramlarının yük transfer dirençleri, yük transfer direnci 241 ohm.cm<sup>2</sup> olan kaplanmamış çelikten daha yüksektir. Sonuç olarak, bu kaplamaların 168 saat daldırma süresince korozyona karşı daha fazla direnç sağladıklarını ortaya koymaktadır. PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ kaplı elektrotların empedans değerlerindeki artış, iletken polimerlerin yükseltgeyici özelliğinden dolayı zamanla metal yüzeyinde pasif tabakanın oluşması ile açıklanabilir. Zamana bağlı olarak R<sub>ct</sub> değerlerindeki düzensizlik iletken filmlerin redoks özelliğine bağlı olarak film altında oksit tabakanın oluşması-bozulması ve tekrar oluşup-bozulması ile açıklanabilir. PKz-ZnO@304PÇ elektrodunun R<sub>ct</sub> değerleri daldırma sürelerine bağlı olarak PKz@304PÇ elektrotunkinden daha yüksektir.

Metal yüzeyinde sentezlenen iletken polimer kaplamaların yükseltgenmiş formda oldukları ve kullanılan destek elektrolitin anyonları ile doplanmış halde buldukları kabul edilmektedir. İletken polimer kaplı bir metal korozif çözeltiye daldırıldığında polimer ile çözelti arasında redoks reaksiyonu gerçekleşir ve polimer yapısındaki eşlenik anyonların polimerden ayrılmaya başlamasıyla polimer indirgenir. İndirgenmiş haldeki polimer ise daha sonra çözeltideki oksijenin varlığı ile tekrar yükseltgenebilmektedir (Zeybek, Aksun, Üge, 2015). İletken polimer kaplı metallerin korozyonu kompleks bir süreç olarak bilinmesine rağmen PKz kaplı çeliğin oksijenden arındırılmamış H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisindeki korozyonu için literatüre dayanarak aşağıdaki reaksiyonlar yazılabilir (Ocón,Cristobal,Herrasti,Fatas,2005):

Katodik reaksiyonlar:



Anodik reaksiyonlar:



Büyük perklorat iyonlarının yapıdan ayrılması ve olası tekrar girişi sırasında polimer yapısında kolaylıkla gözenekler açılabilmekte ve polimerin sıkı yapısının bozulmasına neden olabilmektedir. Bu süreçte polimer, geçirgenliğinin artması nedeniyle korozyona karşı daha az koruyucu hale gelir. İyonların değişimi sırasında çözeltideki korozif türler metal yüzeyine ulaşır ve kaplamanın altında polimer/metal arayüzeyinde metalin çözünmesiyle korozyon gerçekleşir. İletken polimerlerin anodik koruma ve bariyer etkileri ile koruma sağlayabildikleri bilinmektedir. İletken polimer kaplamanın redoks özelliğini (elektroaktif ömrünü) kaybetmesi durumunda iletkenliği zamanla azalacağından metali pasifleştirme özelliği yerine bariyer özelliği ön plana çıkabilmektedir (J.Ren, C.L Zeng, 2008). Kaplamadaki gözenekler içerisine çözeltinin dolması ve korozyonun ilerlemesine bağlı olarak empedans eğrilerinin çaplarında düzensiz artış ve azalışlar izlenebilmekte; bu durum R<sub>ct</sub>'nin düzensiz değişmesine neden olabilmektedir.

**Tablo 3.** PKz@304PÇ ve PKz-ZnO@304PÇ elektrotların Nyquist diyagramlarından belirlenen yük transfer dirençleri.

t (saat)	PKz@PÇ R <sub>ct</sub> (ohm.cm <sup>2</sup> )	PKz-ZnO@PÇ R <sub>ct</sub> (ohm.cm <sup>2</sup> )
0	2015	2146
24	1463	4766
48	1834	3813
72	1932	3607
96	1927	2980
120	2033	3228
144	2001	3195
168	2155	3510

PKz-ZnO filmlerinin PKz filmlerinden daha yüksek korozyon direnci göstermeleri ise yapıya katılan Zn metalik parçacıklarının etkisiyle iletkenliğinin artması dolayısıyla da polimerin redoks özelliğini daha uzun süre koruyabilmesi ile ilişkilendirilebilmesi mümkündür.

## 4. Sonuç

PKz ve PKz-ZnO filmlerinin elektrokimyasal sentezi 304-PÇ elektrot yüzeyinde gerçekleştirilmiş ve korozyondan koruma etkileri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Korozyon test sonuçları, sentezlenen bu filmlerin koruyucu kaplamalar olarak performanslarının oldukça iyi olduğunu ve anodik koruma sağlayarak çeliğin korozyon hızını azalttıklarını ortaya koymaktadır. PKz ve PKz-ZnO filmlerinin korozyon performansları karşılaştırıldığında, PKz-ZnO filminin elektrot yüzeyini daha iyi kapladığı ve buna bağlı olarak yüzeyde daha az boşluk kaldığı için aynı zamanda bariyer etkisinin de fazla olduğu ve daha iyi korozyon performansı gösterdiği söylenebilir. Ayrıca sentezlenen PKz ve PKz-ZnO filmleri kapasitif davranış gösterdikleri için süperkapasitör uygulamalarında kullanılacak alternatif kaplamalar olarak önerilebilir.

## 5. Teşekkür

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ne araştırma olanakları sağladığı için teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Duran B., Çakmakçı İ., Bereket G. (2013), Role of supporting electrolyte on the corrosion performance of poly (carbazole) films deposited on stainless steel, *Corrosion Science*, Volume 77, 197-201. (<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.08.001>).
- Duran B., Ünver İ.Ç., , Bereket G. (2017). Inhibition of steel corrosion by potentiodynamic deposition of poly(N-methyl carbazole), *Journal of Adhesion Science and Technology*, Volume 31(13), 1467-1479. (DOI:10.1080/01694243.2016.1263054).
- Düdükçü M., Udum Y.A., Ergün Y., Köleli F. (2009), Electrodeposition of poly(4-methyl carbazole-3-carboxylic acid) on steel surfaces and corrosion protection of steel, *Journal of Applied polymer Science*, Volume 111, 1496-1500. (<https://doi.org/10.1002/app.29151>).
- Mahmoudian M.R., Basirun W.J., Alias Y. (2011). Synthesis and characterization of poly(N-methylpyrrole)/TiO<sub>2</sub> composites on steel, *Applied Surface Science*, Volume 257(8), 3702-3708. (<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.11.111>).
- Mathew A.M., Predeep P. (2012), Styrene butadiene co-polymer based conducting polymer composite as an effective corrosion protective coating, *Progress in Organic Coatings* Volume 74 (1), 14-18. (<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.09.011>).
- Ocon, P., Cristobal A.B., Herrasti, P., Fatas, E. (2005). Corrosion performance of conducting polymer coatings applied on mild steel, *Corrosion Science*, Volume 47, 649-662. (<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2004.07.005>).
- Ren Y.J., Zen C.L. (2008). Effect of conducting composite polypyrrole/polyaniline coatings on the corrosion resistance of type 304 stainless steel for bipolar plates of proton-exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, Volume 182(2), 524-530. (<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.04.056>).
- Zeybek B., Aksun E., Üge A.(2015). Investigation of corrosion protection performance of poly(N-methylpyrrole)-dodecylsulfate/multi-walled carbon nanotubes composite coatings on the stainless steel, *Materials Chemistry and Physics*, Volume 163, 11-23. (<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.06.022>).



# ***Pistia stratiotes*'in yaprak ve kök özütlerinin hayvansal gıdalardan izole edilen *Enterococcus* ve *Staphylococcus*'ların biyofilmleri üzerine anti-biyofilm etkisinin araştırılması**

Meryem Burcu Külahcı<sup>1\*</sup>, Ebru Beyzi<sup>2</sup>, Nebahat Aytuna Çerçi<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5007-5209), [meryemburcu@gazi.edu.tr](mailto:meryemburcu@gazi.edu.tr)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5292-9554), [beyzi@gazi.edu.tr](mailto:beyzi@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup> Kırıkkale Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kırıkkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7864-7213), [aytunacerci@gmail.com](mailto:aytunacerci@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082798)

**ATIF/REFERENCE:** Külahcı, M.B., Beyzi, E., & Çerçi, N.A. (2022). *Pistia stratiotes*'in yaprak ve kök özütlerinin hayvansal gıdalardan izole edilen *Enterococcus* ve *Staphylococcus*'ların biyofilmleri üzerine anti-biyofilm etkisinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 453-457.

## **Öz**

Makrofitler, besin değerlerinin yüksek olmasının yanı sıra antibakteriyel ve anti-biyofilm ajanları olarak da doğal bir kaynak olarak bilinmektedirler. *Pistia stratiotes* (Su marulu/Su lahanası), *Araceae* (Yılanyastığıgiller) familyasına ait olan sucul bir bitki türü olup, akarsu, göl ve bataklıkların sığ olan bölgelerinde yüksek yayılış göstermekte, üstü açık akvaryumlarda ve bahçe havuzlarında da üretimleri mümkün olmaktadır. *Pistia stratiotes*'in antioksidan, antimikrobiyal, antialerjik ve antikanserijenik özellikte olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Kök ve yapraklarının metanol, etanol, su, eter gibi maddelerle yapılan özütleri ile yapılan çalışmalarda yüksek oranda fenolik ve flavanoid içeriğine sahip olduğu ve serbest radikal süpürme, metal şelatlama gibi antioksidan aktivitesi olduğu gösterilmiştir. Araştırmamızda, *Pistia stratiotes*'in kök ve yapraklarının etanol özütlerinin, daha önceki çalışmalarda antioksidan ve antimikrobiyal etkili olduğu belirlenen 500 µg/ml konsantrasyonunun, biyofilm ürettiği belirlenmiş olan 5 *Staphylococcus* ve 17 *Enterococcus* izolatu ile pozitif kontrol olarak *Staphylococcus aureus* 29213 ve *Enterococcus faecalis* 29212 üzerine anti-biyofilm etkisi çalışılmıştır. Biyofilm üretimi ve anti-biyofilm testleri, 96 kuyucuklu mikropakta, kristal viyole ile boyanarak yapılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre, *Pistia stratiotes*'in yaprak özütü, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (%inhibisyon±SEM: 96±0,06 µg/ml), *Enterococcus faecalis* 29212 (%inhibisyon ±SEM: 88,5±0,01 µg/ml) ile birlikte 4 *Staphylococcus* ve 5 *Enterococcus* izolatında kontrole göre anlamlı olarak (p<0,05) anti-biyofilm özelliği göstermiştir. Kök özütü ise tek bir *Staphylococcus* izolatında kontrole göre anlamlı (%inhibisyon±SEM: 86,8±0,02 µg/ml) (p<0,05) bir inhibisyon göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Pistia stratiotes*, Anti-biyofilm, *Enterococcus*, Biyofilm, Özüt

## **Investigation of the anti-biofilm effect of leaf and root extracts of *Pistia stratiotes* on the biofilms of *Enterococcus* and *Staphylococcus* isolated from animal foods**

### **Abstract**

Macrophytes are known as a natural source of antibacterial and anti-biofilm agents in addition to their high nutritional value. *Pistia stratiotes* (Water lettuce/Water cabbage) is an aquatic plant species belonging to the *Araceae* family, and it is widely distributed in shallow areas of streams, lakes, and swamps, and it is possible to produce in open aquariums and garden ponds. Studies are showing that *Pistia stratiotes* has antioxidant, antimicrobial, antiallergic, and anticarcinogenic properties. In studies conducted with extracts of its roots and leaves with substances such as methanol, ethanol, water, and ether, it has been shown that it has high phenolic and flavonoid content and antioxidant activity such as free radical scavenging and metal chelating. In our research, 500 µg/ml concentration of ethanol extracts of the roots and leaves of *Pistia stratiotes*, which was determined to have antioxidant and antimicrobial effects in previous studies, was used. Anti-biofilm effect was studied on 5 *Staphylococcus* and 17 *Enterococcus* isolates, which were determined to produce biofilm, and on *Staphylococcus aureus* 29213 and *Enterococcus faecalis* 29212 as positive controls. Biofilm production and anti-biofilm tests were performed on a 96-well microplate by staining with crystal violet. According

\* Sorumlu Yazar: [meryemburcu@gazi.edu.tr](mailto:meryemburcu@gazi.edu.tr)



to the test results, the leaf extract of *Pistia stratiotes*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (%inhibition±SEM: 96±0.06 µg/ml), *Enterococcus faecalis* 29212 (%inhibition ±SEM: 88.5±0.01 µg/ml) and 4 *Staphylococcus* and 5 *Enterococcus* isolates showed significant anti-biofilm properties (p<0.05) compared to the control. The root extract, on the other hand, showed a remarkable inhibition (%inhibition±SEM: 86.8±0.02 µg/ml) (p<0.05) in a single *Staphylococcus* isolate compared to the control.

**Keywords:** *Pistia stratiotes*, Anti-biofilm, *Enterococcus*, Biofilm, Extract

## 1. Giriş

Sulak alanların önemli bileşenlerinden biri olan makrofitler; göz tarafından tür seviyesine kadar teşhis edilebilen suda yaşayan bitkiler olarak ifade edilmektedir [1]. Makrofitler, çeşitli yollarla kimyasal elementlerin sedimentten suya aktarılmasını sağlayarak besin döngüsünü önemli derecede etkilemektedir [2]. Makrofitler tarafından salınan fosfor ve azot gibi sınırlayıcı besinler, mikro algler ve bakteriler tarafından kullanılmaktadır. Makrofitleri gruplandırmak için; submergens, yüzen yapraklı bitkiler, serbest yüzen bitkiler ve emergens kategorileri kullanılmaktadır. Araceae familyası serbest yüzer bitkileri içinde bulundurmaktadır. *Pistia stratiotes* de bu familyada yer almakta, çeşitli kaynaklarda su marulu veya su lahanası olarak da isimlendirilmektedir [1]. Bu bitkinin ve özütlerinin tıbbi etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Taze yaprakları saçkıran hastalığının tedavisinde, özütleri, tüberküloz, sifiliz ve dizanteri tedavisinde kullanılmaktadır [3]. Çeşitli araştırmalarda, bu bitki ve özütlerinin aynı zamanda antidiyabetik, diüretik, antioksidan, ağır metal giderici, dekolorize edici, sitotoksik, antikanser, antimikrobiyal, nörofarmakolojik etkilere sahip olduğu gösterilmiştir [4], [5], [6], [7], [8].



Fotoğraf 1. Akvaryumda çoğaltılan *Pistia stratiotes*'in görüntüsü (Fotoğraf Arş. Gör. Dr. M. Burcu Külahcı tarafından çekilmiştir.)

Biyofilm, mikroorganizmalar tarafından hücre dışı polimerik malzemelerden oluşturulan bir matrikstir. Bu matriks mikroorganizmaların herhangi bir yüzeye, arayüze veya birbirlerine yapışmalarını sağlamaktadır [9]. Biyofilm oluşturmak için bakterilerin kullandığı mekanizmalar, sıklıkla çevresel koşullara ve spesifik suş özelliklerine bağlı olarak değişmektedir [10]. Biyofilmler, birçok farklı yüzey ve ortamda kolayca oluşabilmeleri sebebiyle, insan sağlığı, gıda endüstrisi, çevre ve tarım alanlarında farklı etkilerle kendisini göstermektedir ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır [11].

*Staphylococcus* ve *Enterococcus*'lar önemli gıda kontaminantlarından olmakla beraber, çeşitli klinik enfeksiyonlara ve gıda zehirlenmesine de neden olmaktadır. Gıda zincirinde yaygın olarak bulunmalarıyla ilgili temel endişe, fırsatçı enfeksiyonlar ve antibiyotik direnç genleri için bir rezervuar olarak rolleridir. *Staphylococcus* ve *Enterococcus* türlerinin biyofilm oluşturma eğilimleri oldukça yüksektir. Bu sebeple gıda endüstrisinde biyofilm, gıdalara mikroorganizmaların bulaşına neden olduğundan ciddi bir önem arz etmektedir [12].

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmamızda materyal olarak, Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi, Mikrobiyoloji laboratuvarında hayvansal kaynaklı gıdalardan (çiğ süt, peynir, çiğ tavuk eti ve çiğ dana eti) izole edilen ve MALDI-TOF MS cihazı ile tür tanımlaması yapılmış olan 10 *Staphylococcus* ve 20 adet de *Enterococcus* izolatu kullanılmıştır (Tablo 2). Kontrol suşu olarak *Staphylococcus aureus* 29213 ve *Enterococcus faecalis* 29212 kullanılmıştır.

### 2.1. *Pistia stratiotes* kök ve yaprak özütlerinin elde edilmesi

Kurutulup toz haline getirilmiş *Pistia stratiotes* kök ve yapraklarının özütleri (1g/20ml) %60 etanol içerisinde, mikrodalga cihazında 850 Watt'da 90 saniye bekletilerek, elde edilmiştir. Elde edilen özütler 2500 rpm de 20 dakika santrifüj edilerek, üst fazları alınarak analizler yapılana kadar -4°C'de muhafaza edilmiştir[13].

### 2.2. Bakteri izolatlarının biyofilm üretimi

*Staphylococcus* ve *Enterococcus* izolatlarının biyofilm üretimi Stepanović ve ark.'nın belirttiği yöntem ile yapılmıştır [14]. Bakteri izolatları %1 glikoz içeren Triptik Soy Broth besiyerinde çoğaltıldıktan sonra, 1,5-3 x 10<sup>8</sup> hücre yoğunluğunda ayarlanarak, 96 kuyucuklu mikropalakalara 200 µL aktararak 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası kuyulardaki besiyeri uzaklaştırılarak 200 µL steril distile su ile 3 defa yıkanmıştır. Oluşturduğu öngörülen biyofilmler, kuyucuklara %99'luk metanol eklenerek sabitlenmiş ve %2'lik kristal viyole ile boyanıp mikropalakalar kurutulmuştur. Kuruyan mikropalakaların her kuyucuğuna %96'lık etanol eklenip, boyanın çözünmesi sağlandıktan sonra 570nm'de spektrofotometrik olarak ölçümleri yapılmıştır. Değerlendirmeler Tablo 1'e göre yapılmıştır. Güçlü yapışma gösteren izolatlar anti-biyofilm çalışması için seçilmiştir.

Tablo 1. Biyofilm derecelendirme kriterleri

OD Değeri	Adezyon	Biyofilm Derecesi
OD≤OD <sub>c</sub>	yapışma olmayan	0
OD <sub>c</sub> <OD≤2 x OD <sub>c</sub>	zayıf yapışma	I
2 x OD <sub>c</sub> <OD≤4 x OD <sub>c</sub>	orta derecede yapışma	II
4 x OD <sub>c</sub> <OD	güçlü yapışma	III

### 2.3. *Pistia stratiotes* kök ve yaprak özütlerinin anti-biyofilm özelliklerinin belirlenmesi

*Pistia stratiotes* kök ve yaprak özütlerinin anti-biyofilm özelliklerinin belirlenmesi için, güçlü yapışma gösterdiği belirlenen 5 *Staphylococcus* ve 17 *Enterococcus* izolatı kullanılarak, biyofilm belirleme için kullanılan yöntem, kuyucuklara son konsantrasyon 500 µg/ml olacak şekilde özüt eklenerek tekrar edilmiştir [7].

### 2.4. İstatistiksel analiz

İstatistiksel analiz (Tek yönlü Anova, non-parametrik Friedman testi) ve ortalamasının standart hatası (SEM) hesaplamaları GraphPad Prism 8.4.2. programı ile yapılmıştır.

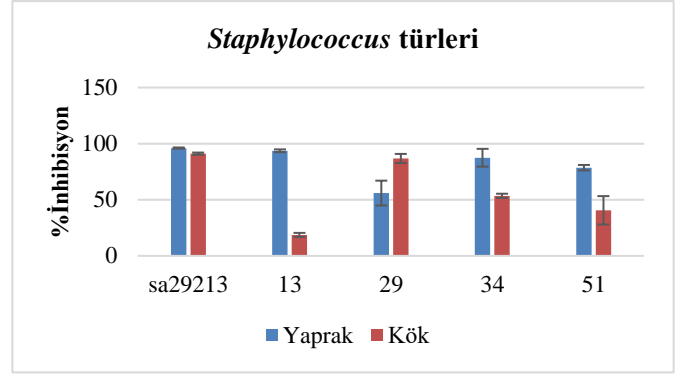
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırmamızda materyal olarak kullanılan *Staphylococcus* ve *Enterococcus* izolatları Tablo 2’de verilmiştir.

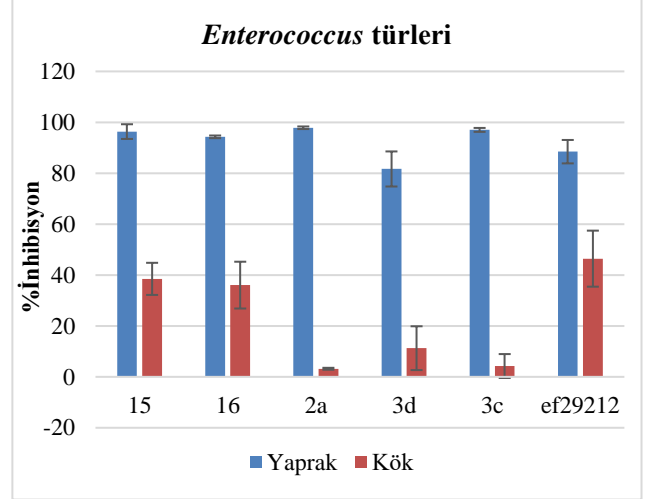
Tablo 2. Araştırmamızda materyal olarak kullanılan *Staphylococcus* ve *Enterococcus* tür adları ve biyofilm üretimi

No	İzolat kodu	Tür adı	Biyofilm üretim derecesi
1	13	<i>S.epidermidis</i>	III
2	14	<i>S.pasteuri</i>	III
3	29	<i>S.epidermidis</i>	III
4	34	<i>S.haemolyticus</i>	III
5	51	<i>S.epidermidis</i>	III
6	17a	<i>S.epidermidis</i>	I
7	22c	<i>S.pumilus</i>	0
8	25a	<i>S.epidermidis</i>	I
9	27a	<i>S.pasteuri</i>	0
10	52b	<i>S.epidermidis</i>	I
11	5	<i>E. faecium</i>	III
12	15	<i>E. casseliflavus</i>	III
13	16	<i>E. faecium</i>	III
14	17	<i>E. faecium</i>	III
15	19	<i>E. hirae</i>	III
16	23	<i>E. casseliflavus</i>	III
17	48	<i>E. faecium</i>	III
18	3B	<i>E. faecalis</i>	II
19	2A	<i>E. faecalis</i>	III
20	3D	<i>E. faecalis</i>	II
21	3C	<i>E. faecalis</i>	III
22	3E3a	<i>E. faecalis</i>	III
23	S4a	<i>E. faecalis</i>	II
24	4TB4a	<i>E. faecalis</i>	III
25	S7a	<i>E. faecalis</i>	II
26	1TB1a	<i>E. faecalis</i>	III
27	S18a	<i>E. faecalis</i>	III
28	5TB2a	<i>E. faecalis</i>	I
29	S20a	<i>E. faecalis</i>	I
30	3T2a	<i>E. faecalis</i>	I
31		<i>S. aureus</i> 29213	III
32		<i>E. faecalis</i> 29212	II

Bakteri izolatlarının biyofilm üretimi Tablo 1’e göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 1. *Pistia stratiotes* kök ve yaprak özütlerinin *Staphylococcus* izolatlarının biyofilmlerini inhibe etme yüzdeleri



Şekil 2. *Pistia stratiotes* kök ve yaprak özütlerinin *Enterococcus* izolatlarının biyofilmlerini inhibe etme yüzdeleri

Yapılan test sonuçlarına göre, *Pistia stratiotes*'in yaprak özütü, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (%inhibisyon±SEM: 96±0,06 µg/ml), *Enterococcus faecalis* 29212 (%inhibisyon ±SEM: 88,5±0,01 µg/ml) ile birlikte 4 *Staphylococcus* (Şekil 1) ve 5 *Enterococcus* (Şekil 2) izolatında kontrole göre anlamlı olarak ( $p<0,05$ ) anti-biyofilm özelliği göstermiştir. Kök özütü ise tek bir *Staphylococcus* izolatında kontrole göre anlamlı (%inhibisyon±SEM: 86,8±0,02 µg/ml) ( $p<0,05$ ) bir inhibisyon göstermiştir.

*Staphylococcus* ve *Enterococcus* başta olmak üzere birçok gıda kontaminantı mikroorganizmanın biyofilm oluşturmaları sebebiyle sağlık sektöründe kullanılan çeşitli aletlere, gıda işletmelerindeki ekipmanlara, gıda hazırlama ve paketleme yüzeylerine tutunabildikleri, çapraz kontaminasyon yoluyla gıdalara ve çeşitli ortamlara bulaşabildikleri bilinmektedir [15], [16]. Biyofilm; mikroorganizmaları dış etkilerden koruyarak onların hayatta kalmasına izin veren korumalı bir ortam oluşturur; aynı zamanda dezenfektan, antibiyotik gibi kimyasal maddelere karşı da dirençli olmalarını sağlar. Biyofilmlerin standart antimikrobiyal maddelerle yok edilmesi oldukça zordur. Gıda güvenliği ve insan sağlığı için biyofilm oluşumunun önlenmesi ve biyofilm giderimini sağlayacak yeni maddeler geliştirilmesi ile ilgili araştırmalar yapılması oldukça önem arz etmekte beraber, bu konuda doğada bulunan bitkilerden, sentetik malzemelere kadar birçok farklı materyal ile yapılan anti-biyofilm araştırmaları bulunmaktadır [17], [18], [19].

Tavaf ve ark., 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel, anti-biyofilm ve

antioksidan aktivitelerini, benzer bir çalışmada ise Jafri ve ark., (2014) uçucu yağların anti-biyofilm özelliğini araştırmışlardır. Bu çalışmaların, denenen maddelerin anti-biyofilm etkilerinin doza bağlı olarak arttığını gözlemlemişlerdir [20], [21].

*Potamogeton nodosus* makrofitinin metanol, kloroform ve petrol eteri çözücülerini kullanılarak mikropilaka yöntemiyle antimikrobiyal ve anti-biyofilm aktiviteleri çalışılmıştır. Çalışmada metanol özütünün en yüksek anti-biyofilm etki gösterdiği belirlenmiştir [7]. Araştırmamızda test ettiğimiz makrofit olan *Pistia stratiotes*'in biyolojik özelliklerine yönelik çalışmalar bulunmaktadır; Moruff ve ark. 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada *Pistia stratiotes*'in fitokimyasallarının taranması ve bu bitkinin özütünün balık patojenlerine karşı antibakteriyel aktivitelerini araştırmışlardır. Fitokimyasal inceleme sonuçları; bitkide saponinler, alkaloidler, tanenler, antrakınonların flavonoidler ve kateşinlerin bulunduğunu ve özütünün duyarlı bakterilere karşı geniş spektrumlu inhibitör aktivite gösterdiği belirlenmiştir [22].

*Pistia stratiotes*'in sitotoksitesine, antioksidan ve antimikrobiyal etkisine yönelik olarak yapılan bir çalışmada; bu bitkinin antioksidan özelliğinin bulunduğu, antimikrobiyal ve antikanser aktivitelerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir [3]. Yapılan iki farklı çalışmada ise, yine *Pistia stratiotes*'in etanol ve metanol özütünün sitotoksik, antiinflamatuvar, analjezik, antimikrobiyal etkisi ve nörofarmakolojik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda bu bitkinin sitotoksik, antimikrobiyal, santral sinir sistemi depresanı ve antinosiseptif etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [23], [24].

Yapılan literatür taramalarında, *Pistia stratiotes*'in anti-biyofilm özelliğinin çalışıldığı araştırmaların kısıtlı olduğu belirlenmiştir. *Pistia stratiotes*'in de içinde bulunduğu 5 farklı makrofitin fitokimyasal ve anti-biyofilm özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada; makrofitlerin hidroetonolik özütlerinin, biyofilm oluşumunu engellediği fakat hali hazırda oluşmuş olan biyofilm üzerinde giderici etkisi bulunmadığı bildirilmiştir [25]. Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada ise, *Pistia stratiotes* yapraklarının mikrodalga yöntemi ile elde edilen etanol özütlerinin anti-biyofilm etki gösterdiği belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Araştırmamızın sonucunda, önemli biyolojik özellikleri bulunan *Pistia stratiotes*'in yaprak etanol özütünün, biyofilm oluşturduğu belirlenen *Staphylococcus* ve *Enterococcus* izolatlarında, biyofilm oluşumunun engellenmesinde (anti-biyofilm) etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, umut verici olup, araştırmamız, ileride yapılacak daha kapsamlı çalışmalar için bir ön çalışma niteliği taşımaktadır.

#### 5. Teşekkür

Araştırmamızda kullanılan *Pistia stratiotes* bitkisinin, özütünü çıkarma konusunda bize yardımcı olan Öğr. Gör. Sema YİYİT DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimizi sunuyoruz.

#### Kaynakça

[1] Büke, E. (2019). *Kuzey Ege Havzası Makrofit Kompozisyonunun Belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye).

- [2] Henry-Silva, G. G., Camargo, A. F., & Pezzato, M. M. (2008). Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. *Hydrobiologia*, 610(1), 153-160.
- [3] Abraham, J., Chakraborty, P., Chacko, A. M., & Khare, K. (2014). Cytotoxicity and antimicrobial effects of *Pistia stratiotes* leaves. *Int J Drug Dev & Res*, 6(4), 208-21.
- [4] Herpandi, L., SD, B., & Sudirman, S. (2021). Antioxidant activity of the fractions from water lettuce (*Pistia stratiotes*) extract. *Food Research*, 5(2), 451-455.
- [5] Tripathi Pallavi, M. P. R., Sandeep, A., & Rajiv, G. (2011). "Diuretic activity of ethanolic extract of *Pistia stratiotes* in rats," *Int. Res. J. Pharm.*, 2(3), 249-251.
- [6] Kumar, V., Singh, J., & Kumar, P. (2019). Heavy metal uptake by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) from paper mill effluent (PME): experimental and prediction modeling studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 14400-14413.
- [7] Haroon, A. M. & Daboor, S. M. (2019). Nutritional status, antimicrobial and anti-biofilm activity of *Potamogeton nodosus* Poir, *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(2), 81-93.
- [8] Ekanayake, M. S., Udayanga, D., Wijesekara, I., & Manage, P. (2021). Phytoremediation of synthetic textile dyes: biosorption and enzymatic degradation involved in efficient dye decolorization by *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20476-20486.
- [9] Szafranski, S. P., Winkel, A., & Stiesch, M. (2017). The use of bacteriophages to biocontrol oral biofilms. *Journal of biotechnology*, 250, 29-44.
- [10] Cucarella, C., Tormo, M. A., Ubeda, C., Trotonda, M. P., Monzón, M., Peris, C., Amorena, B., Lasa I., & Penadés, J. R. (2004). Role of biofilm-associated protein bap in the pathogenesis of bovine *Staphylococcus aureus*. *Infection and immunity*, 72(4), 2177-2185.
- [11] Uzundağ, D., Yılmaz, E.Ş., & Baba, H. (2020). Biofilm Formation Mechanism in Fungi, *Anatol. J. Bot.*, 4(2), 116-120.
- [12] Fratamico, P. M., Annous, B. A., & Guenther, N. W. (Eds.). (2009). *Biofilms in the food and beverage industries*. Elsevier.
- [13] Yağcıoğlu, P. (2015). *Farklı Ekstraksiyon Metotları İle Adaçayı (Salvia Officinalis L.) Bitkisinden Antioksidan Ekstraksiyonunun Optimizasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye).
- [14] Stepanović, S., Vuković, D., Dakić, I., Savić, B., & Švabić-Vlahović, M. (2000). A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of microbiological methods*, 40(2), 175-179.
- [15] Gündoğan, N., & Ataol, Ö. (2012). Et örneklerinden izole edilen *Staphylococcus aureus* ve koagülaz negatif stafilkok'ların biyofilm üretimi ve DNaz aktivitelerinin belirlenmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(3), 135-142.

- [16]Gürkan, T., KÜLAHCI, M. B., & ÇITAK, S. (2021). Gıda örneklerinden izole edilen *Enterococcus* türlerinin çeşitli virülans özellikleri, biyofilm oluşumu ve antibiyotik dirençliliklerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 924-932.
- [17]Kılıç, T., Karaca, B., & Cihan, A. Ç. (2021). Abiyotik yüzeylerde termofilik *Anoxybacillus rupiensis* DSM 17127T suşunun biyofilm oluşumu ve polistiren yüzeyler üzerindeki biyofilm yapısının giderimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 455-470.
- [18]Özkan, M. & Yılmaz, H. (2018). Biofilm Inhibition Effect of cell extracts of *Bdellovibrio bacteriovorus*, a predator bacterium,” *Türk Mikrobiyoloji Cemiy. Derg.*, 48(1), 29–37.
- [19]Bali, E., Erdönmez, D., Yavuz, M., & Koca Çalışkan, U. (2021). Aromaterapötik Gül Uçucu Yağının Bakteriyel Quorum Sensing ve Biyofilm Üretimine Karşı İnhibisyon Etkileri. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 51(3), 245–253.
- [20]Tavaf, Z., Tabatabaei, M., Khalafi-Nezhad, A., Panahi, F., & Hosseini, A. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles by reduced glycated casein adducts: Assessment of their antibacterial and antioxidant activity against *Streptococcus mutans*. *European Journal of Integrative Medicine*, 7(3), 294-302.
- [21]Jafri, H., Husain, F. M., & Ahmad, I. (2014). Antibacterial and antibiofilm activity of some essential oils and compounds against clinical strains of *Staphylococcus aureus*. *J Biomed Ther Sci*, 1(1), 65-71.
- [22]Kehinde Moruff, A., Shafiu Kilishi, H., Enobong Aloysious, F., & Deji Abiodun, J. (2021). Efficacy of Aqueous Extract of *Pistia stratiotes* (Water Lettuce) against some Tropical Fish Bacterial. *Journal of Nutrition and Food Security*, 6(3), 220-225.
- [23]Ali, K. M. A., Paul, P., Torequl, I. M., Nath, B. N., & Kumar, S. S. (2011). Cytotoxicity and Antibacterial Activity of *Androgaphis Peniculata*, *Euphorbia* Evaluation Of Ethanolic Extract Of *Pistia stratiotes* L . *International Research Journal Of Pharmacy*, 2(2), 82-92.
- [24]Hussain, M. S., Ibrahim, M., Hasan, M. M., Aziz, M. T., Suchi, S. A., & Uddin, M. G. (2018). An in vivo study of the pharmacological activities of a methanolic acetate fraction of *Pistia stratiotes* L.: An ethno-medicinal plant used in Bangladesh. *Animal Models and Experimental Medicine*, 1(3), 221-227.
- [25]Nocchi, S., Boaretto, A. G., Macedo, A. J., Silva, D. B., & Carollo, C. A. (2017, November). *Dereplication and antibiofilm activity of macrophytes species of Pantanal*, 6th Brazilian Conference on Natural Products, Brazil.



# Prediction of Road Visibility Based on Meteorological Parameters by Machine Learning Methods

Tahsin Baykal\*<sup>1</sup>, Fatih Ergezer<sup>2</sup> Ekinhan Eriskin<sup>3</sup> and Serdal Terzi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> 1 Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 32260, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6218-0826), [tahsinbaykal@gmail.com](mailto:tahsinbaykal@gmail.com)

<sup>2</sup> Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 32260, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8034-5743, 0000-0002-4776-824X), [fatihergezer@sdu.edu.tr](mailto:fatihergezer@sdu.edu.tr), [serdalterzi@sdu.edu.tr](mailto:serdalterzi@sdu.edu.tr)

<sup>3</sup> Suleyman Demirel University, Property Protection and Security Department, 32260, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0087-0933), [ekinhan.eriskin@gmail.com](mailto:ekinhan.eriskin@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082868)

**ATIF/REFERENCE:** Baykal, T., Ergezer, F., Eriskin, E. & Terzi, S. (2022). Prediction of Road Visibility Based on Meteorological Parameters by Machine Learning Methods. *European Journal of Science and Technology*, (34), 458-462.

## Abstract

One of the important parameters in ensuring traffic safety is road visibility. Road visibility depends on the geometric design of the road, lighting conditions, as well as the climatic conditions in the area where the road passes. Visibility depends on meteorological parameters such as temperature, humidity, wind speed, pressure, fog, precipitation type. In this study, it is aimed to predict road visibility to ensure traffic safety. Machine learning methods were used for road visibility estimation. Machine learning models were developed with Random Forest, Extra Tree and Gradient Boosting methods. In the models, 96453 meteorological data sets such as temperature, humidity, wind speed, pressure, precipitation types, visibility were used between 2006 and 2016 in Szeged, Hungary. Developed models were evaluated with coefficient of determination ( $R^2$ ) and Root mean squared error (RMSE). As a result of the evaluation, the random forest method gave the best result.

**Keywords:** road safety, visibility, machine learning, intelligent transport system, meteorological parameters

# Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Meteorolojik Parametrelere Dayalı Yol Görünürlüğü Tahmini

## Özet

Trafik güvenliğini sağlamada en önemli parametrelerden birisi yol görünürlüğüdür. Yol görünürlüğü yolun geçtiği bölgedeki iklim koşullarının yanı sıra, yolun geometric tasarımına ve aydınlatma koşullarına bağlıdır. Görünürlük, sıcaklık, nem, rüzgar hızı, basınç, sis, yağış tipi gibi meteorolojik parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada, trafik güvenliğini sağlamak için yol görünürlük tahminleme yapılmıştır. Yol görünürlük tahmini için Makine öğrenme metotları kullanılmıştır. Makine öğrenme metotları Random Forest, Extra Tree ve Gradient Boosting yöntemleri ile geliştirilmiştir. Modelde, 2006-2016 yılları arasında Macaristan'ın Szeged şehrindeki sıcaklık, nem, rüzgar hızı, basınç, yağış tipi, görünürlük gibi 96453 meteorolojik data seti kullanılmıştır. Geliştirilen modeller belirtme katsayısı ( $R^2$ ) ve Karesel ortalama hata (KOH) ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda random forest methodu en iyi sonucu vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yol güvenliği, görünürlük, makine öğrenmesi, akıllı ulaşım sistemleri, meteorolojik parametreler.

## 1. Introduction

Road visibility on highways is also an important parameter to prevent accidents. Road visibility conditions vary according to the geometric design of the road, lighting conditions, and the current climatic conditions of the region where the road passes. Low visibility conditions can increase the probability of traffic accidents and thus endanger traffic safety (Babari et al., 2012). According to the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (2022), parameters such as fog, heavy precipitation, and wind that create low visibility conditions increase the risk of traffic accidents. Every year, 38700 traffic accidents occur due to foggy weather conditions and cause many deaths and injuries. Visibility is affected by meteorological conditions such as temperature, humidity, wind speed, pressure, fog, rain, snow, dust, and smoke (Jonnalagadda and Hashemi, 2020; Kwon, 2004). In the literature studies, the use of image processing algorithms for visibility estimation depending on meteorological conditions (Yang et al., 2018; Negru and Nedeveschi, 2013), the use of neural network algorithms (Zhao et al., 2021), the use of Deep Learning approach (Chaabani et al., 2018; Yufeng et al., 2022), the use of Machine Learning approach (Lakshmi et al., 2017; Cornejo-Bueno et al., 2021; Ortega et al., 2019) related studies were examined.

In the study, 96453 atmospheric data sets such as temperature, humidity, wind speed, pressure, precipitation types, visibility were used in the city of Szeged, Hungary, between 2006 and 2016. Visibility estimation was made by using Random Forest, ExtraTree, Gradient Boosting algorithms, and Machine Learning approach depending on meteorological conditions on highways.

## 2. Material and Method

### 2.1. Dataset

96453 datasets of meteorological parameters obtained between 2006-2016 belonging to the city of Szeged in Hungary were used within the scope of the study (URL-1, 2022).

### 2.2. Machine Learning

In this study, Random Forest, Extra Tree, and Gradient boosting were used in machine learning methods. The algorithms used are described below.

#### 2.2.1. Random Forest

Tree algorithms, similar to human consideration, start with a single node. They take the form of a tree structure as the algorithm progresses. Tree algorithms are used to solve regression and classification problems (Uyanik et al., 2021). The random forest (RF) algorithm proposed by Ho (1995) splits the data set into decision trees. Analyzes according to decision trees. Evaluates each decision tree and gives a common forecast result (Uyanik et al., 2021). The estimation process of random forest regression is shown in Figure 1.

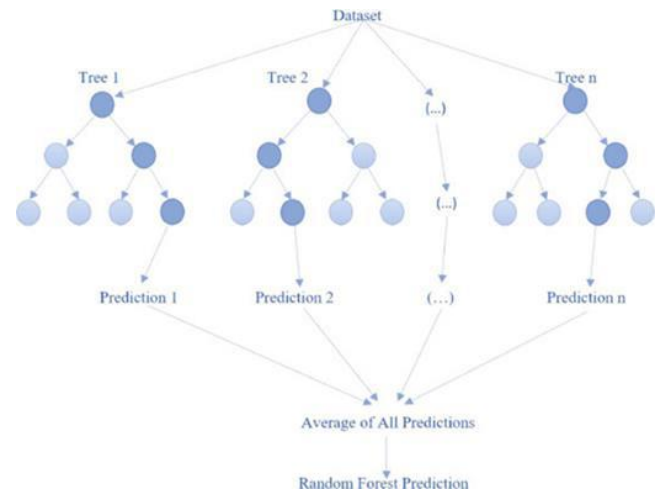


Fig. 1 The estimation process of random forest regression (Uyanik et al., 2021)

#### 2.2.2. Extra Tree:

Geurts et al. (2006), the Extra Tree Regression (ETR) approach is an approach originally derived from the RF model. The ETR algorithm creates a collection of unpruned decisions or regression trees (Hammed et al., 2021). The two main differences between ETR and other tree-based methods are that ETR splits nodes by choosing random breakpoints and grows the tree using the whole learning sample. Tree estimates are combined with the arithmetic mean in regression problems to produce the final estimate (Jhon et al., 2016).

#### 2.2.3. Gradient boosting:

The Gradient Boosting algorithm introduced by Friedman (2001) creates separate functions from the prediction made in the first iteration and the differences between the actual and the predictions values. Prediction success is boosted if functions are attempted to synchronize with each refresh (Uyanik et al., 2021).

## 3. Results and Discussion

In this study, hours, summary, precipitation type, temperature, apparent temperature, humidity, wind speed, wind bearing, pressure, and daily summary were used for visibility estimation with machine learning (ML). Statistical parameters of the data used are given in Table 1.

Table 1. Statistical parameters of the data

	Count	Mean	Std	Min	Max
Hours	96453	11.50	6.92	0.00	23.00
Summary	96453	3.10	0.98	1.00	10.00
Precip Type	96453	1.12	0.34	1.00	3.00
Temperature	96453	11.93	9.55	-21.82	39.91
Ap. Temperature	96453	10.86	10.70	-27.72	39.34
Humidity	96453	0.73	0.20	0.00	1.00
Wind Speed	96453	10.81	6.91	0.00	63.85
Wind Bearing	96453	187.51	107.4	0.00	359.00
Pressure	96453	1003.2	116.9	0.00	1046.4
Daily Summary	96453	3.18	0.47	1.00	7.00
Visibility	96453	10.35	4.19	0.00	16.10

First, correlation matrix and pair plot were used to examine the relationships of each data with the others. The correlation matrix of the data set is given in Figure 2 and the pair plot is given in Figure 3.

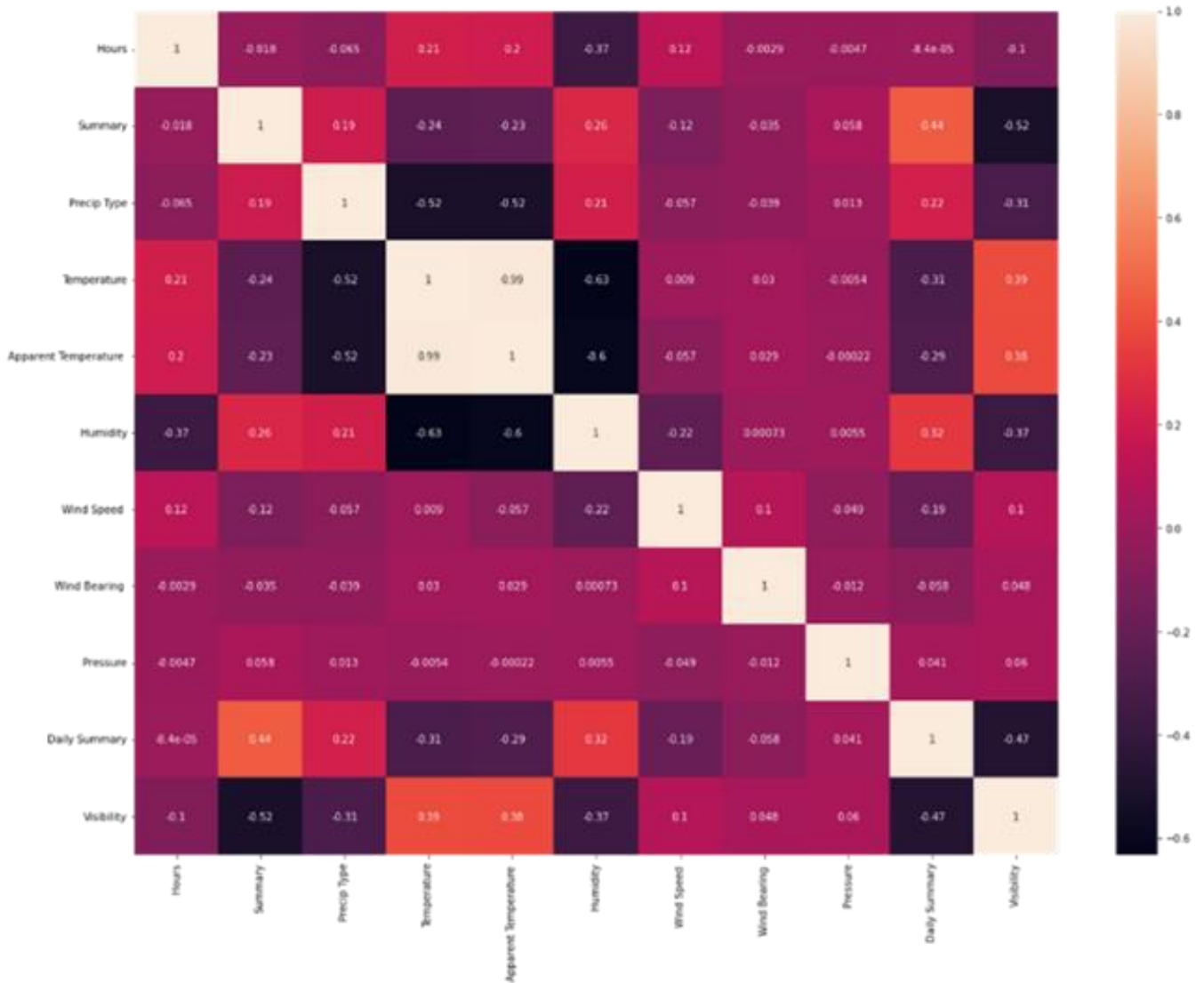


Fig. 2 Correlation matrix of the data set

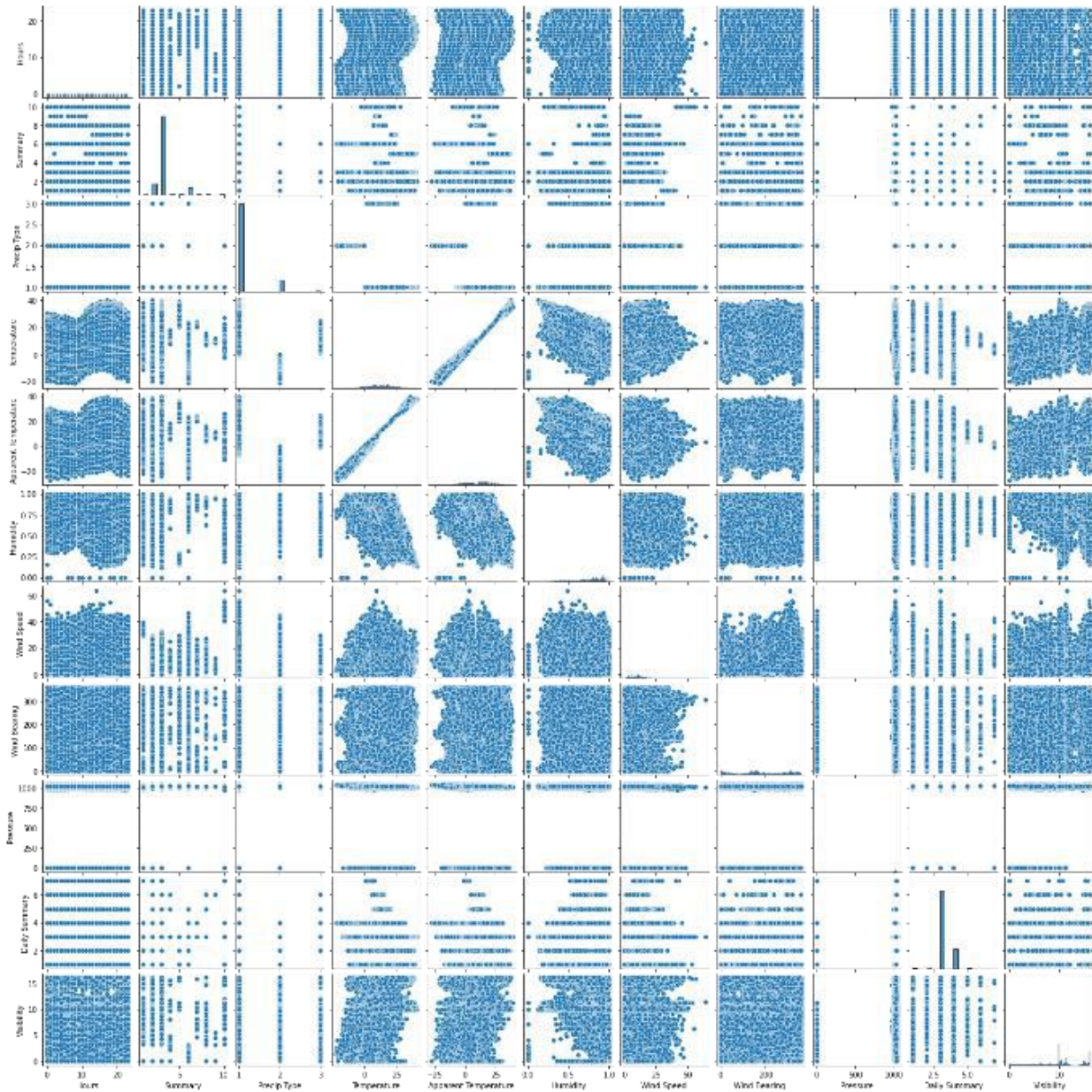


Fig. 3 Pair plot of the data set

When Figures 1 and 2 are examined, it is seen that the highest positive correlation with visibility is given by temperature with 0.39. It was determined that there was a highly negative relationship between summary and visibility.

Then the data set is randomly divided into 80% training and 20% test set. ML models were developed by using Random Forest, Extra Tree, and Gradient Boosting algorithms for the separated data sets. The Python programming language Scikit-learn 1.0.2 library was used to run the ML models. The developed model results were evaluated with a coefficient of determination ( $R^2$ ) and Root mean squared error (RMSE).  $R^2$  and RMSE are given in Eq. 1 and 2.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2} \quad (1)$$

Table 2. Results of the models

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2} \quad (2)$$

Where  $n$  is the size of the dataset,  $y_i$  are the actual values,  $y_m$  is the mean of the actual values, and  $y'_i$  is the predicted values.

The results of the models are given in Table 2.



Algorithms	Train R <sup>2</sup>	Test R <sup>2</sup>	Train RMSE	Test RMSE
Random Forest	0.96	0.70	0.85	2.30
ExtraTree	1.00	0.69	0.00	2.33
Gradient Boosting	0.66	0.66	2.44	2.46

When Table 2 is examined, it is seen that the random forest algorithm gives the best result. The R<sup>2</sup> values for the training and test sets of this algorithm are 0.96 and 0.70, respectively.

#### 4. Conclusions and Recommendations

Road visibility is an important factor in ensuring traffic safety. Road visibility is dependent on climatic conditions as well as road geometry and lighting conditions. In this study, road visibility based on meteorological parameters was estimated by machine learning method. In the estimation of road visibility, 96453 meteorological data sets such as temperature, humidity, wind speed, pressure, precipitation types, visibility were used between 2006 and 2016 in Szeged, Hungary. Machine learning models were developed with Random Forest, ExtraTree and Gradient Boosting algorithms. When the developed models were evaluated, the Random Forest algorithm gave the highest R<sup>2</sup> value for the test set. The R<sup>2</sup> value of this algorithm is 0.70.

#### 5. Acknowledge

The first author (T. Baykal) was supported by the Council of Higher Education's 100/2000 doctoral scholarship.

#### References

Babari, R., Hautière, N., Dumont, É., Paparoditis, N., & Misener, J. (2012). Visibility monitoring using conventional roadside cameras—Emerging applications. *Transportation research part C: emerging technologies*, 22, 17-28.

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, (2022). Low visibility. Available: [https://ops.fhwa.dot.gov/weather/weather\\_events/low\\_visibility.htm](https://ops.fhwa.dot.gov/weather/weather_events/low_visibility.htm)

Jonnalagadda, J., & Hashemi, M. (2020, August). Forecasting atmospheric visibility using auto regressive recurrent neural network. In 2020 IEEE 21st International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI) (pp. 209-215). IEEE.

Kwon, T. M. (2004). Atmospheric visibility measurements using video cameras: Relative visibility.

Yang, L., Muresan, R., Al-Dweik, A., & Hadjileontiadis, L. J. (2018). Image-based visibility estimation algorithm for intelligent transportation systems. *IEEE Access*, 6, 76728-76740.

Negru, M., & Nedevschi, S. (2013, September). Image based fog detection and visibility estimation for driving assistance systems. In 2013 IEEE 9th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP) (pp. 163-168). IEEE.

Zhao, J. I. N., Kangjun, Q. I. U., & Miaomiao, Z. H. A. N. G. (2021). Investigation of Visibility Estimation Based on BP Neural Network. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 16(5), 415.

Chaabani, H., Werghe, N., Kamoun, F., Taha, B., & Outay, F. (2018). Estimating meteorological visibility range under foggy weather conditions: A deep learning approach. *Procedia Computer Science*, 141, 478-483.

Yufeng, W., Du Jiamin, Y. Z., Yuehui, S., & Dengxin, H. (2022). Atmospheric visibility prediction by using the DBN deep learning model and principal component analysis.

Lakshmi, C. R., Rao, D. T., & Rao, G. S. (2017, September). Fog detection and visibility enhancement under partial machine learning approach. In 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI) (pp. 1192-1194). IEEE.

Cornejo-Bueno, S., Casillas-Pérez, D., Cornejo-Bueno, L., Chidean, M. I., Caamaño, A. J., Cerro-Prada, E., ... & Salcedo-Sanz, S. (2021). Statistical Analysis and Machine Learning Prediction of Fog-Caused Low-Visibility Events at A-8 Motor-Road in Spain. *Atmosphere*, 12(6), 679.

Ortega, L., Otero, L. D., & Otero, C. (2019, April). Application of machine learning algorithms for visibility classification. In 2019 IEEE International Systems Conference (SysCon) (pp. 1-5). IEEE.

URL-1, (2022). kaggle website. [online]. Available. <https://www.kaggle.com/budincsevit/szeged-weather>

Uyanik, T., Karatug, Ç., & Arslanoğlu, Y. (2021). Machine learning based visibility estimation to ensure safer navigation in strait of Istanbul. *Applied Ocean Research*, 112, 102693.

Ho, T. K. (1995, August). Random decision forests. In Proceedings of 3rd international conference on document analysis and recognition (Vol. 1, pp. 278-282). IEEE.15

Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). Extremely randomized trees. *Machine learning*, 63(1), 3-42.

Hammed, M. M., AlOmar, M. K., Khaleel, F., & Al-Ansari, N. (2021). An Extra Tree Regression Model for Discharge Coefficient Prediction: Novel, Practical Applications in the Hydraulic Sector and Future Research Directions. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.

John, V., Liu, Z., Guo, C., Mita, S., & Kidono, K. (2015, November). Real-time lane estimation using deep features and extra trees regression. In *Image and Video Technology* (pp. 721-733). Springer, Cham.

Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189-1232.



# Kömür Üretim Tesisi Atıksularının İleri Arıtım Prosesleri ile Arıtılarak Tekrar Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Hatice Demirel<sup>1\*</sup>, Gökhan Ekrem Üstün<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3713-1886), [502004007@ogr.uludag.edu.tr](mailto:502004007@ogr.uludag.edu.tr)

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7126-6792), [gokhaneu@uludag.edu.tr](mailto:gokhaneu@uludag.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082896)

**ATIF/REFERENCE:** Demirel, H. & Üstün, G. E. (2022). Kömür Üretim Tesisi Atıksularının İleri Arıtım Prosesleri ile Arıtılarak Tekrar Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 463-468.

## Öz

Yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştirilen tesislerde üretim sırasında atıksu oluşumu kaçınılmazdır. Oluşan atıksuyun deşarj edilmesinden veya proses suyu olarak kullanılmasından önce uygun arıtma yöntemleri ile arıtılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştiren bir tesiste oluşan atıksuların fiziko-kimyasal ve membran prosesler ile arıtılarak kömür zenginleştirme tesisinde tekrar kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda atıksudan alınan numunelerde bulanıklık, ph, KOI ve AKM parametreleri incelenmiştir. Tesisin bulanıklık gideriminde toplam verimi %99,97, KOI giderim verimi %95,16, AKM giderim verimi ise %99,72 olarak hesaplanmıştır. İnceleme sonuçları arıtılan atıksuyun kömür zenginleştirme tesisinde tekrar kullanılabilirliğini bununla birlikte çevresel ve ekonomik kazançlar sağlanabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür, Yeraltı madenciliği, Kömür zenginleştirme, İleri atıksu arıtımı, Tekrar kullanım.

## Investigation of Reusability of Coal Production Facility Wastewater by Treating with Advanced Treatment Processes

### Abstract

Wastewater formation is inevitable during production in facilities where coal production is carried out with underground mining. Before the wastewater is discharged or used as process water, it must be treated with suitable treatment methods. In this study, the reusability of wastewater generated in a facility that produces coal by underground mining was investigated for the coal beneficiation facility by treating with physico-chemical and membrane processes. In this context, turbidity, pH, COD and SS parameters were investigated in the samples taken from wastewater. The total efficiency of the plant in turbidity removal was determined as 99.97%, the COD removal efficiency as 95.16%, and the AKM removal efficiency as 99.72%. The results of the examination showed that the treated wastewater can be reused in the coal beneficiation facility, besides, environmental and economic gains can be achieved.

**Keywords:** Coal, Underground mining, Coal beneficiation, Advanced wastewater treatment, Reuse.

\* Sorumlu Yazar: [502004007@ogr.uludag.edu.tr](mailto:502004007@ogr.uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünyada elektrik üretimi çoğu ülkede büyük ölçüde fosil yakıtlara bağlı olmakla birlikte [1] geçmişten günümüze dünyada fosil yakıtlar içinde en çok bulunan enerji kaynağı kömür olmuştur [2]. Gelişmekte olan bazı ülkelerde kömür rezervlerinin de fazlalığı nedeniyle birincil enerji üretiminin 60%tan fazlası kömürden karşılanmaktadır [3]. Öyle ki elektrik üretiminde en çok kullanılan fosil yakıtların başında gelen kömürden 2021 yılının ilk yarısında elektrik üretimi bir önceki yılın ilk yarısına oranla %15 artmıştır [4].

Dünyada 2020 yılı sonu itibarıyla işletilebilir kömür rezervi 1.074.108 milyon tondur. Bu rezervin 11.525 milyon tonluk kısmı Türkiye’de bulunmaktadır [5]. Türkiye’de 2020 yılında üretilen enerjinin ise yaklaşık %34,8’i kömür kaynaklıdır [6]. 11.525 milyon ton rezervi yeraltında bulunan Türkiye’de kömür açık ocak veya yeraltı madenciliği ile açığa çıkartılabilmektedir.

Kömür madenciliğine kömür yıkama/hazırlama olarak da isimlendirilen zenginleştirme tesisleri eşlik etmektedir [7]. Yan kayaçların karışması ile birlikte ocaktan saf halde alınamayan kömürün ısı değerinin artırılmasına, kül, kükürt ve nem oranının ise düşürülmesine ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Aynı zamanda ocaktan üretildiği hali ile ekonomik olmayan kömürün daha da ekonomik duruma getirilmesi amaçlanmaktadır. Zenginleştirme işlemi için kömürün türüne ve özelliklerine göre kuru veya sulu yöntemler uygulanabilmektedir [9]. Sulu kömür zenginleştirme yöntemleri kuru yöntemlere göre daha fazla kullanılan yöntemlerdir. Ağır ortam ayırma, siklon, köpikle yüzdürme ve spiral ayırma sulu zenginleştirme yöntemleri olup bu yöntemlerin tercihinde kömürün partikül boyutu ve gereken ürün kalitesi göz önünde bulundurulmaktadır [10]. Türkiye’de zenginleştirme tesislerinde ağır ortam ayırma yöntemi kullanılmaktadır [11].

Zenginleştirme işlemi için kullanılan yöntemler öncelikli olarak kömür ve kül arasındaki fiziksel farklılıklara dayanmaktadır. Organik ve inorganik bileşenlerden oluşan kömürde bu iki tür arasında bulunan yoğunluk farkı sayesinde yoğunluk ayırımı kullanılmaktadır. Organik bileşenlerin yoğunluğu genellikle  $<1,4 \text{ g/cm}^3$  olup kömürün kil miktarı arttıkça yoğunluk artmaktadır. İnorganik bileşenlerden yoğunluğu  $2,65 \text{ g/cm}^3$  olan kuvarsın varlığı ile parçacık yoğunluğu  $1,6-1,8 \text{ g/cm}^3$  aralığına kadar yükselmektedir [12].

Tüvenan kömürün su içeriği %1 ile %20 arasında değişkenlik göstermektedir. Zenginleştirme işlemi sonrasında %12 su içeriğine sahip temiz kömür oluşurken %9 su içeriğine sahip karışık kömür, %24 su içerikli şlam ve %4 su içerikli atık malzemeler oluşmaktadır. Dolayısıyla tesisteki su dengesini korumak için prosese devamlı olarak su ilave edilmesi gerekmektedir [13]. İlave edilerek yıkama işlemlerinde kullanılacak suyun kalite parametrelerine ilişkin belirlenmiş kriterler bulunmamaktadır.

Kömür madenciliği ile su kaynakları birbirini etkileyecek derecede yakından ilişkilidir [14]. Yeraltı madenciliğinde kömür kesme işlemi esnasında çalışma yüzeyinden kaynaklı ince toz kömürler yeraltı suyuna karışarak suyun özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır [15]. Üretimle birlikte, deşarj edilmeden veya başka amaçlar için kullanılmadan önce arıtılması gereken yüksek miktarlarda atıksu oluşmaktadır [16], [17]. Atıksuların fiziko-kimyasal özellikleri maden sahasında bulunan kömürün bileşimine ve kökenine bağlı olup genellikle

tuzlu olmakla beraber yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde ve değişken konsantrasyonlarda alüminyum, demir ve çözülmüş organik maddeleri içermektedir [15], [17], [18]. Farklı mineraller ile negatif ve pozitif yüklü iyonların varlığı nedeniyle atıksu, hafif asidik veya alkali olabilmektedir [15]. Bu bileşenlerin alıcı ortam için risklerinin en aza indirilmesi ve atıksuyun başka amaçlar için geri kazanılması önem arz etmektedir [16].

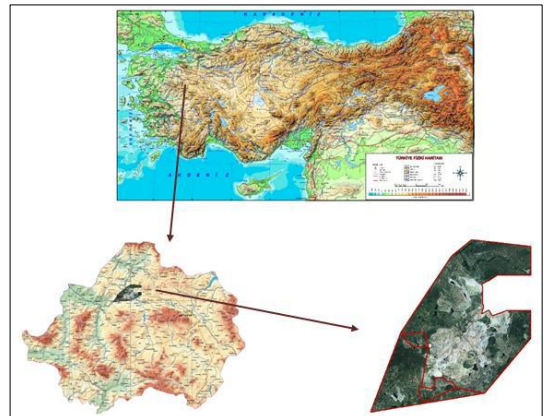
Kömür madenciliği ile ilgili faaliyetler sonucu oluşan atıksular genellikle doğrudan alıcı ortamlara (yüzey suları, arazi yüzeyleri vb.) deşarj edilmektedir [19]. Atıksuyun doğrudan alıcı ortama deşarj edilmesi önemli çevre sorunlarına, erozyona, yerel su kaynaklarının kirlenmesine yol açmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir [18], [19]. Önemli bir içme suyu kaynağı ve tarım alanları için sulama kaynağı olan yeraltı sularını kirlitebilmektedir [20]. Bu nedenle herhangi bir çevresel felaketi önlemek amacıyla uygun arıtma yöntemleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Uygulanacak yöntemler atıksu bileşimindeki kirleticilerin büyük oranda giderilmesine ve ekonomik kazanç sağlanmasına yardımcı olabilecektir [19]. Kömür madenciliği atıksularının arıtımı için benimsenen en yaygın yöntem koagülasyon/flokülasyon prosesi olmakla beraber membran prosesler de arıtma uygulamalarında kullanılmaktadır [18].

Kömür madenciliği atıksuları uygun arıtma yöntemleri ile arıtıldıktan sonra deşarj edilebilmekte ayrıca kullanma suyu olarak değerlendirilebileceği gibi kömür zenginleştirme tesisinde proste tekrar kullanılabilir. Bu uygulamalardan farklı olarak maden sahasındaki yeşil alanlar için sulama suyu olarak da kullanılabilir [19]. Bu çalışmada kömür madenciliği sırasında oluşan atıksuların fiziko-kimyasal ve membran prosesler uygulanarak arıtılabilirliği araştırılmıştır. Arıtılan atıksuyun kömür zenginleştirme tesisinde proses suyu olarak tekrar kullanılmasıyla elde edilebilecek ekonomik kazançlar değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Maden Sahası

Çalışma kapsamında arıtılacak atıksu yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştiren Türkiye Kütahya’da bulunan Türkiye Kömür İşletmeleri Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü’nden alınmıştır. Susurluk Havzasında bulunan ilde farklı akarsulara bir günde toplam yaklaşık  $28.338 \text{ m}^3$  endüstriyel nitelikli atıksu deşarjı yapılmaktadır [21]. Kömür üretimi gerçekleştiren tesiste üretim faaliyetleri sırasında yaklaşık  $1.000 \text{ m}^3/\text{gün}$  atıksu oluşmaktadır.



Şekil 1: Çalışma Sahası

## 2.2. Yeraltı Kömür Üretimi ve Ham Atıksu Verileri

Yeraltı madenciliği küresel ölçekte açık ocak madenciliğine göre daha fazla tercih edilmektedir [22]. Yeraltı madenciliğinde kömürün çıkartılması için oda-topuk ve uzun ayak olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır [23]. Uzun ayak yöntemi kömürün bulunduğu maden sahasında kendinden ilerleyen hidrolik çatı desteği üzerinde kömürün dikdörtgen panellere ayrıldığı ve kesiciler yardımıyla tek bir dilimde çıkartıldığı yöntemdir [23], [24]. Bu yöntem hidrolik çatı destekleri, kömür kesiciler ve taşıyıcı bantlardan oluşan entegre bir sistemdir [23]. Çalışma esnasında tavan birimlerini hidrolik destekler tutar ve her bir kömür dilimi çıkartıldıktan sonra destekler ve madencilik ekipmanları yeni açığa çıkan çatıyı desteklemek üzere bir sonraki dilime ilerler ve desteğin arkasındaki çatının çökmesine izin verilir [24], [25]. Taşıyıcı bant zemine, kesici tarafından kesilen kömürün bant üzerine düşebileceği ve istenen yere taşınabileceği şekilde yerleştirilir [23].

Uzun ayak yöntemi ile yeraltı kömür üretimi gerçekleştiren tesiste 90 metre ve 110 metre ayak uzunluğuna sahip 2 adet pano bulunmaktadır. Resim 1. de A2 olarak isimlendirilen üretim panosu görülmektedir.



Resim 1. GLİ yeraltı üretim tesisi

Son 2 yıl içerisinde 2 panoda gerçekleştirilen toplam üretim miktarı ile toplam ilerleme Tablo 1.de gösterilmektedir.

Tablo 1. GLİ kömür üretim miktarı

	2020	2021
İlerleme (m)	87,70	78,27
Üretim Miktarı (ton)	146.296,05	197.721,15

Üretim sırasında oluşan atıksu miktarı sahada bulunan yeraltı su kaynağının varlığına ve üretim miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Üretilen atıksuyun içeriğinde sahanın jeolojisine bağlı olarak çeşitli mineraller ve yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında ham atıksudan 3 farklı dönemde 2 saatlik kompozit numune alınmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına ait veriler Tablo 2.de belirtildiği gibidir.

## 2.3. Kömür Zenginleştirme Tesisi

Çalışma kapsamında incelenen tesiste ağır ortam ayırma yöntemi ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yeraltından çıkarılan tüvenan kömür, zenginleştirme tesisinde işlenebilecek boyutlara getirilmek üzere döner kırıcı ile kırılarak tesise ait stok sahasına alınmaktadır. Stok sahasına dökülen ve 150 mm altına indirilen tüvenan kömür, zenginleştirme tesisine konveyör bantlar ile beslenmektedir. Farklı ebatlardaki kömürler (+18-150 mm ve +0,5-18 mm) yoğunluk farkına göre ağır ortam teknelerinde yüzdürme batırma işlemleri ile zenginleştirilmektedir. Yoğunluk ayırma işlemlerinde ince öğütülmüş suda dağılmış manyetit ( $Fe_3O_4$ ) orta süspansiyonu kullanılmaktadır.

Tablo 2. Hamsu analiz sonuçları

Numune	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)
1	8,18	+1000	877	1024,0
2	7,90	741	98,3	253,2
3	8,05	+1000	418,0	438,0
Ortalama	8,04	+1000	464,4	571,7

## 2.4. Atıksu Arıtımı

Koagülasyon/flokülasyon prosesi atıksuda bulunan askıda katıların ve organik maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılan etkili arıtma prosesisidir [18]. Çalışmanın yapıldığı tesiste yeraltı kömür üretimi ile ortalama 1.000 m<sup>3</sup>/gün atıksu üretmektedir. Oluşan atıksuların fiziko-kimyasal arıtma proseleri ve membran proseler ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Flokülasyon/koagülasyon prosesinde flokülant olarak alüminyum sülfat [ $Al_2(SO_4)_3$ ] koagülant olarak anyonik polielektrolit kullanılmıştır. Membran proses uygulaması da ultrafiltrasyon ve ters ozmos üniteleri ile gerçekleştirilmiştir.

Hamsu öncelikli olarak kendiliğinden çökelebilen katıların yerçekimi etkisiyle çöktürülerek uzaklaştırılması amacıyla lamella ünitesinden geçirilmiştir. Debi ve yük bakımından dengeleme sağlamak amacıyla dengeleme havuzuna alınan atıksu bu üniteden hızlı karıştırma ünitesine aktarılmıştır. Bu üniteye pH 7-8 aralığında olacak şekilde 40 mg/L koagülant dozlaması gerçekleştirilmiştir. Tam karışım sağlanacak şekilde bir mikser yardımıyla sürekli olarak karıştırılmış ve 4 dakika bekleme süresi sağlanmıştır. Hızlı karıştırma ünitesinde şartlandırılan atıksuyun içerisinde bulunan partiküllerin büyütülmesi amacıyla yavaş karıştırma ünitesine aktarılmış ve burada 2 mg/L anyonik polielektrolit ilavesi yapılmıştır. Yavaş karıştırma ünitesinde bulunan paletli karıştırıcılar ile karışım sağlanarak atıksuyun içerisinde çözünmüş veya kolloidal formda

bulunan kirleticilerin önemli bir kısmı daha büyük partiküllere dönüştürülmüştür. 30 dakikalık hidrolik bekleme süresinin sonunda atıksu, içerisinde bulunan partiküllerden ayrılması

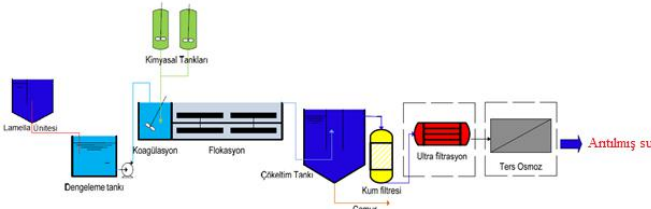
amacıyla çöktürme havuzlarına alınmıştır. Çöktürme ünitesinin çıkış suyu parametreleri ve ortalama değerleri Tablo 3.te gösterilmiştir.

Tablo 3. Çöktürme havuzu analiz sonuçları

Numune	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7,97	8,43	42,2	43
2	7,91	14,6	40,7	48
3	7,98	10,8	39,8	41
Ortalama	7,95	11,28	40,9	44

Çöktürme ünitesinde partiküllerden arındırılan atıksu ünitede bulunan savak yapısından geçirilerek basınçlı multimedya kum filtrelerine aktarılmıştır. Multimedya kum filtresi içerisinde çok katmanlı çakıl, kum ve antrasit malzeme bulunan 5 adet filtre tabakasından oluşmaktadır. Atıksu bu üniteden Pentair X-Flow marka toplam 16 adet modülden oluşan ultrafiltrasyon ünitesine alınmıştır. Yaklaşık %89 toplam sistem verimine sahip UF ünitesi içten dışa akışlı olacak şekildedir. UF ünitesinde filtrasyon esnasında fark basınç maksimum 1,5 bar olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ünitenin ardından ARC BİA-3680 marka RO ünitesine atıksular aktarılmıştır. Toplam 36 adet membran bulunan RO ünitesinde besleme suyu basıncı maksimum 5 bar seviyesinde tutulmuştur. Bu ünitenin su arıtma verimi ise %60'tır.

Atıksu arıtımına ilişkin iş akım şeması Şekil 2 de belirtildiği gibidir.



Şekil 2. Atıksu arıtımı iş akım şeması

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında yeraltı üretimi sonucu oluşan atıksudan ve arıtılmış ürün suyundan 2 saatlik kompozit numuneler alınmıştır. Numunelerde pH, bulanıklık, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) ve askıda katı madde (AKM) değerlerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Ultrafiltrasyon ve ters ozmos ünitelerine ait çıkış suyu analiz değerleri ile Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 7.2 Sektör: Maden Sanayii (Kömür Üretimi ve Nakli) deşarj standartları Tablo 4.te kıyaslanmış ve ürün suyu parametrelerinde deşarj standartlarının sağlandığı görülmüştür. Arıtılmış atıksu kömür zenginleştirme tesisinde kömürün yıkanması işlemlerinde kullanılabilir kriterdedir.

Ham suyun ortalama bulanıklık değerinin 1.000 NTU üzerinde olduğu ve çıkış suyu ortalama bulanıklık değerinin 0,26 NTU olduğu görülmüştür. Giriş suyunun ortalama KOI değeri 464,4 mg/L ve AKM değeri 571,7 mg/L; çıkış suyu değerleri sırasıyla 22,47 mg/L ve 1,6 mg/L görülmüştür. Bulanıklık gideriminde tesisin toplam verimi %99,97 olarak hesaplanmıştır. KOI giderim verimi %95,16, AKM giderim verimi ise %99,72 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Analiz sonuçları ve deşarj standartları limit değerleri

Numune	UF				RO				SKKY Tablo 7.2		
	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)	pH	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)	pH	KOI (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7,93	0,90	28,5	33	7,49	0,28	25,3	2,0	6-9	200	150
2	7,94	1,19	32,5	28	7,33	0,24	20,9	1,3			
3	7,96	1,05	30,8	17	7,43	0,27	21,2	1,6			
Ortalama	7,94	1,05	30,6	26	7,42	0,26	22,47	1,6			

Atıksu arıtma tesisinin bugünkü yatırım maliyeti yaklaşık 950.000 €, yıllık işletme gideri ise 33.000 €'dur. Tesisin yıllık su üretimi ortalama 250.000 m<sup>3</sup>/yıldır.

Tesiste arıtılan ve deşarj kriterlerini sağlayan suyun deşarj edilmesi durumunda Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında atıksu deşarjı konulu Geçici Faaliyet Belgesi ve

Çevre İzni alınması gerekmektedir. 5 yıllık periyotlarda yenilenmesi gereken bu belgelerin yıllık ortalama yaklaşık maliyeti 117 € olacaktır. Alınan izinler kapsamında yeterliliği bulunan laboratuvarlara ayda 2 kez olmak üzere analizler yaptırılması gerekecektir. Yıllık analiz bedeli yaklaşık olarak ortalama 950 € olacaktır. Ayrıca 2018/14 Sayılı Atıksu Arıtma/Derin Deniz Deşarjı Tesisi Proje Onayı Genelgesi kapsamında tesise Sürekli Atıksu İzleme Sistemi (SAİS)

kurulması gerecektir. Bu sistemin yatırım maliyeti ise yaklaşık 32.326 € olacaktır.

Bu çalışma ile yeraltı kömür madenciliği atıksularının fiziko-kimyasal ve membran prosesler kullanılarak arıtılabilirliği incelenmiş ve deşarj standartlarını sağlayan ürün suyu elde edildiği gözlenmiştir. Kömür madenciliği atıksularının hangi prosesler ile arıtılabileceği dünya genelinde değerlendirilmektedir. Chen B. ve arkadaşları [12] Batı Çin'de işletilen ve yüksek oranda AKM içeren bir kömür madeni atıksuyunun ön arıtma ve ters osmoz membranları ile arıtıldıktan sonra proseste kullanıldığını bildirmişlerdir. Mien T. [26] Vietnam'da bulunan ve yeraltı madenciliği ile kömür üretimi gerçekleştiren bir tesiste birincil arıtmanın ardından kullanılan kimyasal arıtma prosesleri ile atıksuyun arıtılabileceğini ve oluşan ürün suyunun deşarj edilebildiğini ve proseste tekrar kullanılabilirliğini göstermiştir. Yıldırım ve arkadaşları ise [17] Türkiye Zonguldak'ta taşkömürü üretimi yapılan yeraltı madenciliği kaynaklı atıksuların nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları ile arıtılabilirliğini laboratuvar ölçeğinde incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük enerji ve kimyasal tüketimi ile yüksek kaliteli su üretilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Maden sahasının jeolojik özelliklerine bağlı olarak da değişen parametrelerde oluşan atıksular içerdikleri bileşiklere göre farklı prosesler ile arıtılabilmektedir. Bu çalışma ile de fiziko-kimyasal ve membran proseslerin birlikte kullanılarak elde edilen ürün suyunun kömür zenginleştirme tesisinde proses suyu olarak yeniden değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4. Sonuç

Kömür madenciliği atıksularının yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde ve organik, inorganik bileşikleri içermesi nedeniyle arıtılmaksızın deşarj edilmesi alıcı ortamlar için önemli çevresel riskler doğurmaktadır. Bu nedenle bu atıksuların muhakkak arıtılması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen ve bugünkü yatırım maliyeti 950.000 € olan tesisin yıllık işletme gideri 33.000 €'dur. Tesisin yıllık su üretimi ortalama 250.000 m<sup>3</sup>/yıldır. Böylece ünitelerin çıkışından istenilen karakterde elde edilen suyun üretimi için işletme maliyetinin 0,132 €/ m<sup>3</sup> olduğu görülmektedir.

Arıtılan atıksuyun proseste tekrar kullanılmasıyla şebeken alınan su aylık ortalama 25.000 m<sup>3</sup> azalacaktır. Böylece ilgili belediyeye ödenen su bedelinden yılda ortalama 16.163 € tasarruf sağlanacaktır. Suyun sistemde tekrar kullanılmasıyla birlikte yıllık ortalama Mevzuat kapsamında alınması gereken ve yıllık yaklaşık 117 € olan izin belgelerinin, 950 € analiz bedellerinden ve 32.326 € SAİS yatırım bedelinden tasarruf sağlanmış olacaktır.

#### Kaynakça

[1] Singh H., Kumar S., Mohapatra S. K., Prasad S. B., Singh J. (2021). Slurryability and flowability of coal water slurry: effect of particle size distribution. *Journal of Cleaner Production*, 323.

[2] Bian Z., Inyang H., Daniels J. L., Otto F., Struthers S. (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. *Mining Science and Technology*, 20(2), 215–223.

[3] Li C., Wang X., Yang T., Deng W. (2021). Enhancement of fluidity and slurry-phase hydrogenation reactivity of coal-oil slurry by preheating treatment. *Fuel*, 290.

[4] Greenfield C., Alvarez C. F. (2021). International Energy Agency (IEA). *Coal-Fired Power*.

[5] British Petroleum. (2021). *Statistical review of world energy*.

[6] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO). (2021). Türkiye elektrik istatistikleri.

[7] Xie P., Liu J., Fu B., Newmaster T., Hower J. C. (2022). Resources from coal beneficiation waste: chemistry and petrology of the Ayrshire coal tailings ponds, Chandler, Indiana. *Fuel*, 313.

[8] Çiftçi H., Işık S. (2016). İnce boyutlu lavvar tesisi atıklarının anyonik flokülantlar ile susuzlandırılmasında çeşitli parametrelerin etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri*, 16, 391-398. doi: 10.5578/fmbd.28089.

[9] Arslan V., Kemal M. (2004). *Kömür hazırlama ve Türkiye'deki uygulamalar*. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.

[10] Letcher T. M. (2020). *Future Energy*. South Africa, University of Kwazulu.

[11] Özgen S., Arsoy Z., Ersoy B., Çiftçi H. (2019). Coal recovery from coal washing plant tailings with Knelson concentrator. *International journal of coal preparation and utilization* 1-11.

[12] Robl T., Oberlink A., Jones R. (2017). *Coal combustion products (CCP's) characteristics, utilization and beneficiation*.

[13] Chen B., Yang S., Cao Q., Qian Y. (2020). Life cycle economic assessment of coal chemical wastewater treatment facing the 'Zero liquid discharge' industrial water policies in China: Discharge or reuse? *Energy Policy*, 137.

[14] Gu A., Sun L. (2017). Actual influence cost estimation of water resources in coal mining and utilization in China. *Energy Procedia*, 142, 2454-2460.

[15] Zhang X., Dong Y., Zhao J., Gong B., Lin J. (2021). Combined treatments of underground coal slurry: laboratory testing and field application. *Water*, 13.

[16] Sivakumar M., Ramezani pour M., O'Halloran G. (2013). Mine water treatment using a vacuum membrane distillation system. *APCBEE Procedia*, 5, 157-162.

[17] Topaloğlu A. K., İnce M., Kajama M. N. (2019). The use of nf and ro membrane system for reclamation and recycling of wastewaters generated from a hard coal mining. *Nigerian Journal of Technology*, 38(4). doi: 10.4314/njt.v38i4.30.

[18] Galloux J., Chekli L., Phuntsho S., Tijing L. D., Jeong S., Zhao Y. X., Gao B. Y., Park S. H., Shon H. K. (2015). Coagulation performance and floc characteristics of polytitanium tetrachloride and titanium tetrachloride compared with ferric chloride for coal mining wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 152(25), 94-100.

[19] Song H., Xu J., Fang J., Cao Z., Yang L., Li T. (2020). Potential for mine water disposal in coal seam goaf: investigation of storage coefficients in the shendong mining area. *Journal of Cleaner Production*, 244.

[20] Jilang C., Zhao D., Chen X., Zheng L., Li C., Ren M. (2022). Distribution, source and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in groundwater in a coal mining area, China. *Ecological Indicators*, 136.

[21] T.C. Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (CSB). (2020). Kütahya ili 2019 yılı çevre durum raporu.

- [22] Mason T. J., Krogh M., Popovic G. C., Glamore W., Keith D. A. (2021). Persistent effects of underground longwall coal mining on freshwater wetland hydrology. *Science of the Total Environment*, 772.
- [23] Ghosh G. K., Sivakumar C. (2018). Application of underground microseismic monitoring for ground failure and secure longwall coal mining operation: A case study in an Indian mine. *Journal of Applied Geophysics*, 150, 21-39.
- [24] Sayıt A. P., Yazıcıgil H. (2018). Uzun ayak kömür madenciliğinin yeraltısuyu akım sistemine etkileri. 71. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*.
- [25] Arya S., Spttile J., Novak T. (2018). Development of a flooded-bed scrubber for removing coal dust at a longwall mining section. *Safety Science* 110, 204.213.
- [26] Mien T. (2012). Mine waste water management and treatment in coal mines in Vietnam. *Geosystem Engineering*, 15(1), 66-70. doi: 10.1080/12269328.2012.674430.



# Anod Çamurundaki Bakırın H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Çözeltilerinde Çözündürülmesi Esnasında Nikelin Davranışı

Bünyamin Dönmez<sup>1\*\*</sup>, Cafer Çelik<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID:0000-0002-7680-0755), [bdonmez@atauni.edu.tr](mailto:bdonmez@atauni.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID:0000-0002-7025-2647), [ccecelik@atauni.edu.tr](mailto:ccecelik@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082920)

**ATIF/REFERENCE:** Dönmez, B. & Çelik, C. (2022). Anod Çamurundaki Altının Sulu Ortamda Klorinasyonu Esnasında Çinko Liçinginin Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 469-473.

## Öz

Bu çalışmanın amacı, Taguchi yöntemi ile ham anod çamurundaki bakırın oksijenli/oksijensiz ortamında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilerinde liç edilmesi esnasında nikelin liçingi ve optimizasyonunu incelemektir. Sonuçların değerlendirilmesinde Taguchi deneysel tasarımı kullanılmış olup deney planı olarak L<sup>18</sup>(2<sup>1</sup>\*3<sup>7</sup>) ortogonal dizisi belirlenmiştir. Son zamanlarda sıkça kullanılmakta olan Taguchi yönteminin geleneksel deneysel tasarım yöntemlerine göre bazı önemli avantajları vardır. Ön denemeler ışığı altında; reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, kavurma sıcaklığı, asit konsantrasyonu gibi bir takım parametreler seçilmiştir. Nikelin liçingine yönelik belirlenen parametreler ve optimum şartları şöyledir: pedal sayısı 2, reaksiyon sıcaklığı 70 °C, O<sub>2</sub> debisi 5,03×10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, karıştırma hızı 450 dak<sup>-1</sup>, asit konsantrasyonu % 10,86 (w/w), katı-sıvı oranı 0,20 g.mL<sup>-1</sup>, reaksiyon süresi 3600 s ve kavurma sıcaklığı 600 °C. Deneysel sonuçlar, optimum liç koşulları altında nikel ekstraksiyonunun % 80,0 olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır Giderilmiş Anod Çamuru, Sülfürik Asit, Nikel Liçingi, Taguchi Deneysel Tasarımı, Optimizasyon

## Behavior of Nickel During Dissolution of Copper in Anode Slime in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solutions

### Abstract

The aim of this study is to investigate the leaching and optimization of nickel during the leaching of copper in the raw anode slie in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions in an oxygenated/oxygen-free medium with the Taguchi method. Taguchi experimental design was used in the evaluation of the results and the L<sup>18</sup>(2<sup>1</sup>\*3<sup>7</sup>) orthogonal array was determined as the experimental plan. The Taguchi method, which has been used frequently recently, has some important advantages over traditional experimental design methods. Under the light of preliminary tests; Some parameters such as reaction temperature, stirring speed, roasting temperature, acid concentration were selected. The parameters and optimum conditions for nickel leaching are as follows: number of pedals 2, reaction temperature 70 °C, O<sub>2</sub> flow rate 5.03×10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, stirring speed 450 min<sup>-1</sup>, acid concentration 10.86 % (w/w), solid-liquid ratio 0.20 g.mL<sup>-1</sup>, reaction time 3600 s and roasting temperature 600 °C. Experimental results showed that nickel extraction was 80.0 % under optimum leaching conditions.

**Keywords:** Decopperized anode slime, Sulfuric Acid, Nickel Leaching, Taguchi Experimental Design, Optimization.

\* Sorumlu Yazar : [bdonmez@atauni.edu.tr](mailto:bdonmez@atauni.edu.tr)



## 1. Giriş

Cu, Pb, Sn ve Zn' nun elektrolit edilmelerinden kaynaklanan anod çamurları Au, Ag, Se ve platin grubu gibi değerli metalleri içermektedir. Yani, ekonomik değere sahip bazı kıymetli metallerin ana kaynaklarından birisi de bu rafineri atıklarıdır. Bakırın elektrolitasyonu prosesinde, çözünmemiş metaller, oksitler ve diğer bileşikler elektrolitik hücrelerin tabanında birikerek anod çamurunu oluşturur.

Anod çamurlarının önemi, içerdikleri asil metallerin cinsi ile belirlenir, ancak bazı durumlarda Ni, Se, Zn ve diğer safsızlıkların katkıları da önemli olabilmektedir. Bu nedenle, bu metallerin birincil ve ikincil kaynaklardan geri kazanılması için yapılan araştırmalar bu ilgiyi artırmıştır (Amer, 2003; Ding vd. 2019). Bakır rafinerisi anod çamurlarının işlenmesinde genellikle hidrometalürjik prosesler tercih edilmiş ve bu amaca yönelik birçok araştırma ve bazı patent çalışmaları da yapılmıştır (Baboudjian vd. 1992; Tan ve Bedard 1989; Topçu vd. 2021).

Zenginleştirilmiş atıkların liç edilmesi, değerli metal ve bileşiklerin geri kazanımı için önemli bir yöntemdir. Anod çamurlarından hidrometalürjik yöntemlerle kıymetli metal ve bileşiklerin kazanımında genellikle oksidatif liç, asit liçi, basınç altında liç, mikrodalga ve ultrason destekli asit liçi ve vakum altında liç gibi metotlar kullanılmaktadır Tokkan vd. 2013; Yang vd. 2018; Qiu vd. 2012; Seisko vd. 2017; Wang vd. 2017; Li vd. 2017; Guo vd. 2018; Ruşen ve Topçu, 2018). Box-Behnken tasarımı, proses parametrelerinin etkilerini değerlendirmek ve bakır eritme çürüfündeki Zn ve kurşun Pb'un geri kazanımına yönelik bir klorlamalı-kavurma prosesini optimize etmek için kullanılmıştır (Zhang vd. 2021). Prosesin termodinamik analizinin de yapıldığı bu çalışmada, Zn ve Pb için geri kazanım verimlerinin sırasıyla % 87.85 ve % 99.26 olduğu gözlemlenmiştir. Optimum şartlar ise; CaCl<sub>2</sub> miktarı % 30 (w/w), kavurma sıcaklığı 1172 °C ve kavurma süresi 100 dakika olarak belirlenmiştir.

Üstün oksidasyon kapasitesine sahip olan ozon eşliğinde, anod çamurundaki bakırın liç davranışı farklı koşullar altında incelenmiş ve oksijen ortamına göre karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, optimum liç koşulları şöyledir: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 150 g/L, sıcaklık 25 °C, ozon akış hızı 200 L/h, süre 100 dakika, katı/sıvı oranı 3:1 ve karıştırma hızı 500 rpm (Liu vd. 2018).

Taguchi yöntemi, optimizasyon yöntemi olarak son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır Bu yöntemin geleneksel deneysel tasarım yöntemlerine göre bazı önemli avantajları vardır. Bunlardan biri, deneysel maliyeti minimum seviyede tutmasının yanı sıra, performansı hedef değere getirirken hedef etrafındaki değişkenliği en aza indirmesidir. Bir diğer avantajı ise, laboratuvar çalışmalarından elde edilen optimum çalışma koşullarının gerçek üretim ortamına da uygulanabilmesidir.

Taguchi yönteminin kimya mühendisliği, inşaat, polimer ve makine gibi farklı uygulama alanları vardır (Yakut vd. 2006; Gündoğdu vd. 2021; Ruşen vd. 2017). Taguchi yöntemi ile, oksijenli/oksijensiz ortamda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilerinde ham anod çamurundaki bakırın liçingi üzerine yapılan araştırmada, optimum çalışma koşulları şu şekilde belirlenmiştir: O<sub>2</sub> debisi 1,24×10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, reaksiyon sıcaklığı 70 °C, pedal sayısı 1, karıştırma hızı 450 dak<sup>-1</sup>, katı/sıvı oranı 0,125 gmL<sup>-1</sup>, asit konsantrasyonu % 5.43, kavurma sıcaklığı 300 °C, ve reaksiyon süresi 3600 s (Dönmez vd. 1999). Bir diğer çalışma ise, bakırı giderilmiş anod çamurundaki altının sulu ortamda klorlanması optimizasyonudur. Altın liçinginin % 99 olduğu optimum koşullar; reaksiyon sıcaklığı 60°C, reaksiyon süresi 4500 s, karıştırma hızı 600 dk<sup>-1</sup> ve katı-sıvı oranı 0.1 g.mL<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Dönmez\* vd. 1999).

Bu çalışmanın amacı, Taguchi yöntemi ile anod çamurundaki bakırın oksijenli/oksijensiz ortamında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilerinde liç edilmesi esnasında nikelin liçingi ve optimizasyonunu incelemektir.

## 2. Materyal ve Yöntemler

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar

Sarkuysan Bakır Sanayi'nden temin edilen ham anod çamuru bakırı giderilmiş anod çamuru laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Homojen bir şekilde harmanlanmış ve numunenin kimyasal analizi volumetrik, gravimetrik ve atomik absorpsiyon yöntemi (AAS) ile tayin edilmiştir (Tablo 1). Ham anod çamurundaki nikelin liçinginde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri kullanılmıştır.

Tablo 1 Ham anod çamurunun kimyasal bileşimi

Bileşen	Bileşim (%w/w)
Cu	14,44
Pb	22,70
Ag	1,42
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,41
Sn	10,77
Sb	16,97
Ni	0,105
Diğer	15,18

### 2.2. Deneysel için Kullanılan Materyaller

O<sub>2</sub> tüpü, flowmetre, mekanik karıştırıcı, 1000 mL'lik cam reaktör, gaz dağıtıcı, sabit sıcaklık sirkülatorü.

### 2.3. Deneysel Sistem

Çalışmanın öncelikli amacı, anod çamurundaki bakırın çözüldürülmesi idi. Liçing denemeleri sonunda bakır içeren çözeltilerde Ni tayini yapılmıştır. Bu amaçla liç deneyleri, bir sabit sıcaklık sirkülatorü ile donatılmış, kontrol edilebilen su banyosuna daldırılmış 1000 mL kapasiteli küresel bir cam reaktörde gerçekleştirilmiştir (Dönmez vd. 1999). Reaksiyon kabına 500 mL sülfürik asit konularak gerekli sıcaklığa ayarlandı ve O<sub>2</sub> gazı ile çözelti doyuruldu. Daha sonra mekanik karıştırıcı ortamda reaktöre belli bir miktar anod çamuru eklendi. Reaksiyon süresi sonunda, karışım süzülür ve çözelti deiyonize su ile seyreltilir. Seyreltilmiş liç çözeltisindeki Ni içeriği AAS ile tayin edildi.

### 2.4. Parametreler ve Optimum Şartların Belirlenmesi

Çalışma için seçilen deneysel parametreler ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2** Deneylerde incelenen parametreler ve seviyeleri

	Parametre	Seviye		
		1	2	3
A	Pedal sayısı	1	2	
B	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	20	50	70
C	O <sub>2</sub> debisi (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0	1,24	5,03
D	Karıştırma hızı (dak <sup>-1</sup> )	300	450	600
E	Asit kons. % (w/w)	5,43	10,86	16,29
F	Katı/sıvı oranı (g.mL <sup>-1</sup> )	0,125	0,20	0,333
G	Reaksiyon süresi (s)	1800	3600	7200
H	Kavurma sıcaklığı (°C)	20	300	600

Çalışmada biri iki seviyeli, yedisi üç seviyeli olmak üzere sekiz parametre inceleneceğinden, deney planı olarak L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>\*3<sup>7</sup>) ortogonal dizisi seçilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3** Seçilen L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>\*3<sup>7</sup>) deney planı

Deney no	Parametreler ve seviyeleri							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

Laboratuvar ortamının sıcaklığı ve nemi gibi bozucu faktörlerin liç prosesi üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek için her deney, aynı koşullar altında farklı zamanlarda üçer kez tekrarlanmıştır. Optimizasyon kriteri olarak daha büyük daha iyi performans istatistiği seçilmiştir. Maksimum çözünürlük durumuna uygun performans istatistiği aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Kaçkar, 1985):

$$Z_B = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

Burada n, bir deneysel kombinasyon için yapılan tekrar sayısı ve Y<sub>i</sub>, i. deneyin performans (çözünürlük) değeridir. Taguchi yönteminde, optimum çalışma koşullarına karşı gelen deney çalışma sırasında yapılmamış olabilir. Bu gibi durumlarda, optimum çalışma koşullarına karşı gelen performans değeri, aşağıda verilen toplamsal model yardımı ile tahmin edilebilir (Phadke ve Kackar, 1983):

$$Y_i = \mu + X_i + e_i \quad (2)$$

Burada μ, performans değerinin genel ortalamasıdır, X<sub>i</sub>, i. deneyde kullanılan parametre-seviye kombinasyonunun sabit etkisi ve e<sub>i</sub>, i. deneydeki rassal hatayı temsil eder. Eşitlik (2) deneysel veriler kullanılarak hesaplanan bir nokta tahmini olduğundan, bu değer anlamlı olup olmadığını belirlemek için güven aralığı hesaplanmalıdır. Seçilen hata seviyesindeki güven aralığı (3) nolu eşitlik yardımı ile hesaplanabilir (Ross, 1988):

$$Y_i \pm \sqrt{F_{\alpha;1,DF_{MSe}} MS_e \left( \frac{1+m}{N} + \frac{1}{n_i} \right)} \quad (3)$$

Denklemden F, tablo değeri, α hata seviyesi, DF<sub>MSe</sub> hata kareler ortalamasını serbestlik derecesi toplamı, m optimum çalışma koşullarında elde edilecek liç değerinin (Y<sub>i</sub>) tahmininde kullanılan parametrelerin serbestlik derecesi toplamı, N toplam deney sayısı ve n<sub>i</sub> doğrulama deneylerindeki tekrar sayısıdır. Deney sonuçları yüzde (%) olarak ifade ediliyorsa, eşitlik (2) ve (3), hesaplanmadan önce aşağıdaki denklem yardımıyla yüzdelik değerlerin omega dönüşümü yapılır. Daha sonra ilgililenen değerler aynı denklem kullanılarak ters dönüşüm yapılarak belirlenir (Taguchi, 1987).

$$\Omega(db) = -10 \log \left( \frac{1}{P} - 1 \right) \quad (4)$$

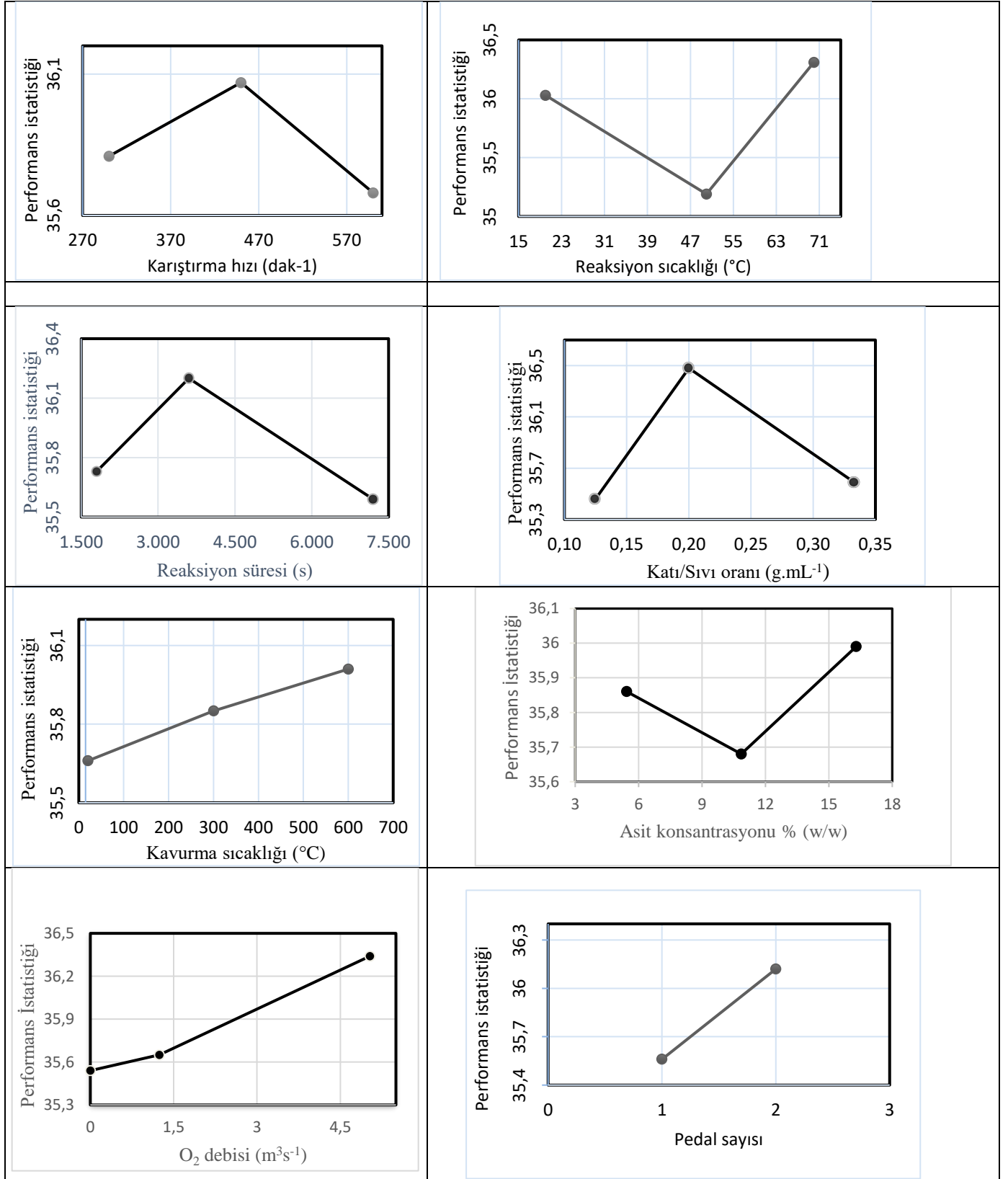
Bu denklemden Ω(db), yüzdelik değer omega dönüşümü ile bulunan desibel değeri ve P, deneysel olarak elde edilen ürünün yüzdelik değerini göstermektedir.

Parametreler, deney planı olarak seçilen L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>\*3<sup>7</sup>) ortogonal dizisinin sütunlarına yerleştirilerek deney sırası elde edilmiştir. Başlangıçta öngörülemez bozucu faktörlere karşı korunabilmek için deneyler rastgele sırada yapılmıştır. Ön çalışmalar ışığında, bileşik etkilerin ihmal edilebileceği belirlendiği için deney planına bileşik etkiler dahil edilmemiştir

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Optimum çalışma koşullarının belirlenmesi

Deneyler ve ölçümler yapıldıktan sonra toplanan veriler MINITAB paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Parametrelerin optimizasyon kriteri (performans istatistiği) üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 Parametrelerin optimizasyon kriteri üzerine olan etkileri

#### 4. Sonuç

Bu çalışma, ham anod çamurundan bakırın çözündürülmesi esnasında nikelin liçingini ve optimizasyonunu içermektedir. Araştırmada kullanılan anod çamurundaki nikel miktarı 2750 ppm dir. Nikelin O<sub>2</sub>'li/O<sub>2</sub>'siz ortamda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilerine çözündürülmesine yönelik optimum koşullar Taguchi yöntemi ile

belirlenmiştir. Bu değerlendirmelerden, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Şekil 1'den, liçing üzerinde en etkili parametrelerin sırası ile reaksiyon süresi, katı-sıvı oranı ve reaksiyon sıcaklığı olduğu görülmektedir.
- Bakırın optimizasyonunda en etkin parametreler sırasıyla reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi iken, nikel için

bunların reaksiyon süresi ve katı-sıvı oranı olduğu belirlenmiştir.

- Çözünürlüğün, artan reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı ve azalan katı-sıvı oranı ile artmakta olduğu, fakat karıştırma hızı ile pek fazla değişmediği gözlenmiştir.
- Optimum liç koşulları altında, ham anod çamurundaki nikelin çözünme %' si 80,0 olarak hesaplanmıştır. Anod çamurundaki bakırın % 99,67'sinin çözüldüğü optimal liç koşulları altında, nikelin çözünme %' si ise 64,7 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, çözeltilde bir miktar Pb, Ag, Sb, Cu ve Sn gibi katyonların bulunduğu da tespit edilmiştir.
- Taguchi yöntemi ile laboratuvar ortamında belirlenen optimum koşullar gerçek üretim ortamlarında da tekrarlanabilir olduğundan, mevcut laboratuvar ölçekli çalışmanın bulguları endüstriyel ölçekte anot çamurunun işlenmesi için çok faydalı olabilir.

## Kaynakça

- Amer, A. M., (2003). "Processing of copper anodic-slimes for extraction of valuable metals." *Waste Management*, 23, 763–770.
- Baboudjian, V. P., Morrison, B. H. and Stafiej, J S., (1992). "Treatment of high nickel slimes," U.S. Patent 5 108 721, Apr. 28,
- Ding, Y., Zhang, S., Liu, B., Zheng, H., Chang, C. C., and Ekberg, C., (2019). "Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review," *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 284-298.
- Dönmez, B., Çelik, C., Çolak, S., and Yartaşı, A., (1998). "Dissolution optimization of copper from anode slime in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 37, 3382-3387.
- Dönmez\*, B., Ekinçi, Z., Celik, C., and Çolak, S., (1999). "Optimisation of the chlorination of gold in decopperized anode slime in aqueous medium", *Hydrometallurgy*, 52, 81-90.
- Guo, X., Xu, Z., Tian, Q., and Li, D., (2017). "Optimization on Selenium and Arsenic Conversion from Copper Anode Slime by Low-Temperature Alkali Fusion Process", *J Cent South Univ*, 24, 1537–1543.
- Gündoğdu, C. C., Gündüz, T. and Atıcı U. H., (2021). "Taguchi Yöntemi İle Polimer Hammadde Karışım Optimizasyonu. Journal of Industrial Engineering", *Journal of Industrial Engineering*, 32, 164-176.
- Li, X., Yang, H., Jin, Z., Tong, L. and Xiao, F., (2017). "Selenium Leaching from Copper Anode Slimes Using a Nitric Acid–Sulfuric Acid Mixture", *Metallurgist*, 61, 348–356.
- Liu, J., Wang, S., Liu, C., Zhang, L., and Kong, D., (2021). "Decopperization mechanism of copper anode slime enhanced by ozone", *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 531-541.
- Kackar, R.N., (1985). Off-line quality control, parameter design and Taguchi methods, *Journal of Quality Technology*.
- Phadke, M.S., Kackar, R.N., Speeney, D.V. and Grieco, M.J. (1983). "Off-line quality control in integrated circuit fabrication using experimental design", *The Bell System Technical J.*, 62, 1273-1309.
- Qiu, K., Lin, D. and Yang, X., (2012). "Vacuum evaporation technology for treating antimony-rich anode slime.", *JOM*, 64, 1321–1325.
- Ross, P.J. (1988). Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, New York.
- Rüşen, A. and Topcu, M. A., (2017). "Optimization of Gold Recovery from Copper Anode Slime by Acidic Ionic Liquid", *Korean J Chem. Eng.*, 34, 2958–2965.
- Rüşen, A. and Topcu, M. A., (2018). "Investigation of an Alternative Chemical Agent to Recover Valuable Metals from Anode Slime" *Chem Pap*, 72, 2879–2891.
- Seisko, S, Aromaa, J., Latostenmaa, P., Forsen, O. and Lundstrom, M. (2017). "Effect of process variables on oxidative pressurized acid leaching of copper electrorefining anode slimes", *Physicochem Probl Min Pr*, 53, 465-474.
- Taguchi, G., (1987). System of Experimental Design, *Quality Resources*, New York.
- Tan, K. G. and Bedard, P. L. (1989). "Ammonia leach process for the treatment of copper refinery anode slimes containing high lead and low nickel", *Canadian Metallurgical Quarterly*, 28, 199-210.
- Tokkan, D., Kuşlu, S., Çalban, T. and Çolak, S., (2013). "Optimization of Silver Removal from Anode Slime by Microwave Irradiation in Ammonium Thiosulfate Solutions", *Ind Eng Chem Res*, 52, 9719–9725.
- Topçu, M. A., Kalem, V. and Rüşen, A., (2021). "Processing of anode slime with deep eutectic solvents as a green leachant", *Hydrometallurgy*, 205, 105732.
- Wang, S., Cui, W., Zhang, G., Zhang, L. and Peng, J., (2017). "Ultrafast Ultrasound-Assisted Decopperization from Copper Anode Slime", *Ultrason Sonochem*, 36, 20–26.
- Yakut, K., Alemdaroglu, N., Kotcioglu, I. and Celik, C., (2006). "Experimental investigation of thermal resistance of a heat sink with hexagonal fins", *Applied Thermal Engineering*, 26(17-18), 2262-2271.
- Yang, H., Li, X., Tong, L., Jin, Z., Yin, L. and Chen, G., (2018). "Leaching Kinetics of Selenium from Copper Anode Slimes by Nitric Acid Sulfuric Acid mixture", *Trans Nonferrous Met Soc China*, 28, 186–192.
- Zhang, B. K., Guo, X. Y., Wang, Q. M. and Tian, Q. H., (2021). "Thermodynamic analysis and process optimization of zinc and lead recovery from copper smelting slag with chlorination roasting", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31, 3905-3917. [25] G. Taguchi, *System of Experimental Design*, Quality Resources, New York, 1987.



# A Comparative Analytical Investigation on the Effects of Different P-Y Curves for a Laterally Loaded Single Pile Design in Saturated Sandy Soil

Fatih Çelik<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Niğde, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9031-1272), [fatihcelik@ohu.edu.tr](mailto:fatihcelik@ohu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082906)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, F. (2022). A Comparative Analytical Investigation on the Effects of Different P-Y Curves for a Laterally Loaded Single Pile Design in Saturated Sandy Soil. *European Journal of Science and Technology*, (34), 474-478.

## Abstract

The correct definition of p-y curves is important for the accuracy of the behavior of horizontally loaded piles, especially in liquefiable water-saturated loose sandy soils with high liquefaction potential. Within the scope of this study, p-y curves of a single pile placed in a saturated loose sandy soil were prepared with the approaches generally accepted in the literature, and the effects of the soil response depending on these curves on the pile design parameters were examined comparatively. In this study, these curves drawn according to API sand, Reese sand and Liquefied sand at different depths of the pile. This behavior difference in the p-y curves significantly affected the displacements, bending moments, shear forces and ultimate lateral resistance values that occur in the laterally loaded pile. Lateral deflections, bending moments, shear force and lateral load carrying capacity of the pile, which are important outputs used in the design of the piles, should be designed with considering the differences in the p-y curves.

**Keywords:** P-y curves, Laterally loaded pile, Saturated sand, liquefied sand model, ultimate lateral resistance

## Doymuş Kumlu Zeminde Yanal Yüklü Tek Kazık Tasarımı İçin Farklı P-Y Eğrilerinin Etkilerinin Karşılaştırmalı Analitik Olarak İncelenmesi

### Öz

P-y eğrilerinin doğru tanımlanması, özellikle sıvılaştırma potansiyeli yüksek, sıvılaştırılabilir suya doymuş gevşek kumlu zeminlerde, yatay yüklü kazıkların davranışının doğruluğu için önemlidir. Bu çalışma kapsamında, literatürde genel kabul görmüş yaklaşımlarla, doymuş gevşek kumlu zemine yerleştirilmiş tekil bir kazık için p-y eğrileri hazırlanmış ve bu eğrilere bağlı zemin tepkisinin kazık tasarım parametreleri üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, bu eğriler kazıkların farklı derinliklerinde API kumu, Reese kumu ve Sıvılaştırılmış kuma göre çizilen eğrilerle temsil edilmiştir. P-y eğrilerindeki bu davranış farkı, yanal yüklü kazıkta oluşan yer değiştirmeleri, eğilme momentlerini, kesme kuvvetlerini ve nihai yanal direnç değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Kazıkların tasarımında kullanılan önemli çıktılar olan yanal schimler, eğilme momentleri, kesme kuvveti ve yanal yük taşıma kapasitesi p-y eğrilerindeki farklılıklar dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** P-y eğrileri, Yanal yüklenmiş kazık, Doymuş kum, Sıvılaştırılmış kum modeli, Yanal yük taşıma kapasitesi

\* Corresponding Author: [fatihcelik@ohu.edu.tr](mailto:fatihcelik@ohu.edu.tr)

# 1. Introduction

The pile-soil interaction is generally defined by a Winkler model where the pile is modelled as a beam supported by springs. P-y curves are used as a common method for the analysis of laterally loaded piles. The response of the soil is usually represented by the springs and the spring stiffnesses are defined by p-y curves which reflect the non-linear behavior between soil response and lateral displacement of the pile. With p-y curves, the pile is modeled as Euler-Bernoulli beam, and the soil resistance to lateral translation of the piles is modeled with the aid of independent springs along the depth.

As commonly known, p-y curves are accepted as the most used technic to determine the resistance of any soil to the pile under lateral loading [1-6]. Many p-y curves have been developed by the researchers for clayey soils [3, 5, 7] and for sandy soils [3, 4, 8]. Therefore, different researchers and agencies (such as API) proposed different methods for p-y analysis of piles in sands.

P-y curves usually account for different soil conditions with non-linear springs in which the soil response is based on the pile lateral displacement by means of non-linear p-y curves. Yet the p-y curves are accepted as essentially reflect the real site conditions and usually in close agreement with the lateral load tests [9-10].

The main triggering mechanism of lateral movement is liquefaction, which is the major reason of softening of the soil. Many researchers [11] suggested that the true nonlinear response of liquefiable soils undergoing lateral movement is so confusing and difficult to model correctly. In lateral movement, the lateral force applied to the pile by soil response is defined as a function of relative displacement between the soil and pile. For this reason, the correct definition of p-y curves is important for the accuracy of the behavior of horizontally loaded piles, especially in liquefiable water-saturated loose sandy soils with high liquefaction potential. Therefore, within the scope of this study, p-y curves of a single pile placed in a saturated loose sandy soil were prepared with the approaches generally accepted in the literature, and the effects of the soil response depending on these curves on the pile design parameters were examined comparatively.

# 2. Material and Method

## 2.1. The Soil Profile and Modelling of the Pile

Soil profile and pile type were kept constant in all analyses to compare the effects of different p-y curves on the design parameters on a horizontally loaded single pile for this study. In this context, a loose sandy ground completely saturated with water with liquefaction potential was evaluated. The average internal friction angle of the soil along the entire layer was determined as 30o and the average saturated unit weight was determined as 16 kN/m3. The screen view of the soil profile is shown in Fig. 1.

All mechanical parameters of the single pile examined in all analyses are shown in Table 1. In addition, the static axial force, shear force and clockwise moment values applied to the single pile at the pile cap, being constant in all analyses, are 1000 kN, 250 kN and 100 kN.m, respectively as shown in Fig. 1.

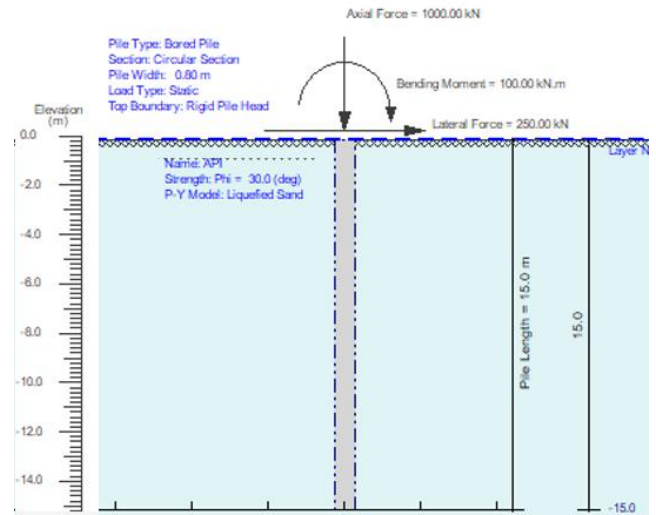


Fig. 1 Soil profile and designed pile for this study

Table 1. Design of pile parameters

Pile Parameters	Values
Pile Type	Bored Pile / Drilled Shaft
Section Type	Circular Section
Pile Diameter (m)	0.800
Pile Segment Length (m)	15.000
Gross Section Area (m <sup>2</sup> )	0.503
Section Perimeter (m)	2.513
Moment of Inertia (m <sup>4</sup> )	0.02010619
Pile Material Stiffness, E (kPa)	35000000
Pile Batter (Degree)	0.00
Ground Surface Angle (Degree)	0.00
Pile Top Boundary	Free Pile Head
Bending Stiffness Option	User-defined Elastic Bending
Bending Stiffness (kN.m <sup>2</sup> )	3562566.64

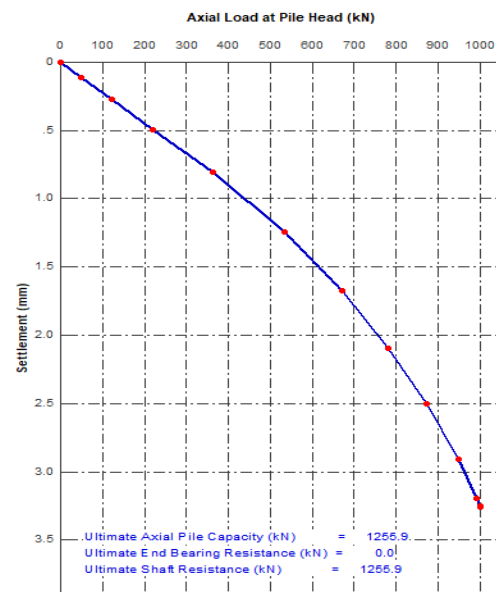


Fig. 2 Pile axial load vs settlement curve and axial load capacity of the pile

Pile axial load versus settlement curve drawn by using PileLAT software program is shown in Fig. 2. The pile axial load capacity was estimated as 1255,9 kN according to this curve and it has been seen that the carrying capacity is sufficient according to the applied forces.

### 2.2. P-y Curve Models Used in The Study

Soil Three different p-y curve models were used in this analytical study. These curve models are API for sand [12], Reese for sand [4] and Liquefied model for sand [13-14].

### 2.3. PileLAT software program

PileLAT program was used in all analyses conducted within the scope of this study. PileLAT is a finite-element based program that analyses the behaviour of single piles mainly under lateral loading based on p-y curves for various soils and rocks. It is a useful tool for pile design and analysis by both structural and geotechnical engineers [15].

## 3. Results and Discussion

P-y P-y curves drawn according to API sand [12], Reese sand [4] and Liquefied sand [13-14] at different depths of the pile are shown in Figs. 3-5. As can be clearly seen from these figures, the use of different models in the drawing of p-y curves causes the curves to be obtained differently. Of course, these differences will also lead to significant differences in the design of lateral loaded individual piles. Bending moments, shear diagrams and lateral load carrying capacity of the pile, which are important outputs used in the design of the piles, will be seriously affected by the differences in the p-y curves. It is important to define the p-y curves correctly in saturated loose sand soils with high liquefaction potential. Therefore, in this study, the effects of different p-y curves, which are widely used in the literature, on the design of lateral loaded single piles were investigated. Especially on sandy soils with high liquefaction potential, this effect was investigated and presented in the findings. liquefaction potential. Therefore, in this study, the effects of different p-y curves, which are widely used in the literature, on the design of lateral loaded single piles were investigated. Especially on sandy soils with high liquefaction potential, this effect was investigated and presented in the findings.

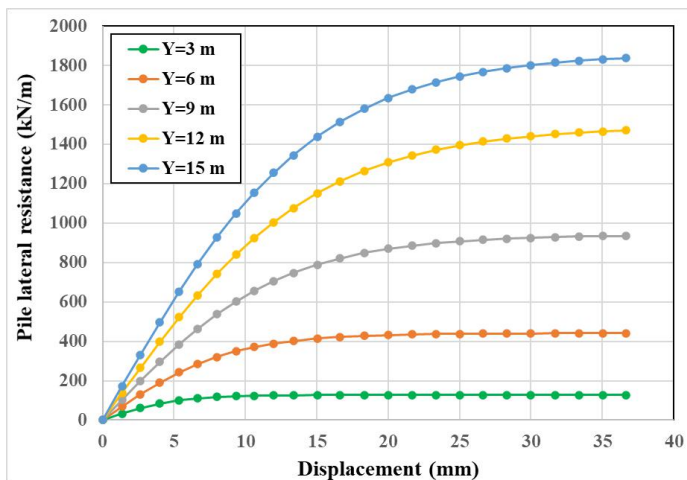


Fig. 3 P-y curves for API sand [12] at different depths of the pile

When these three different p-y curves are compared, it is seen that especially the Liquefied sand model [13-14] is very different from the curves proposed by API sand [12] and Reese

sand [4]. When the Liquefied sand model is compared to these other two models, the reactions of the ground against the pile are different. While the resistance of the ground is much lower than the other two models, the lateral displacements are seen to be very high.

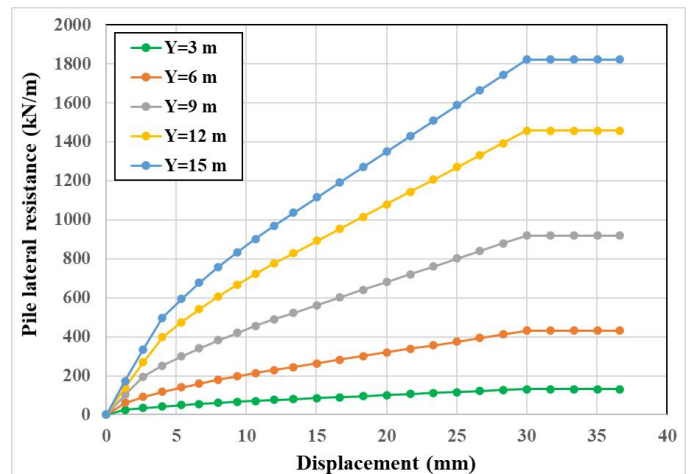


Fig. 4 P-y curves for Reese sand [4] at different depths of the pile

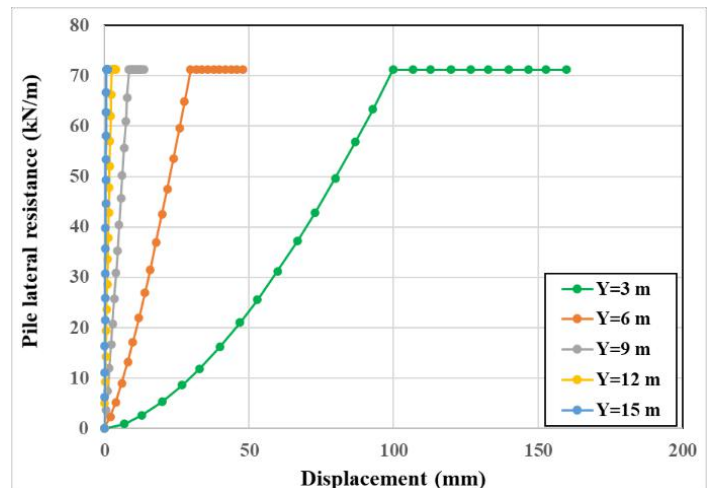


Fig. 5 P-y curves for Liquefied sand [13-14] at different depths of the pile

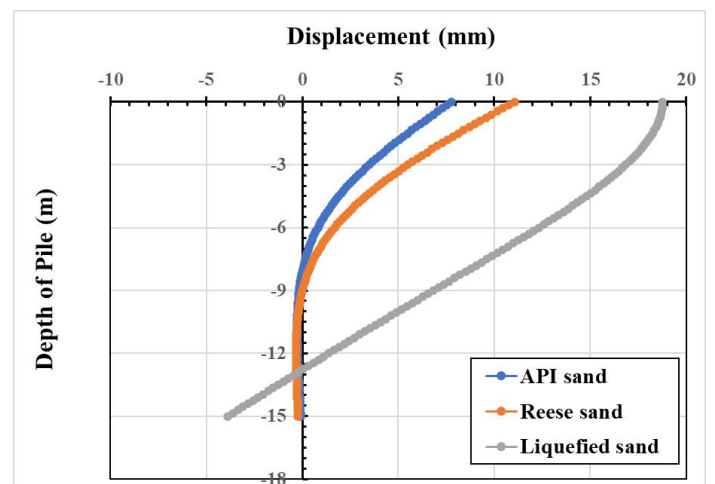


Fig. 6 Lateral deflection with respect to depth of the pile for all p-y curves

Lateral deflection with respect to depth of the pile for all p-y curves are presented in Fig. 6. According to this figure, as

expected, maximum deflections were obtained in the pile cap. The maximum lateral deflections at the pile cap for API sand, Reese sand and Liquefied sand models are 8 mm, 11 mm and 19 mm, respectively. On the other hand, for API sand and Reese sand models, lateral deflections at the pile base level did not occur, while for liquefied sand model this value was calculated as -4 mm. As it is clearly seen from Fig. 6, the lowest deflections are calculated for the API sand model, while the highest deflections are calculated for the Liquefied sand model.

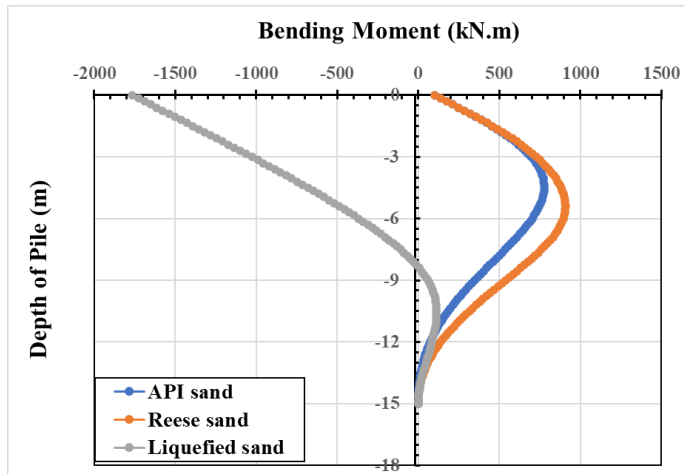


Fig. 7 Bending moment with respect to depth of the pile for all p-y curves

Bending moment with respect to depth of the pile for all p-y curves are presented in Fig. 7. According to this figure, the largest bending moment value (-1800 kN.m) was achieved in the results obtained from the liquefied sand model at the pile cap. The maximum bending moment values for API sand and Reese sand models were achieved as 800 kN.m (at depth of 4 m.) and 900 kN.m (at depth of 5 m.), respectively. No bending moment occurred at the pile base for all p-y curve models. For the Liquefied sand model, negative bending moments were formed up to 8 meters deep, while positive bending moment values were formed after this depth. Moreover, the bending moment values for both API sand and Reese sand models were achieved as 100 kN.m at top of the pile head.

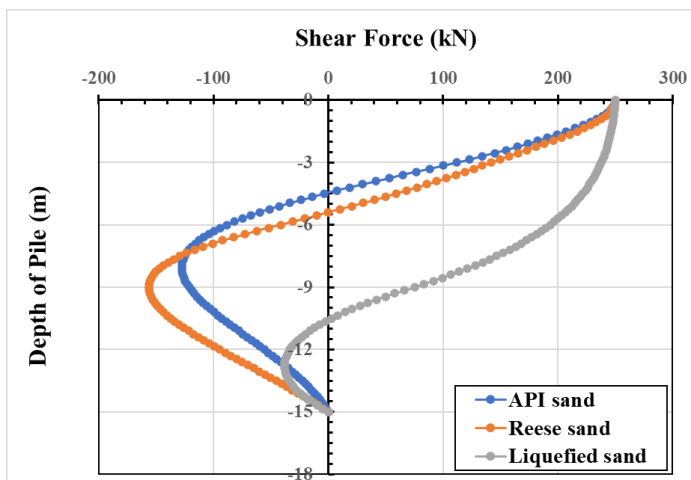


Fig. 8 Shear force with respect to depth of the pile for all p-y curves

Shear force with respect to depth of the pile for all p-y curves are presented in Fig. 8. According to this figure, the largest positive shear force value (250 kN) was achieved in the results

obtained from all p-y curve models at the pile cap. On the other hand, the largest negative shear force value (-160 kN) was achieved from Reese sand p-y curve model at the depth of 9 m. Moreover, the shear force for all p-y curve models was achieved as 0 kN at bottom of the pile.

Ultimate lateral resistance with respect to depth of the pile for all p-y curves are presented in Fig. 9. Ultimate lateral resistance value increased with depth depending on the increase in the stiffness of the ground according to this figure. Here, maximum value for ultimate lateral resistance for all p-y curve models reached at the pile base. Ultimate lateral resistance values at the pile base for API sand, Reese sand and Liquefied sand models are 1880 kN/m, 1800 kN/m and 100 kN/m, respectively (see Fig. 9). Ultimate lateral resistance with respect to depth of the pile for API sand and Reese sand models showed similar trend.

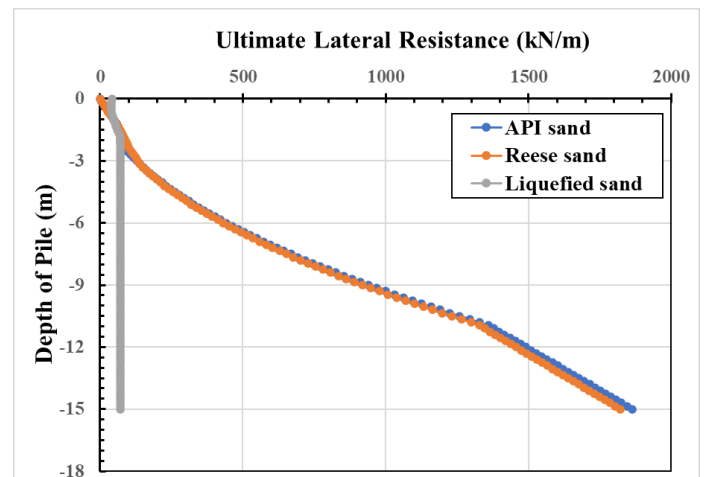


Fig. 9 Ultimate lateral resistance with respect to depth of the pile for all p-y curves

There are several techniques presented by the past research studies and agencies for p-y analysis of piles in sands. These methods differ mostly for drawing p-y curves. In this study, these curves drawn according to API sand [12], Reese sand [4] and Liquefied sand [13-14] at different depths of the pile are shown in Figs. 3-5. As it is clearly seen from these figures, although p-y curves obtained from API sand and Reese sand show similar trend, they have remarkable differences that differ from each other in terms of nonlinearity. However, p-y curves obtained from Liquefied sand model offered a completely different approach from these two approaches throughout the depth. This can be explained by the fact that the response of the liquefied sand model to the pile under the effect of lateral loading in liquefiable soils should be very low. Therefore, it is important to choose the correct approaches in the literature for drawing p-y curves in soils with liquefaction potential.

This behaviour difference in the p-y curves significantly affected the displacements, bending moments, shear forces and ultimate lateral resistance values that occur in the lateral loaded pile as shown in Figs. 6-9. As can be clearly seen in Fig. 6, although the horizontal deflections in API sand and Reese sand models are close to each other, these values in the Liquefied sand model are quite large compared to these two p-y curve models. Moreover, according to Fig. 7, although the bending moment diagrams in API sand and Reese sand models are similar to each other, these values in the Liquefied sand model are quite different compared to these two p-y curve models. Here, we can say that bending moment diagrams are directly related and compatible



with deflection curves. The fact that the deflection values of the liquefied model are quite high compared to the other two models causes the bending moment values of this model to be higher than these two models. According to Fig. 8, although the shear force diagrams in API sand and Reese sand models are close to each other, these values in the Liquefied sand model is different from these two p-y curve models. Due to the high horizontal deflection value in this model, the shear forces are also high. The shear force value being higher in the liquefied model has parallels with the behaviour of the p-y curves. Therefore, the effect of p-y curves on the design parameters of horizontally loaded single piles in saturated loose sandy soils is clearly demonstrated in this study. also, this effect is clearly seen on ultimate lateral resistance with respect to depth of the pile for all p-y curves, as can be clearly seen in Fig 9.

## 4. Conclusions and Recommendations

The conclusions that can be drawn from this study are given as below.

- The use of different models in the drawing of p-y curves causes the curves to be obtained differently. Of course, these differences also lead to significant differences in the design of lateral loaded individual piles in saturated sandy soils.
- Lateral deflections, bending moments, shear diagrams and lateral load carrying capacity of the pile, which are important outputs used in the design of the piles, were seriously affected by the differences in the p-y curves.
- It is important to choose the correct approaches in the literature for drawing p-y curves in soils with liquefaction potential.
- Although lateral deflections, bending moments, shear diagrams and lateral load carrying capacity in API sand and Reese sand models are similar to each other, these values in the Liquefied sand model are quite different compared to these two p-y curve models.

## References

- [1] Terzaghi K. Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. *Géotechnique*, vol. 5, pp. 297–326, 1955.
- [2] McClelland B and Focht JA. Soil modulus for laterally loaded piles. *Transact., ASCE*, vol. 123, pp. 1049–1086, 1958.
- [3] Matlock H. Correlation for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay. in *Proceedings of the 2nd Annual Offshore Technology Conference OTC*, Houston, TX, USA, pp. 577–594, 22–25 April 1970.
- [4] Reese LC, Cox WR and Koop FD. Analysis of laterally loaded piles in sand. in *Proceedings of the 6th Annual Offshore Technology Conference*, Houston, TX, USA, vol. 2, pp. 473–485, 6–8 May 1974.
- [5] Reese LC, Cox WR and Koop FD. Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay. in *Proceedings of the 7th Annual Offshore Technology Conference*, Houston, TX, USA, vol. 2, pp. 672–690, 5–8 May 1975.
- [6] Reese LC and Van Impe WF. *Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading*. A.A. Balkema: Rotterdam, The Netherlands, pp.463. 2014.
- [7] Dunnivant TW and O’Neill, MW. Performance Analysis and Interpretation of a lateral load Test of a 72-Inch-Diameter Bored Pile in Overconsolidated Clay. Report UHCE, University of Houston, 1985.
- [8] O’Neill M and Murchison J. *An Evaluation of P-Y Relationships in Sands*. University of Houston, 1983.
- [9] Duncan JM, Evans LT and Ooi PSK. Lateral load analysis of single piles and drilled shafts. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 120(6), pp. 1018–1033, 1994.
- [10] Ooi PSK, Chang BKF and Wang S. Simplified lateral load analyses of fixed head piles and pile groups. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130(11), pp. 1140–1151, 2004.
- [11] Cubrinovski M and Ishihara K. Simplified method for analysis of piles undergoing lateral spreading in liquefied soils. *Soils and Foundations*, vol. 44(5), pp. 119–133, 2004.
- [12] American Petroleum Institute (API). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*. API RP 2A-WSD, 21st Edition, Errata and Supplement, October 2007.
- [13] Rollins KM, Gerber TM, Lane JD and Ashford, SA. Lateral Resistance of a Full-Scale Pile Group in Liquefied Sand. *Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division, ASCE*, Vol. 131, pp. 115-125, 2005a.
- [14] Rollins KM, Hales LJ and Ashford SA. p-y Curves for Large Diameter Shafts in Liquefied Sands from Blast Liquefaction Tests. *Seismic Performance and Simulation of Pile Foundations in Liquefied and Laterally Spreading Ground*, *Geotechnical Special Publication ASCE*, vol. 145, pp. 351-376, 2005b.
- [15] User Manual for PileLAT. Design and analysis for single piles under lateral loading. Available: <https://www.pilegroups.com/pilelat>



# Broadband Low Reflection Surfaces with Silicon Nano-tube Square Arrays and Quantum Dot Layers

Turgut Tut<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Abdullah Gul University, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4589-201X), turgut.tut@agu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083320)

**ATIF/REFERENCE:** Tut, T. (2022). Broadband Low Reflection Surfaces with Silicon Nano-tube Square Arrays and Quantum Dot Layers. *European Journal of Science and Technology*, (34), 479-484.

## Abstract

In this study, we take as a starting nanostructure which is already optimized in terms of the silicon nanopillar arrays' structure pillar height, pillar diameter, and filling ratio such that the optical reflection from its surface is very low (weighted average reflection 3.75 percent). Full-field Finite Difference Time Domain method is used to simulate electric and magnetic fields and calculate the reflection from the modified nanostructured substrate surfaces in 400nm-1100nm spectral range. In this paper, we present the optimization of the structure in terms of the silicon nanotube structure cavity diameter, step coverage of the dielectric thin film. As a result, the weighted reflection is decreased to 3.35 percent. We also want to simulate the quantum dot solution layer deposited over the nanostructure. We modeled the quantum dots as Lorentz dielectric and decreased the optical reflection even lower level of 3.1 percent. Optimization recipe is clearly presented, and the developed method is not only useful for square arrays but also for regular arrays of nanopillars in general for photovoltaic devices.

**Keywords:** Silicon, Nanopillars, Low reflection, Solar energy.

## Geniş Bantta Düşük Yansıtımlı Kare Örgü Yapılı ve Kuantum Nokta Kaplı Silisyum Nanotüp Kaplı Yüzeyler

### Öz

Bu çalışmada daha önceki çalışmamızda optimize edilmiş boyutları başlangıç nanoçubuk yapının mimarisi olarak aldık. Nanositun yüksekliği, çapı, doldurma oranı özelliklerine göre optimize edilmiş ve ağırlıklı ortalama ile hesaplanmış yüzey yansıması yüzde 3.75'tir. Tam alanlı sonlu farklar zaman düzlemi metodu kullanılarak 400nm-1100nm spektrumda nanoyapılı yüzeylerden yansıyan ışığın elektrik ve manyetik alanları simüle edilmiştir. Bu makalede, nanoçubukların içindeki oyukların çapı ve kaplanan ince film dielektrik kaplamanın düzensiz kaplanmasının yüzeyden optik yansıma üzerindeki etkisinin sonuçları sunulmuştur. Bu iki parametrenin optimizasyonu ile ağırlıklı ortalama yansıma yüzde 3.35 düzeyine indirilmiştir. Nano örgü yapının üzerine kaplanan kuantum nokta katmanının da etkisi simüle edilmiştir. Bu çalışmada kuantum noktaları Lorentz dielektrik olarak modellenmiştir ve simülasyonlar yansımanın yüzde 3.1 seviyesine indiğini göstermiştir. Optimizasyon reçetesi açık bir şekilde sunulmuştur ve geliştirilen bu metod sadece kare örgülü yapılar için değil fotovoltaikte kullanılan diğer örgülü nanoyapılar için de kullanılabilir olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Silisyum, Az yansıtma, Güneş Enerjisi.

\* Corresponding Author: [turgut.tut@agu.edu.tr](mailto:turgut.tut@agu.edu.tr)

## 1. Introduction

Generally, crystalline silicon based photonic devices such as photodiodes, solar cells, phototransistors need low surface reflectance over a wide spectrum of light in order to have high external quantum efficiency and energy harvesting through outer circuits. One of the conventional methods to reduce surface reflection is to use single layer dielectric at specific wavelength but this does not reduce reflectivity for broadband [1,2].  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dielectric materials are the most popular thin film materials for anti-reflection coatings. When double dielectric layers are used for this purpose, there are two reflection minimum in the reflection spectrum [1]. Unfortunately, in order to achieve a broadband low reflection, multi-layer band pass filter should be used but this requires many thin film layers and that increases the production costs. However, this is not an optimum solution to the broadband low reflection problem. Surface modification is needed in order to obtain broadband low reflection from the optoelectronic substrate surfaces. This modification can be achieved by using micro [3] or nano-size structures [4-15] over the device surfaces. In order to build such small features, researchers used mainly wet etching and dry etching methods. For example, industrial pyramidal surface texturing for crystalline silicon uses anisotropic wet-etching method. In other methods, dry etching can be used with ionized gases in the plasma vacuum chambers. For some studies both etching methods are used in combination [16,17].

Several research groups add some degree of randomness [8,15] in the periodic structures to decrease the optical reflection further. However, for large area applications, this can have some advantages as well as disadvantages in having a standard method of production.

Structure sizes show differences in these applications. Some applications use micro-meter size pillars [3] and some applications use nano-meter size pillars. For applications that need thin silicon film layers, nanometer size structures have to be used in order to achieve low reflection in broadband. To summarize, recently several types of surface nanostructures have been investigated using a variety of methods such as reactive ion etching (RIE), metal assisted chemical etching, laser etching, and low-frequency inductively coupled plasma etching [18-24].

If the pillars are tall then this can lead to quantum efficiency loss due to charge recombination in the pillar structure and the generated electron hole pairs cannot be extracted from the devices for energy harvesting [25]. Therefore, the height of the pillars should be optimized to get low reflectivity. When the height of the pillars is too short then the coupling of incident light into the silicon substrate is low. Moth-eye nano-pyramidal pillars use graded index refractive index to reduce reflection. Nanowires and nanocylinders that use Mie resonances (scattering) which result in overall decrease in reflection. Metallic nanoparticles use their plasmonic effect to direct electromagnetic energy through the substrate effectively and to decrease the reflection from the surface [26-31].

Optimization studies of the nanostructured surfaces in optoelectronic devices are still popular since the energy sector is very crucial for the economy of the countries. Even one percent

increase in energy efficiency in solar cells mean millions of dollars saving in countries' economies. In order to obtain high efficiency in solar cells, low reflection from the surface irrespective of incident angles in wide wavelength spectrum is needed.

In this work, we optimized nanopillars filling ratio, height, apex angle, and calculated the weighted average reflection with respect to wavelength to get the overall efficiency improvement for the optoelectronic devices. We focused on square array type of nanopillars. In contrast with other structures such as black-silicon [16,25] or several photonic crystals (PC) [32,33], the optimization process we applied in this study is nonconformal antireflection coating and light trapping mechanisms presented not only let broadband reflection minimization over a broad angle of incidence but enhances absorption [34-36]. In addition, recombination losses are decreased by holding the total area of total area lower compared to micro pyramidal random texturing [22,37] or black-silicon [16,22,25]. We also use quantum dots to down-conversion of the

## 2. Methods and Simulations Results

In this letter, we present the optimization of the nanopillar square arrays in order to achieve broadband low reflection surfaces. When compared to a bare planar crystalline silicon wafer surface, the modified surface has significant reduction in reflection in 400nm-1100nm range. As a first step, we take the pillar period  $a=270\text{nm}$ , pillar diameter as  $d=190\text{nm}$ , pillar height as  $h=120\text{nm}$  which has 3.91 percent weighted average reflection using equation (1) in 400nm-1100nm spectral range (Figure 1).

We used Finite Difference Time Domain (FDTD) method to simulate photonic nanostructures. We placed monitors just below the nanopillars to calculate the transmission to the bulk substrate. We also placed a monitor above the structure to simulate the EM fields and calculate the reflected power. We also calculate the light absorbed in the nanostructure. The optical constants of crystalline structure and thin films are taken from [38]. We first optimized the cavity diameter in the nanopillar in the range from 40nm to 160nm and the minimum is obtained at 60nm cavity diameter. As seen Figure 2. Several different reflection curves for several different cavity diameter is also shown in Figure 3. Red curve has the lowest weighted total reflection of 4.65 percent. Over this Silicon nanotube square array structure,  $\text{SiO}_2$  thin film is coated (placed) and since the lowest reflection occurs at 5nm thick  $\text{SiO}_2$ . We take  $s=5\text{nm}$  and varied the thickness of  $t$ . In this way, we simulate the step coverage effect, which is the result of the nature of etching processes, the vertical pillars can be obtained under special physical and chemical conditions [39,40]. It is important to have vertical pillars to get optimum reflection from such structures since as the pillar angle gets smaller, the reflection starts to increase. For large area applications, nano-imprint lithography can be used with a previously prepared template using nanofabrication methods or nanosphere lithography as to include some randomness effect. We also realized that in order to increase the efficiency of photonic devices, we have to increase the optical power absorbed in the bulk of the active silicon layer. The absorbed light in the nanostructures part could be lost due to recombination and cannot contribute to the photocurrent with large percentage. Therefore, we have to maximize the absorption not in the nanostructures but the optical absorption in the bulk silicon active device region. We will pursue the study for

applications that need the absorption maximized in the active region in another paper.  $s/t$  ratio varied from 0.1 to 1.0 increasing the  $t$  thickness parameter but keeping the  $s=5\text{nm}$ . When  $s/t=0.1$  is used, we obtained weighted average reflection of 3.35 percent Figure 4. In order to decrease this reflection loss even further, step coverage concept is used. Since these pillars form nano steps and PECVD (Plasma enhanced chemical vapor deposition), LPVD (Low pressure vapor deposition), Sputtering (Coating of target material using generally argon plasma) coatings generally are nonconformal in nature. We also investigated its effect on reflection. The anisotropy can be increased further by optimization of the deposition conditions of the dielectric thin films e.g. gas flow rates, chamber pressure, substrate temperature, RF power. We used the cavities for two purposes, first is to get a better light trapping such that the reflection is decreased lower. Secondly, this will give a better stable low reflectivity when the incidence angle of light is changed. We will investigate this feature in future study. In Figure 5, spectral optical reflections for  $s/t=0.1$  and for  $s/t=1.0$  are shown and it is clearly noticed that the reflection is lower when the ratio is 0.1 over the 400nm-1100nm wavelength range.

Solar irradiance differs with wavelength; we can use the total reflection of light from the surface weighted with solar irradiance. This way, the performance of the low reflection loss performance can be quantified better. ASTM Air Mass 1.5 direct solar irradiance is used for the calculation. In this formulation, irradiance is multiplied with the wavelength and the integral is taken with wavelength. The numerator is composed of irradiance multiplied with wavelength and reflection. For a random polarization condition, both TE and TM polarizations are calculated and the average is taken to get result that is more accurate. We used the formula given below in calculation of the weighted average reflection in 400nm-1100nm wavelength range.

$$\text{Weighted Average Reflection} = \frac{\int_{400}^{1100} \frac{R_{TE}(\lambda) + R_{TM}(\lambda)}{2} I(\lambda) \lambda d\lambda}{\int_{400}^{1100} I(\lambda) \lambda d\lambda} \quad (1)$$

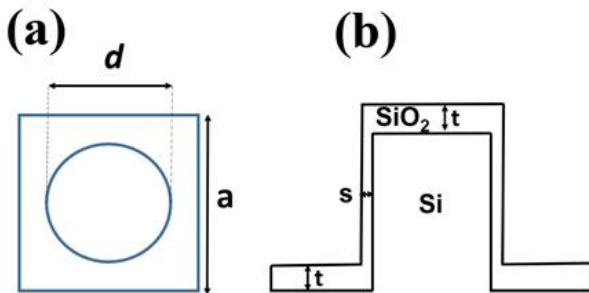


Figure 1: a) Unit cell of pillar array, b) Cross section of nonconformal coating of dielectric thin film.

The absorption in the UV region of the spectrum at the nanopillar array structure is particularly high, this is also a big issue if there is recombination in the nanostructure for energy extraction from an active device. The reflection from this range is also high from figure 5. The reflection in the UV region can be decreased by using quantum emitters like quantum dots for example. These nano materials can be prepared in solutions and coated by spin coating over the substrate. After drying a clean environment like glovebox systems the structure can be

produced. In our simulations, we modeled these quantum dots as Lorentzian dielectric with oscillator strength of 0.6.  $\text{Weg}=3.72 \times 10^{15}$  rad/s and lifetime of  $1\text{ns}$  [47].  $\text{Weg}$  is chosen to correspond to 350nm wavelength so that the quantum dot layer absorbs in UV and scatter strongly with lower wavelengths too. As a result, the emitted radiation will be strongly absorbed by the nanostructure photonic crystal structure. By using this concept in the simulations, we decreased the weighted average reflection from 3.33 percent to 3.1 percent. This can be even decreased by using thicker layers of Qdots. In Figure6, the reflection reduction is especially noticeable in the UV region as our strategy in using the Qdots.

To our knowledge, this result is one of the best results for this type of nanostructured square array surfaces reported in the literature. The recent studies and their comparisons are given in Table I.

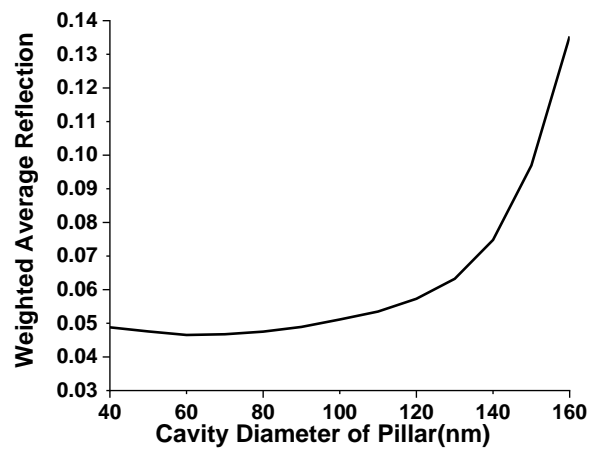


Figure 2: Reflection versus Cavity diameter of the silicon nanopillars.

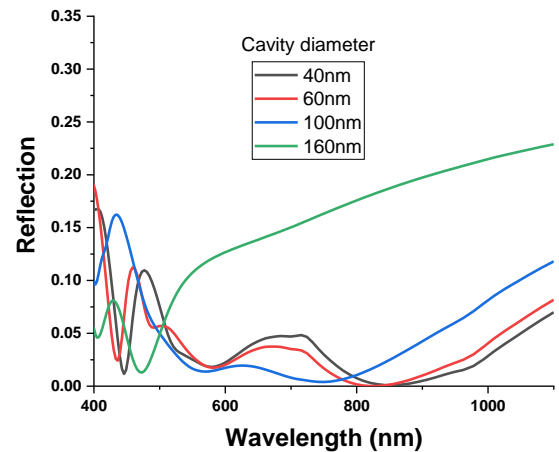


Figure 3: Reflection spectrum for several cavity diameters.

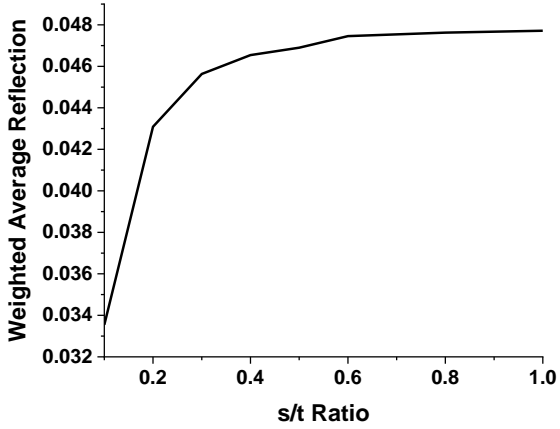


Figure 4: Weighted average reflection versus s/t ratio.

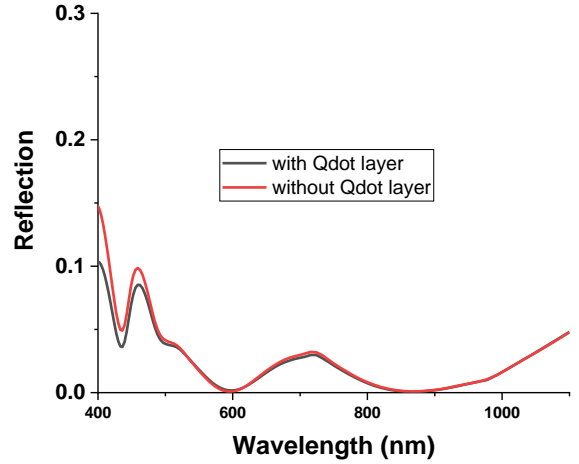


Figure 6: Reflection spectrum for surfaces with and without Qdot layer for comparison

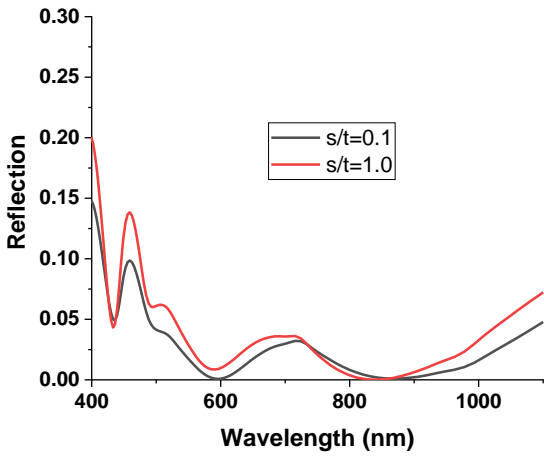


Figure 5: Reflection spectrum for s/t=0.1 and s/t=1.0 over 400nm-1100nm wavelength range.

### 3. Discussion

Nanostructured photonic arrays can be employed to achieve surfaces with low optical reflection. Use of step coverage and

Quantum emitters can have a great potential to decrease the optical reflection even further for broadband light absorbers and fabrication of photovoltaic devices with high efficiency. The table 1 shows the results of previous works related to nanostructures array surfaces. As noticed, our result of weighted

average reflection of 3.1 is the lowest result when compared to the results in the Table 1.

Table 1. Comparison of recent results for the average reflections from regular square nanopillar arrays

Author	Year	R (Average)
J. Li et al. [43]	2009	>10 %
C. Lin et al. [44]	2011	4.64 %
J. Proust et al. [45]	2016	4 %
J. Kim et al. [46]	2021	7.1%

## 4. Conclusions and Recommendations

The reflection properties of the nanostructured silicon surfaces have been investigated and understood physically through weighted average reflection as a function of wavelength.

We optimized the silicon based square nanopillar arrays which is already optimized from our previous study and then we study further their reflection properties when we use silicon nanotube structure and optimized the cavity diameter in the pillar structure. We then used the step coverage concept which is the naturally occurring phenomenon in nanofabrication process and it also decreases the reflection from the surface of these nanostructures.

In the last step, we used Quantum emitters and modelled it as Lorentz dielectric layer. We obtained 3.1 percent weighted average reflection and to our knowledge this is the lowest reflection from this type of regular array of square array of nanostructures.

These modified nanostructured surfaces concept is useful for photovoltaic device applications having thin film silicon or active absorbing semiconducting material for optical energy harvesting through low surface reflection over a broadband optical spectrum [42]. In broad sense, thin film solar cells, photodetectors, phototransistors are the potential application of these nanostructured surfaces with high quantum efficiency.

In future work, we will experimentally realize the optimized nonconformal coatings of dielectric films and these periodic nanopillar array structure on a photodetector and demonstrate the quantum efficiency with respect to a control photodetector micro device.

## 5. Acknowledge

This work is funded by TUBİTAK 1001 project under project number 219M280. Computing resources were supported by AGÜ (Abdullah Gul University). I would like to thank my colleagues Mehmet Emre Taşgın and Mehmet Şahin for valuable discussions on the subject.

## References

- [1] B. S. Richards, S. F. Rowlands, C. B. Honsberg, and J. E. Cotter, "TiO<sub>2</sub> DLAR coatings for planar silicon solar cells," *Progress in Photovoltaics* 11, 27 2003.
- [2] J. H. Selj, T. T. Mongstad, R. Sondena, and E. S. Marstein, "Reduction of optical losses in colored solar cells with multilayer antireflection coatings," *Solar Energy Materials and Solar Cells* 95, 2576 2011.
- [3] P. Campbell and M. A. Green, "Light Trapping Properties of Pyramidally Textured Surfaces," *Journal of Applied Physics* 62, 243 1987.
- [4] S. A. Boden and D. M. Bagnall, "Tunable reflection minima of nanostructured antireflective surfaces," *Applied Physics Letters* 93 2008.
- [5] S. A. Boden and D. M. Bagnall, "Optimization of moth-eye antireflection schemes for silicon solar cells," *Progress in Photovoltaics* 18, 195 2010.
- [6] S. Chattopadhyay, Y. F. Huang, Y. J. Jen, A. Ganguly, K. H. Chen, and L. C. Chen, "Anti-reflecting and photonic nanostructures," *Materials Science & Engineering R-Reports* 69, 1 2010.
- [7] K. Hadobas, S. Kirsch, A. Carl, M. Acet, and E. F. Wassermann, "Reflection properties of nanostructure-arrayed silicon surfaces," *Nanotechnology* 11, 161 2000.
- [8] Y. F. Huang, S. Chattopadhyay, Y. J. Jen, C. Y. Peng, T. A. Liu, Y. K. Hsu, C. L. Pan, H. C. Lo, C. H. Hsu, Y. H. Chang, C. S. Lee, K. H. Chen, and L. C. Chen, "Improved broadband and quasi-omnidirectional anti-reflection properties with biomimetic silicon nanostructures," *Nature Nanotechnology* 2, 770 2007.
- [9] Y. Kanamori, M. Sasaki, and K. Hane, "Broadband antireflection gratings fabricated upon silicon substrates," *Optics Letters* 24, 1422 1999.
- [10] P. Lalanne and G. M. Morris, "Antireflection behavior of silicon subwavelength periodic structures for visible light," *Nanotechnology* 8, 53 1997.
- [11] Y. H. Pai, Y. C. Lin, J. L. Tsai, and G. R. Lin, "Nonlinear dependence between the surface reflectance and the duty-cycle of semiconductor nanorod array," *Optics Express* 19, 1680 2011.
- [12] H. Sai, H. Fujii, K. Arafune, Y. Ohshita, Y. Kanamori, H. Yugami, and M. Yamaguchi, "Wide-angle antireflection effect of subwavelength structures for solar cells," *Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Brief Communications & Review Papers* 46, 3333 2007.
- [13] H. Sai, H. Fujii, K. Arafune, Y. Ohshita, M. Yamaguchi, Y. Kanamori, and H. Yugami, "H. Sai, H. Fujii, K. Arafune, Y. Ohshita, M. Yamaguchi, Y. Kanamori, and H. Yugami, Antireflective subwavelength structures on crystalline Si fabricated using directly formed anodic porous alumina masks," *Applied Physics Letters* 88 2006.
- [14] H. Sai, Y. Kanamori, K. Arafune, Y. Ohshita, and M. Yamaguchi, "Light trapping effect of submicron surface textures in crystalline Si solar cells," *Progress in Photovoltaics* 15, 415 2007.
- [15] P. Seliger, M. Mahvash, C. M. Wang, and A. F. J. Levi, "Optimization of aperiodic dielectric structures," *Journal of Applied Physics* 100 2006.
- [16] X. G. Liu, P. R. Coxon, M. Peters, B. Hoex, J. M. Cole, and D. J. Fray, "Black silicon: fabrication methods, properties and solar energy applications," *Energy & Environmental Science* 7, 3223 2014.

- [17] J. Yang, F. F. Luo, T. S. Kao, X. Li, G. W. Ho, J. H. Teng, X. G. Luo, and M. H. Hong, "Design and fabrication of broadband ultralow reflectivity black Si surfaces by laser micro/nanoprocessing," *Light-Science & Applications* 3 2014.
- [18] C. L. Cheung, R. J. Nikolic, C. E. Reinhardt, and T. F. Wang, "Fabrication of nanopillars by nanosphere lithography," *Nanotechnology* 17, 1339 2006.
- [19] T. H. Her, R. J. Finlay, C. Wu, S. Deliwala, and E. Mazur, "Microstructuring of silicon with femtosecond laser pulses," *Applied Physics Letters* 73, 1673 1998.
- [20] Z. P. Huang, N. Geyer, P. Werner, J. de Boer, and U. Gosele, "Metal-Assisted Chemical Etching of Silicon: A Review," *Advanced Materials* 23, 285 2011.
- [21] H. Jansen, M. Deboer, R. Legtenberg, and M. Elwenspoek, "The Black Silicon Method - A Universal Method for Determining The Parameter Setting of A Fluorine-Based Reactive Ion Etcher In Deep Silicon Trench Etching With Profile Control," *Journal of Micromechanics and Microengineering* 5, 115 1995.
- [22] J. Oh, H. C. Yuan, and H. M. Branz, "An 18.2%-efficient black-silicon solar cell achieved through control of carrier recombination in nanostructures," *Nature Nanotechnology* 7, 743 2012.
- [23] S. Xu, S. Y. Huang, I. Levchenko, H. P. Zhou, D. Y. Wei, S. Q. Xiao, L. X. Xu, W. S. Yan, and K. Ostrikov, "Highly Efficient Silicon Nanoarray Solar Cells by a Single-Step Plasma-Based Process," *Advanced Energy Materials* 1, 373 2011.
- [24] H. C. Yuan, V. E. Yost, M. R. Page, P. Stradins, D. L. Meier, and H. M. Branz, "Efficient black silicon solar cell with a density-graded nanoporous surface: Optical properties, performance limitations, and design rules," *Applied Physics Letters* 95 2009.
- [25] H. Savin, P. Repo, G. von Gastrow, P. Ortega, E. Calle, M. Garin, and R. Alcubilla, "Black silicon solar cells with interdigitated back-contacts achieve 22.1% efficiency," *Nature Nanotechnology* 10, 624 2015.
- [26] H. A. Atwater and A. Polman, "Plasmonics for improved photovoltaic devices," *Nature Materials* 9, 205 2010.
- [27] K. R. Catchpole and A. Polman, "Design principles for particle plasmon enhanced solar cells," *Applied Physics Letters* 93 2008.
- [28] P. B. Clapham and M. C. Hutley, "Reduction of Lens Reflexion by the "Moth Eye" Principle," *Nature* 244, 281 1973.
- [29] M. A. Green and S. Pillai, "Harnessing plasmonics for solar cells," *Nature Photonics* 6, 130 2012.
- [30] P. Spinelli, M. A. Verschuuren, and A. Polman, "Broadband omnidirectional antireflection coating based on subwavelength surface Mie resonators," *Nature Communications* 3 2012.
- [31] K. X. Z. Wang, Z. F. Yu, V. Liu, Y. Cui, and S. H. Fan, "Absorption Enhancement in Ultrathin Crystalline Silicon Solar Cells with Antireflection and Light-Trapping Nanocone Gratings," *Nano Letters* 12, 1616 2012.
- [32] A. Bielowny, J. Upping, P. T. Miclea, R. B. Wehrspohn, C. Rockstuhl, F. Lederer, M. Peters, L. Steidl, R. Zentel, S. M. Lee, M. Knez, A. Lambertz, and R. Carius, "3D photonic crystal intermediate reflector for micromorph thin-film tandem solar cell," *Physica Status Solidi a-Applications and Materials Science* 205, 2796 2008.
- [33] J. G. Mutitu, S. Y. Shi, C. H. Chen, T. Creazzo, A. Barnett, C. Honsberg, and D. W. Prather, "Thin film silicon solar cell design based on photonic crystal and diffractive grating structures," *Optics Express* 16, 15238 2008.
- [34] J. Boroumand, S. Das, A. Vazquez-Guardado, D. Franklin, and D. Chanda, "Electromagnetic-Electronic Design of Light Trapping Silicon Solar Cells," *Scientific Reports* 6 2016.
- [35] P. Spinelli and A. Polman, "Light Trapping in Thin Crystalline Si Solar Cells Using Surface Mie Scatterers," *Ieee Journal of Photovoltaics* 4, 554 2014.
- [36] K. J. Yu, L. Gao, J. S. Park, Y. R. Lee, C. J. Corcoran, R. G. Nuzzo, D. Chanda, and J. A. Rogers, "Light Trapping in Ultrathin Monocrystalline Silicon Solar Cells," *Advanced Energy Materials* 3, 1401 2013.
- [37] A. Mavrokefalos, S. E. Han, S. Yerci, M. S. Branham, and G. Chen, "Efficient Light Trapping in Inverted Nanopyramid Thin Crystalline Silicon Membranes for Solar Cell Applications," *Nano Letters* 12, 2792 2012.
- [38] E. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids Vol. 1*, 1 ed. (Academic Press, 1985).
- [39] H. Park, Y. Dan, K. Seo, Y. J. Yu, P. K. Duane, M. Wober, and K. B. Crozier, "Filter-Free Image Sensor Pixels Comprising Silicon Nanowires with Selective Color Absorption," *Nano Letters* 14, 1804 2014.
- [40] T. Tut, Y. P. Dan, P. Duane, Y. Yu, M. Wober, and K. B. Crozier, "Vertical waveguides integrated with silicon photodetectors: Towards high efficiency and low cross-talk image sensors," *Applied Physics Letters* 100 2012.
- [41] B. L. S. a. R. A. Pryor, "Design of Antireflection Coatings for Textured Silicon Solar Cells," *Solar Cells* 8, 249 1982.
- [42] D. Shir, J. Yoon, D. Chanda, J. H. Ryu, and J. A. Rogers, "Performance of Ultrathin Silicon Solar Microcells with Nanostructures of Relief Formed by Soft Imprint Lithography for Broad Band Absorption Enhancement," *Nano Letters* 10, 3041 2010.
- [43] J. Li, H. u Yu, S. M. Wong, G. Zhang, X. Sun, P. G. Lo, and D. Kwong, "Si nanopillar array optimization on Si thin films for solar energy harvesting," *Applied Physics Letters* 95, 033102 2009.
- [44] C. Lin, N. Huang, and M. L. Povinelli, "Effect of aperiodicity on the broadband reflection of silicon nanorod structures for photovoltaics," *Optics Express* 20, No.1, 125-132 2011.
- [45] J. Proust, A. Fehrembach, F. Bedu, I. Ozerov, N. Bonod, "Optimized 2D array of thin silicon pillars for efficient antireflective coatings in the visible spectrum," *Sci. Rep.* 6, 24947 2016.
- [46] J. Kim, S. You, C. Kim, "Surface Texturing of Si with Periodically Arrayed Oblique Nanopillars to Achieve Antireflection," *Materials* 14, 380 2021
- [47] P. Vasa and C. Lienau, "Strong light-matter interaction in quantum emitter/metal hybrid nanostructures," *ACS Photon.* 5, 2 2017.



# Kimyasal Bileşimin Paslanmaz Çelik Kaplamaların Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi

Fatih Nedim Yorulmaz<sup>1\*</sup>, Hülya Durmuş<sup>2</sup>, Nilay Çömez<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1726-9965), [fatih45yorulmaz@gmail.com](mailto:fatih45yorulmaz@gmail.com)

<sup>2</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7270-562X), [hulya.durmus@cbu.edu.tr](mailto:hulya.durmus@cbu.edu.tr)

<sup>3</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6432-6582), [nilay.comez@cbu.edu.tr](mailto:nilay.comez@cbu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082931)

**ATIF/REFERENCE:** Yorulmaz, F. N., Durmuş, H., Çömez, N., (2022). Kimyasal Bileşimin Paslanmaz Çelik Kaplamaların Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 485-491.

## Öz

Paslanmaz çelikler yüzeyinde bulunan yoğun, tok ve çok ince olan krom oksit ( $Cr_2O_3$ ) tabakası pasifleşerek oksidasyon ve korozyon oluşumunu engellemektedir. Paslanmaz çeliklerin gruplarından olan östenitik paslanmaz çelik kaynak işlemine uygundur. Korozyona dayanımlarından dolayı gemi pervanesi şaftı üretiminde östenitik paslanmaz çelikler seçilmekte ve kaynak işlemlerinde TIG kaynağı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, gemi pervane şaftı için tüm malzemenin paslanmaz çelik olması yerine alternatif üretim olarak orta karbonlu çelik şaft üzerine kaplama yapılmıştır. Farklı kimyasal içeriğe sahip olan 308L ve 316L östenitik paslanmaz çelik tellerin TIG kaynağı ile farklı akımlar (140 A, 160 A ve 180 A) kullanılarak S235JR çelik altlığın üzerine kaplama yapılmıştır. Kaplama işlemi sırasında hem kimyasal içeriğin farklı olması hem de üç farklı akım değerinin kullanılması ile mekanik ve korozyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Farklı parametrelerde oluşturulan kaplamalar hem kesit hem de yüzeyden incelenmiştir. Mikrosertlik sonuçlarına göre 308L paslanmaz çelik ile oluşturulan kaplamalarda 316L paslanmaz çelik numunelere göre en yüksek sertlikler elde edilmiştir. Akım değerlerindeki değişimler sertlik değerlerini kesitte çok fazla etkilemediği görülürken, yüzeyden yapılan sertlik ölçümlerinde en yüksek sertlikler 180 A ile oluşturulan kaplamalarda elde edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri, Cr - Ni eşdeğerlilik hesabı ile Schaeffler diyagramı yardımı sonucunda kaplama mikroyapısının ferritik ve östenitik yapıda olduğu görülmüştür. Ferrit oranının artması sertlik değerini arttırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca kaplamaların korozyon testi sonucunda 308L paslanmaz çelik kaplama numunelerinde akım değeri arttıkça korozyon hızı azalmıştır, ancak 316L paslanmaz çelik ile kaplanmış numunede de akım değeri arttıkça korozyon hızı artmıştır. Korozyon testi sonucunda 88 kodlu numunenin en yüksek korozyon direncine sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** 308L, 316L, Korozyon, Sertlik, Mikroyapı.

## Effect of Chemical Composition on Mechanical and Corrosion Properties of Stainless Steel Coatings

### Abstract

The dense, tough and very thin chromium oxide ( $Cr_2O_3$ ) layer on the surface of stainless steels becomes passive and prevents the formation of oxidation and corrosion. Austenitic stainless steel, which is one of the groups of stainless steels, is suitable for welding. Austenitic stainless steels are chosen in the production of ship propeller shafts due to their corrosion resistance and TIG welding is preferred in welding processes. In this study, instead of all material being stainless steel for the ship propeller shaft, a medium carbon steel shaft was plated as an alternative production. TIG welding of 308L and 316L austenitic stainless steel wires with different chemical content, using different currents (140 A, 160 A and 180 A), was coated on the S235JR steel substrate. During the coating process, the effects of both the different chemical content and the use of three different current values on the mechanical and corrosion properties were investigated. The coatings formed in different parameters were examined from both the cross-section and the surface. According to the microhardness results, the highest hardness was obtained in the coatings formed with 308L stainless steel compared to 316L stainless steel samples. While it was observed that the changes in the current values did not affect the hardness values much in the section, the highest hardnesses were obtained in the coatings formed with 180 A in the hardness measurements made from the surface. As a result of microstructure investigations, Cr - Ni equivalence calculation and Schaeffler diagram, it was seen that the coating microstructure was ferritic and austenitic. It was understood that the increase in the ferrite ratio increased the hardness value. In addition, as a result of the corrosion test of the coatings, the corrosion rate decreased as the current value increased in the 308L stainless steel

\* Sorumlu Yazar: [fatih45yorulmaz@gmail.com](mailto:fatih45yorulmaz@gmail.com)



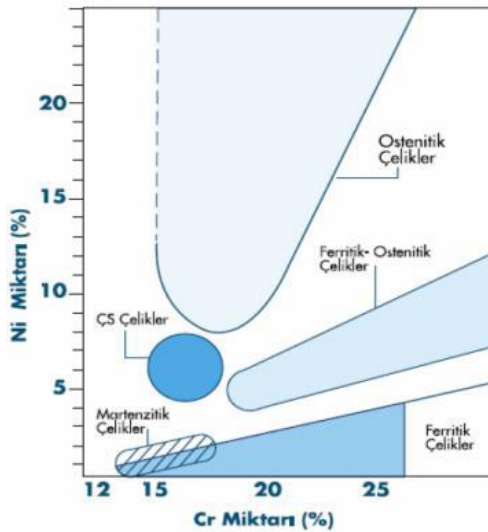
coating samples, but the corrosion rate increased as the current value increased in the 316L stainless steel coated sample. As a result of the corrosion test, it was seen that the sample coded 88 had the highest corrosion resistance.

**Keywords:** 308L, 316L, Corrosion, Hardness, Microstructure

## 1. Giriş

Paslanmaz çelikler pek çok sektörde uygulama alanı bulan çelik grubudur. Yüzeylerinde bulunan çok ince krom oksit ( $Cr_2O_3$ ) tabakası pasifleşerek oksidasyon ve korozyon oluşumunu engellemektedir [1] - [3]. Bu çelikler, yapısında yüksek orandan krom (Cr) ve bunun yanında nikel (Ni), kısmen de molibden (Mo) yer almaktadır [4]. Bu elementler sayesinde korozyon ve aşınma direncine sahiptir. Paslanmaz çelikler sınıflandırılmasında kimyasal içeriğinde bulunan Cr ve Ni oranı önemli rol oynamaktadır (Şekil 1). Ni miktarı %8' den fazla olduğunda östenit oda sıcaklığında kararlı duruma gelir ve östenitik paslanmaz çelik olarak adlandırılır [5].

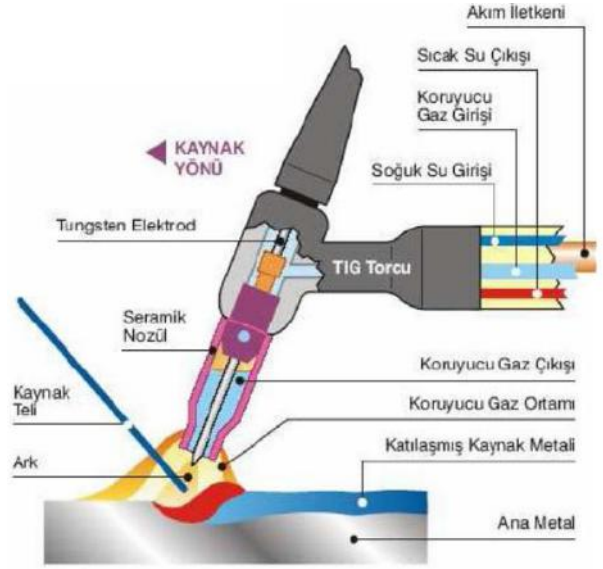
Paslanmaz çeliklerin bir grubu olan östenitik paslanmaz çeliklerin süneklik özellikleri yüksektir ve haddelemeyle sertleştirilebilirler. Ayrıca iyi işlenebilirlik özelliğine ve kaynaklanabilirlik özelliğine sahiptirler [6]. Petrokimya, deniz yapılarında, nükleer ve arıtma tesisleri ve medikal ürünlerde östenitik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır [5].



Şekil 1. Cr - Ni miktarına göre paslanmaz çelikler [3], [7]

Östenitik paslanmaz çelikler için birçok kaynak yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemlerden birisi olan TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemidir. Düşük ısı girdisi, kullanım kolaylığı, düzgün kaynak dikişi, her pozisyonda ve yüksek kaliteli kaynak yapabileme özellikleri sayesinde diğer kaynak yöntemlerine göre daha avantajlıdır.

TIG kaynağında gereken ısı, tungsten elektrot (tükenmeyen elektrot) ve iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2). Nozülden gönderilen asal gaz kaynak bölgesini kaplayıp, korumaktadır. Bu yöntemde asal gaz olarak Helyum ve/veya Argon kullanılmaktadır [3], [8] - [10].



Şekil 2. TIG kaynağı şematik gösterimi [3], [7], [11]

TIG kaynağında ilave tel kaplama malzemesi olarak kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin katılaşma modu alaşım bileşimine göre değişmektedir. Katılaşma modu için sırasıyla  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değeri ile bulunur [12].  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değerlerini bulmak için literatürde ve uygulamalarda Hull [13], Schaeffler [14] ve WRC 92 [15] yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler kaynaktan sonra oluşacak olan mikroyapı hakkında bilgi vermektedir. Schaeffler [14] ve WRC 92 [15] sayesinde mikroyapıdaki ferrit oranı tahmin edilebilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin katılaşma modu dörde ayrılmaktadır; östenitik (A veya Ö), östenitik-ferritik veya birincil östenit (AF veya ÖF), ferritik-östenitik veya birincil ferritik (FA veya FÖ) ve ferritik (F) moddur [16], [17].

Bu çeliklerin katılaşma modlarında oluşan ferrit ve östenit dönüşümleri; Ö modda tam östenit, ÖF modunda östenit + östenitik ve ferrit, FÖ modda östenit + çitasal (skeletal) ferrit ve östenit + levhalı ferrit ve son olarak F modunda östenit + iğnemsil ferrit ve ferrit + Widmanstatten östenit'ten oluşmaktadır [15].

Ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılaşma modunda, ilk önce  $\delta$ -ferrit (delta ferrit) kristalleşir, soğutma işlemi sırasında  $\delta$ - $\gamma$  dönüşümü meydana gelir, oda sıcaklığına soğutulduktan sonra östenit oluşur ve dönüşüm tamamlanmadığı için artık  $\delta$ -ferrit kaplamada kalır [12], [18].

Ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılaşmanın diğer bir formu ise levha veya iğne morfolojisinde olmasıdır. Ferrit, kaynak metalinde hızlı soğuma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Levhalı ve çitasal mikroyapıların birlikte bulunduğu bölgelerde sık olarak rastlanır. Kaynak metalinde ferrit fazı giderek daha kararlı bir duruma geçecek olursa östenit dönüşümü zor gerçekleşmektedir. Bunun nedeni, katılaşma sırasında ferritin delta ferrit olarak oluşmasıdır [17], [19], [20].

Bu çalışmada, gemi pervanesi şaftında kullanılması amacıyla S235JR çelik altlık üzerine östenitik paslanmaz çelikler olan 308L ve 316L kullanılarak farklı akımlarda TIG kaynağı ile kaplama yapılmıştır. Kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal içeriğindeki nikel oranının ve kaplama işlemi sırasındaki akımın değişmesi ile sertlik ve korozyon dayanımına etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Altlık malzemesi olarak 150 x 200 x 5 mm<sup>3</sup> boyutunda S235JR çeliği kullanılmıştır. Altlığın üzerine farklı akımlar (140 A, 160 A ve 180 A) ve 17 V voltaj kullanılarak TIG Kaynağı ile 3 paso şeklinde 308L ve 316L östenitik paslanmaz çelikler ile kaplama yapılmıştır. Tablo 1 ve 2’de altlık ile kaplamanın kimyasal içeriği verilmiştir. Şekil 3 ’te kaplama işleminden sonra oluşan numunelerin şematik görüntüsü yer almaktadır; açık gri renk altlık malzeme: S235JR çeliği, mavi renk 308L ve koyu gri renk 316L östenitik paslanmaz çeliği göstermektedir. Numunelerin kodlama şekli Tablo 3’ de gösterilmektedir.

Tablo 1. 308L ve 316L paslanmaz çeliklerinin kimyasal içeriği

Ağr%	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si
308L	0,02	19	9	2,1	0,02	0,4
316L	0,02	19	12	1,9	2	0,4

Tablo 2. Altlık metalinin (S235JR) kimyasal içeriği

Ağr%	C	Mn	Cu	Al	Mo	Si	P	S
S235JR	0,16	0,4	0,03	0,04	0,03	0,016	0,05	0,017

Tablo 3. Numunelerin kodlanması

Numune Kodu	Kaplama Malzemesi	Kaynak Akımı (A)
84	308L	140
86	308L	160
88	308L	180
164	316L	140
166	316L	160
168	316L	180

Cr<sub>es</sub> ve Ni<sub>es</sub> değerlerini bulmak için Schaeffler [14]’ e göre; 1. ve 2. denklemler kullanılarak mikroyapıdaki yüzde ferrit miktarı bulunmaktadır. WRC 92 [15]’e göre ise; 3. ve 4. Denklemler kullanılarak ferrit numarası elde edilmektedir. Hull [13] denkleminde göre ise; 5. ve 6. denklemler ile katılma modu bulunmaktadır.

$$Cr_{es} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb \quad (1)$$

$$Ni_{es} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn \quad (2)$$

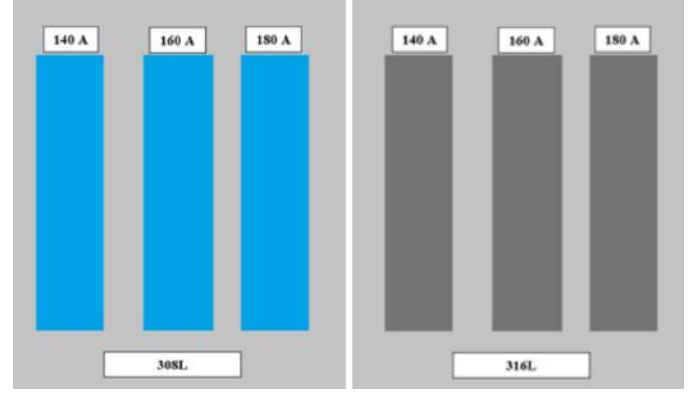
$$Cr_{es} = \%Cr + \%Mo + 0,7\%Nb \quad (3)$$

$$Ni_{es} = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0,25\%Cu \quad (4)$$

$$Cr_{es} = \%Cr + 1,21\%Mo + 0,48\%Si + 0,14\%Nb + 2,2\%Ti + 0,72\%W + 0,21\%Ta + 2,27\%V + 2,48\%Al \quad (5)$$

$$Ni_{es} = \%Ni + 0,11\%Mn + 24,5\%C + 18,4\%N + 0,44\%Cu + 0,41\%Co \quad (6)$$

Kaplama işleminden sonra kaplama yapılan parçalardan sertlik ve korozyon testine uygun numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere zımparalama (400, 600, 800, 1000, 1200 grit ile) yapılmıştır ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra mikroyapı incelemesi için Viella çözeltisi (45 ml gliserin, 15 ml HNO<sub>3</sub>, 30 ml HCl) ile numuneler dağlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde Nikon marka Clemex yazılımlı 50 - 1.000X büyütme optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 3. Kaplanan numunelerin şematik görünümü

Numunelerin kesit ve yüzeyinden sertlik testi yapabilmek için mikro sertlik testi tercih edilmiştir. Mikro sertlik testi için Vickers sertlik ölçme yöntemi ile HV<sub>0,1</sub> yani 100 gram-kuvvet yük altından 10 saniyede uygulanmıştır.

Korozyon testi için numunelere parlatma işleminden sonra dağlama işlemi uygulanmamıştır. Test için de Metrohm DropSens µStat400 Potentiostat-Galvanostat kullanılarak, ağırlıkça %3,5 NaCl içeren 75 ml tuz çözeltisi içinde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Korozyon testine başlamadan önce numunelerin açık devre potansiyeli 30 dakika boyunca ölçülmüştür. Korozyon testinde, doymuş kalomel referans elektrot, grafit elektrot ve kaplama çalışma elektrodu bulunan üç elektrotlu korozyon hücresi kullanılmıştır. Korozyon ölçümünün gerçekleştiği yüzey alanı 25 mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir ve geriye kalan alan yalıtkanla kaplanmıştır. Ölçümlerden sonra korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon testi sonrasında yüzeyler optik mikroskop altında incelenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

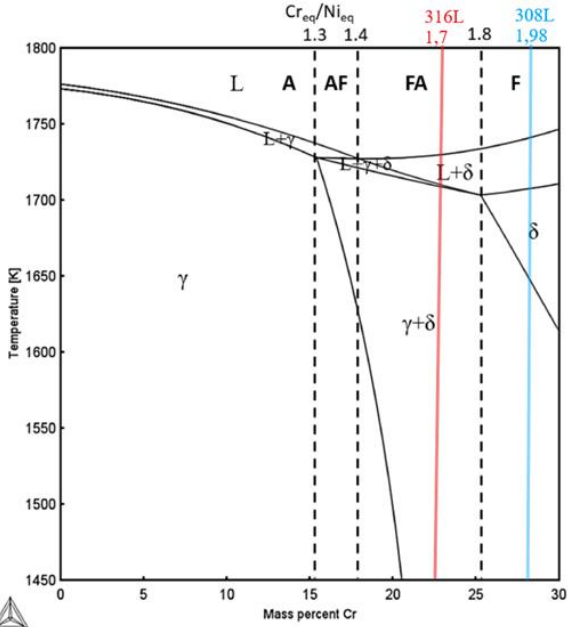
Cr<sub>es</sub> ve Ni<sub>es</sub> değerleri kullanılarak Hull [13], Schaeffler [14] ve WRC 92 [15] denklemleri ile Tablo 4 oluşturulmuştur.

Tablo 4. Farklı denklemler kullanılarak oluşturulan Cr<sub>es</sub> ve Ni<sub>es</sub> değerleri

Denklemler	Malzeme	Cr <sub>es</sub>	Ni <sub>es</sub>
Hull [13]	308L	19,22	9,77
	316L	21,61	12,7
Schaeffler [14]	308L	19,62	10,65
	316L	21,6	13,55
WRC 92 [15]	308L	19,02	9,7
	316L	21,0	12,7

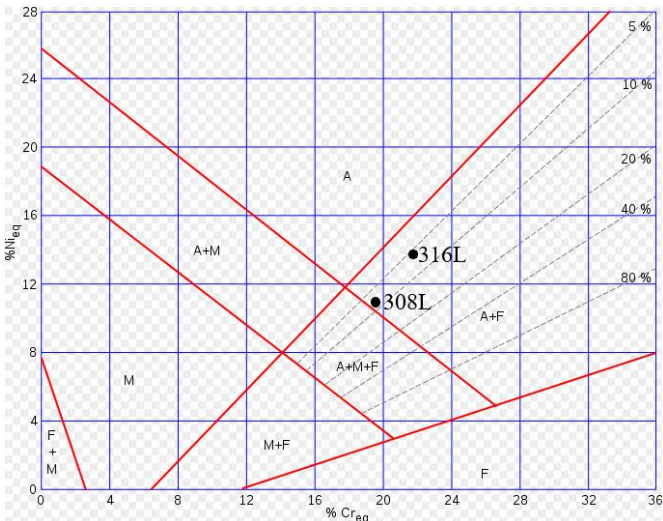
Kaplama malzemesi olarak kullanılan ilave 308L ve 316L tellerin kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak altlık malzemesinden dolayı az miktarda da olsa seyrelme sonucu kaplama metali kimyasal bileşiminde değişim olacağı öngörülmektedir.

Hull denkleminde yararlanılarak hesaplanan ve Tablo 4’ de verilen  $Cr_{eq}$  ve  $Ni_{eq}$  değerleri 308L ve 316L kaplamaların  $Cr_{eq}/Ni_{eq}$  değeri bulunmuştur.  $Cr_{eq}/Ni_{eq}$  değeri paslanmaz çeliklerde katılma modunun bulunmasında yardımcı olmaktadır. 308L kaplama teli için bu oran 1,98 bulunarak ferritik katılma modunda olduğu tahmin edilmektedir. 316L kaplama teli için ise oran 1,7’dir ve ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılma modunda olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. 308L ve 316L için  $Cr_{eq}/Ni_{eq}$  değerlerine dayalı olarak farklı katılma modlarını gösteren faz diyagramı [11].

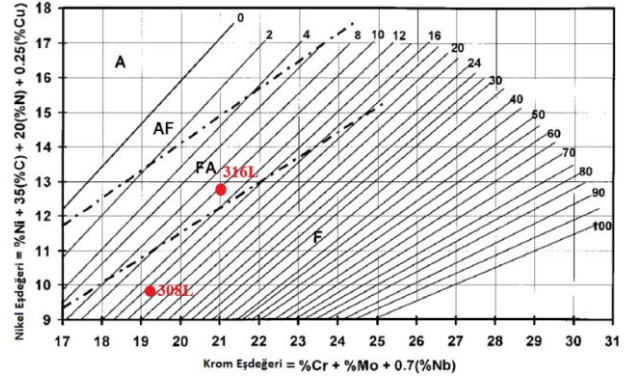
Şekil 5’te Schaeffler diyagramında Tablo 4’ deki  $Cr_{eq}$  ve  $Ni_{eq}$  değerleri kullanılarak kaplama teli halindeki 308L ve 316L paslanmaz çeliklerin östenit+ferrit mikroyapısı içerisindeki ferrit oranları hesaplanmıştır. Schaeffler diyagramına göre 308L, Östenit + %9 ferrit iken, 316L ise östenit + %6 ferrit fazlarına sahip olduğu bulunmuştur. Östenit matris içinde %3-10 delta ferrit fazı bu çeliklerin katılma çatlamasına karşı direncini arttırmaktadır [5]. %12 ferritten fazla olduğu durumda esneklik kabiliyeti azalmaktadır [21].



Şekil 5. Schaeffler Diyagramı [22]

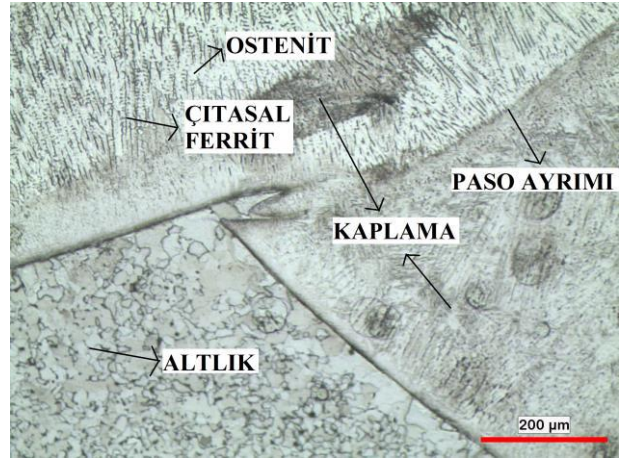
Tablo 4’ de verilen  $Cr_{eq}$  ve  $Ni_{eq}$  değerleri kullanılarak, WRC 92 diyagramı yardımıyla kaplama teli halindeki 308L ve 316L paslanmaz çelik kaplamaların mikroyapı içerisindeki ferrit

numaraları hesaplanmıştır. WRC 92 diyagramına göre 308L kaplamaların ferrit numarası 15 iken, 316L kaplamaların ferrit numarası 11 olduğu tahmin edilmektedir. 308L ferrit katılma modunda iken 316L ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılma modunda olduğu tahmin edilmektedir.

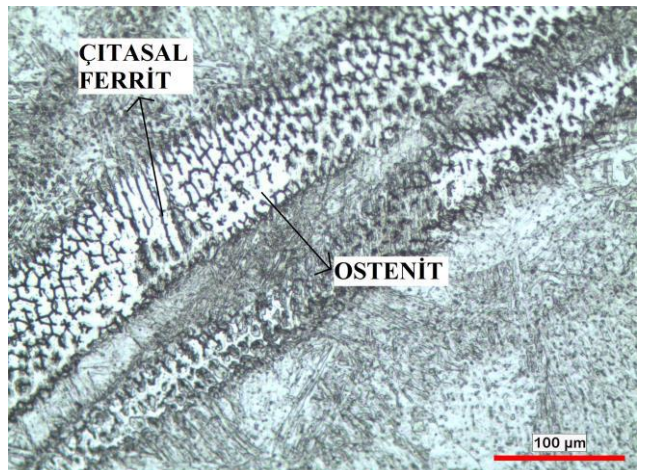


Şekil 6. WRC 92 Diyagramı [14]

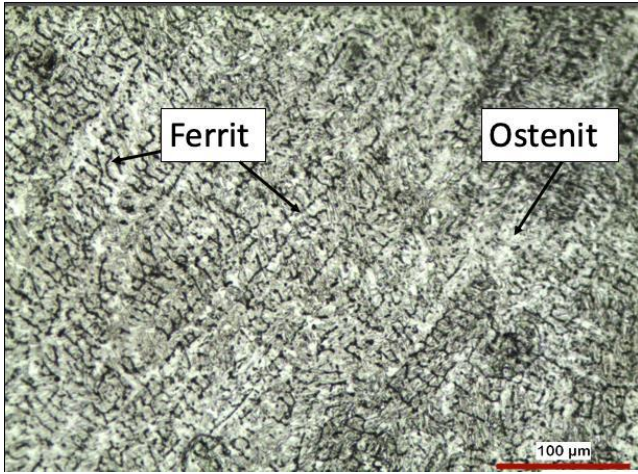
Şekil 7’de 168 kodlu numunenin altlık malzemesi ve kaplama malzemesinin mikroyapı görüntüsü bulunmaktadır. Kaplama işlemi 3 paso olarak gerçekleştirildiğinden dolayı paso ayrımı (çizgisi) mikroyapı görüntüsünde östenit ve ferrit fazı görülmektedir. Ferrit yapısı mikroyapıda çitasal ferrit olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 8’de çitasal ferritler belirgin bir şekilde görülmüştür. Çitasal ferritin varlığı katılmanın FÖ alanında gerçekleştiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 7. 168 kodlu numunenin kesitten mikroyapı görüntüsü

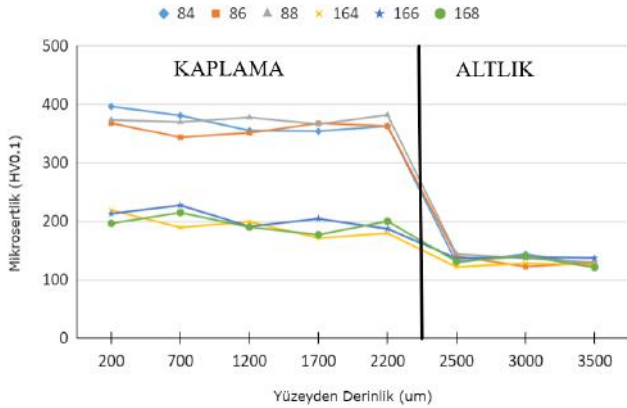


Şekil 8. 84 kodlu numunenin yüzey mikroyapı görüntüsü

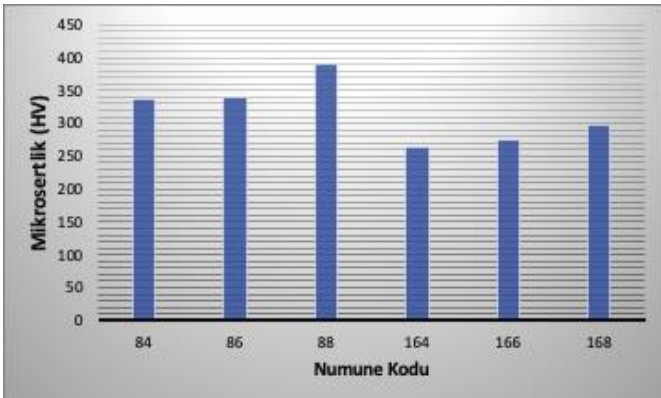


Şekil 9. 88 kodlu numunenin kaplama kesitindeki mikroyapı görüntüsü

Şekil 10'da numunelerin kesitten alınan mikrosertlikleri yer almaktadır. Akımın değişmesi sertlik değerlerinde önemli ölçüde farklar oluşturmamıştır. 308L kaplamaların kesitteki sertlik değerleri 316L kaplamaların sertlik değerlerine göre yüksek değerlere sahiptir. Şekil 11'de numunelerin yüzeyden alınan ortalama mikrosertlik sonuçları yer almaktadır. En yüksek sertlik sonucunu 88 kodlu numunede 391.1 HV olarak elde edilmiştir. Kaplama işlemi sırasında kullanılan akım değerinin artması ile sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Fakat bu artış ciddi oranda değildir. 308L ile hazırlanan kaplamaların 316L ile hazırlanan kaplamalara göre daha sert olmasının sebebi mikroyapısındaki daha yüksek olan ferrit oranından kaynaklandığı düşünülmektedir.

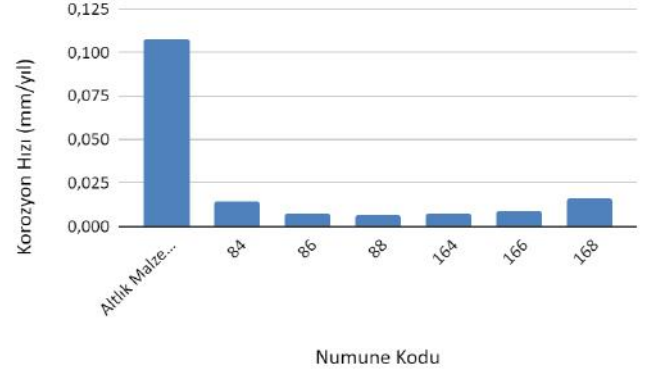


Şekil 10. Numunelerin kesit, mikrosertlik değerleri



Şekil 11. Numunelerin yüzey, ortalama mikrosertlik grafiği

Şekil 12'de korozyon testi sonucunda numunelerin korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon testi sonucunda en az korozyona uğrayan 88 kodlu numunede 0,00657 mm/yıl korozyon hızı bulunmuştur. 308L teli ile farklı akımlar kullanılarak hazırlanan kaplamalarda akım değerinin artması ile korozyon hızı azalmıştır. 316L teli ile hazırlanan kaplama numunelerinde ise akımın artması, korozyon hızını artırmıştır.



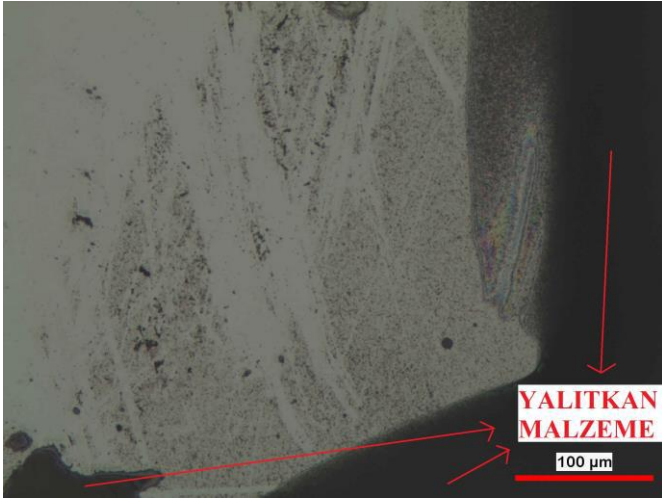
Şekil 12. Numunelerin korozyon hızları grafiği

Şekil 13'te 88 kodlu numunenin korozyon testi sonrası yüzeyinde korozyon sonucu oluşan izler görülmektedir. 180 A ile kaplanan bu numunede korozyon direnci en yüksek olan numunedir.

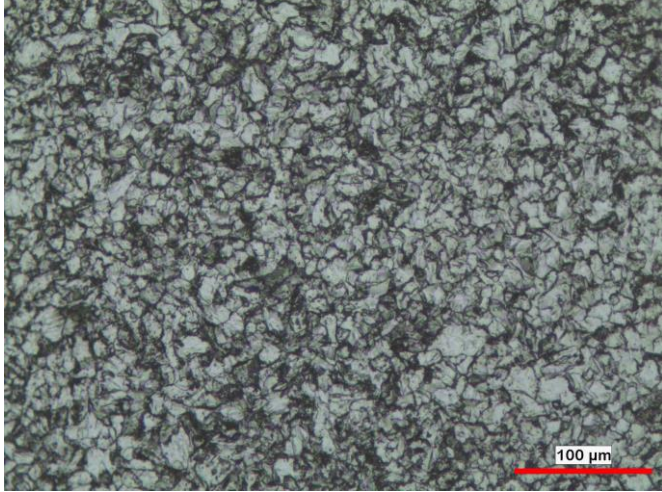


Şekil 13. 88 nolu numunenin korozyon testi sonrası görüntüsü

Şekil 14'te 168 kodlu numunenin korozyon sonrası kaplama yüzeyinden elde edilen optik mikroskop görüntüsü yer almaktadır. Kaplama numunelerinde korozyon testi sonucunda korozyon direnci en düşük olan numunedir. Bölgesel olarak pitting korozyon olduğu görülmektedir.



Şekil 14. 168 nolu numunenin korozyon testi sonrası görüntüsü



Şekil 15. Altlık malzemesi (S235JR) korozyon testi sonrası görüntüsü

Şekil 15'te altlık malzemesinin korozyon testinden sonraki mikroyapı görüntüsü yer almaktadır. Altlığın östenitik paslanmaz çeliklere göre ciddi oranda korozyona uğradığı görülmektedir.

Tablo 4'deki 308L ve 316L östenitik paslanmaz çeliklerin  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değerleri ile denklemlerle ve sonrasında diyagramlar kullanılarak % ferrit oranları hesaplanmıştır. Kaplamalarda seyrelme sonucu kaplama metali kimyasal bileşiminde değişim olacağı literatürdeki çalışmalarda görülmektedir. Kimyasal içerikteki değişim % ferrit fazının artmasını neden olmaktadır [15].

164-166-168 kodlu numunelerin mikroyapıları göz önünde bulundurulduğunda ferritik-östenitik veya birincil ferritik ve 84-86-88 kodlu numunelerin ise ferritik dönüşüm modundan olduğu anlaşılmaktadır. Bu moddan her iki malzemeyle hazırlanan kaplamaların mikroyapısında da çitاسal ferritler görülmektedir.

Şekil 10 ve 11'de 308L ve 316L arasında sertlik değerinde fark olduğu görülmektedir. Bu sertlik mikroyapıdaki % ferrit oranı ve mikroyapıdaki ferrit fazının türü ile ilgili olduğu literatürdeki çalışmalarda görülmektedir [14], [15]. Ayrıca üç tane kaynak dikişi yanyana yapıldığından dolayı kısa ferrit içeriği artmıştır. İç gerilmeler azalmıştır. Daha fazla Fe ve C yayılmasından dolayı sertlik artmıştır [23]. Yüzeiden alınan sertlik sonuçlarında ise akım artması sertlik değerinin artmasını sağlamıştır ve en yüksek sertlik değeri 180 A kullanarak kaplanan 308L'nin yüzeyinde 391.1 HV ile elde edilmiştir. Akımın artması oluşan ferrit türlerini etkilemiştir. 308L ferritik katılaşma modunda olduğundan dolayı sertlik değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Şekil 12'de numunelerin korozyon hızları yer almaktadır. Altlık malzemesi olan S235JR çeliğinin korozyon hızı, kaplama çeliklerine göre fazladır. Bu durum altlık malzemesinin içerisinde Cr elementinin bulunmamasından dolayı korozyon direnci çok düşüktür. Kaplama malzemelerine oranla altlık malzemesi 9-10 kat daha fazla korozyona uğramıştır. Kaplamalarda korozyon hızı krom elementinin varolmasından dolayı düşüktür. 308L ve 316L kaplamalarını karşılaştırırsak korozyon hızlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kaplama sonrası oluşan mikroyapıların birbirine yakın olması bu sonucu doğurmuştur. 308L ile kaplamalarda akımın artması korozyon hızını düşürmektedir.

Tüm kaplamaların korozyon dayanımı altlık malzemesine göre çok yüksektir. İki kaplama malzemesinde de ferrit oranları birbirlerine yakın çıkmıştır. Östenit fazına göre ferrit fazı daha fazla krom içeriğine sahiptir. Bundan dolayı pasif ferrit tabakası östenitten daha yüksek korozyon direncine sahiptir.  $\delta$ -ferrit daha incedir ve yapıya dağılır. Bundan dolayı pitting korozyon direnci kaplamaların çoğunda iyidir [14].

Şekil 13'te 88 kodlu numunenin korozyon testi sonrası optik mikroskop görüntüsü yer almaktadır. Korozyonun çok küçük ve noktasal olduğu görülmektedir. Şekil 15'te ise S235JR'nin yani altlığın korozyon sonrası optik mikroskop görüntüsü görülmektedir. Korozyonun 308L'ye göre çok fazla olduğu optik mikroskop görüntüsünde görülmektedir. Bu görüntüde tane sınırı korozyonuna uğradığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç

S235JR altlığa 308L ve 316L östenitik paslanmaz çelikler ile kaplanması sonucundan ortaya çıkan sonuçlar:

1. 84-86-88 kodlu numuneler ferritik katılaşma modunda 164-166-168 kodlu numuneler ise ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılaşma modunda olduğu görülmüştür. Tüm numunelerde çitاسal ferritler oluşmuştur.
2. 84-86-88 kodlu numunelerin 164-166-168 nolu numunelere göre daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum 84-86-88 kodlu numunelerin daha yüksek ferrit fazına sahip olması sayesinde gerçekleşmiştir. Ferrit fazının ve akımın sertliği artırdığı görülmüştür. 88 kodlu numune en yüksek sertlik değerine sahiptir. Bu sertlik değeri 391.1 HV'dir.
3. Korozyon testi sonucundan kaplamalar arasında ciddi oranda korozyon farkı oluşmamıştır. Altlık malzemesinde ise 9-10 kat korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Altlıkta oluşan korozyon türü taneler arası korozyon olduğu düşünülmektedir. Kaplamalarda oluşan korozyon türü ise pitting korozyonudur.

#### Kaynakça

- [1] Türkan, M., "Kaynaklı ve Kaynaksız Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozif Ortamlardaki Çekme Davranışları," Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2013.
- [2] Yüksel, M., *Malzeme Bilgisi*, Cilt 1, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, 2001.
- [3] Murat, M, G., "Savunma Sanayinde Kullanılan 420 ve 304L Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrası Korozyon ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2018.

- [4] Gökmen, M., "Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemleri ile Kaynağında Koruyucu Gaz ve İlave Metalin Mekanik Özelliklere Etkisi," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2009.
- [5] Köse, C., and Kaçar R., "The effect of preheat & post weld heat treatment on the laser weldability of AISI 420 martensitic stainless steel." *Materials & Design* 64: 221-226, 2014.
- [6] Öcal, M., "AISI 316L Östenitik Paslanmaz Çeliğin Korozyonlu Yorulma, Termal Çevrim ve Darbeli Aşınma Davranışlarına Farklı Kaplamaların Etkisi," Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 2020.
- [7] Sarıtaş Çelik, "Paslanmaz Çeliklerin İç Yapı ve Türleri," Sarıtaş Çelik, İstanbul, 2012.
- [8] Nevcanoğlu, A., "TIG Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilmiş Inconel 718 Süper Alaşım Malzemenin Kaynak Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi," Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2019.
- [9] Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der.*, V. 20 (2): s 183-190, 2005.
- [10] Althouse, A.D., Turnquist, C.H., Bowditch, W.A., Bowditch, K.E., *Gas Tungsten Arc Welding*, Modern Welding, Goodheart-Willcox Pub., p327- 328, 1999.
- [11] Emet, A. O., "Lazer ve TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin ve Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi," Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2019.
- [12] Sabzi, H. E., Maeng, S., Liang, X., Simonelli, M., Aboulkhair, N. T., & Rivera-Díaz-del-Castillo, P. E., Controlling crack formation and porosity in laser powder bed fusion: Alloy design and process optimisation. *Additive Manufacturing*, 34, 101360, 2020.
- [13] Hull, F. C. Delta ferrite and martensite formation in stainless steels. *Welding journal*, 52(5), 193, 1973.
- [14] Feng, Y., Luo, Z., Liu, Z., Li, Y., Luo, Y., & Huang, Y. Keyhole gas tungsten arc welding of AISI 316L stainless steel. *Materials & Design*, 85, 24-31, 2015.
- [15] Tümer, M., "Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Özlü Tel Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2012.
- [16] Rajani, H. Z., Torkamani, H., Sharbati, M., & Raygan, S. Corrosion resistance improvement in Gas Tungsten Arc Welded 316L stainless steel joints through controlled preheat treatment. *Materials & Design*, 34, 51-57, 2012.
- [17] Lippold J. C, Kotecki D. J., *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. John Wiley&Sons, Amerika, 8-16, 2005
- [18] Fukumoto, S., Fujiwara, K., Toji, S., & Yamamoto, A. Small-scale resistance spot welding of austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering: A*, 492(1-2), 243-249, 2008.
- [19] Odabaş, C., *Paslanmaz Çelikler*, As Kaynak Yayınları, s66-67, İstanbul, 2002.
- [20] Nishimoto, K., "Fundamentals of stainless steel welding" Part 1 - Structures of stainless steel welds, *Welding International* 15 (1), 74-80, 2001
- [21] Gözütok, E., Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi, MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [22] 2022, Wikimedia Commons, (Online), Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme\\_schaeffler.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_schaeffler.svg)
- [23] AghaAli, I., Farzam, M., Golozar, M. A., & Danaee, I. (2014). The effect of repeated repair welding on mechanical and corrosion properties of stainless steel 316L. *Materials & Design*, 54, 331-341, (1980-2015).



# Öksürük Sesi Kayıtlarından Spektral Özellikler ile Otomatik COVID-19 Tespiti

Semiye Demircan

Bilgisayar Mühendisliği/Konya Teknik Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8570-2412), [sdemircan@ktun.edu.tr](mailto:sdemircan@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083052)

**ATIF/REFERENCE:** Demircan, S. (2022) Öksürük Sesi Kayıtlarından Spektral Özellikler ile Otomatik COVID-19 Tespiti. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (34), 492-495.

## Öz

COVID-19 pandemisi son iki yıldır dünyada hızla yayılmış ve bu alanda yapılan çalışmalar da artmıştır. COVID-19 olan hastaların, hasta olmayanlardan ayırt edilmesi de pandemideki en önemli sorunlardan bir tanesidir. Gerek hastalığın erken teşhisi gerekse hasta olmayanlara bulaşma riski açısından COVID-19'un otomatik tespiti oldukça önem arz etmektedir. Hastalığın teşhisinde farklı semptomların görülebilmesi ve hatta hiç semptom görülmeden bile oluşabilmesi teşhisi çok daha zor hale getirmiştir. Bu durum hastalığın teşhisi konusunda yapılan çalışmaları arttırmıştır. Öksürük ses kayıtları gibi solunum kayıtlarında var olan önemli özellikler kullanılarak teşhis yapılabilmesi de bu uygulamalardan bir tanesidir. Bu çalışmada öksürük ses kayıtları kullanılarak otomatik COVID-19 hastalık tespiti yapılmıştır. "COVID-19 Positive and Negative Patients' Cough Recordings" (HIMANSHU) veri seti kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada ilk olarak ses dosyalarından Mel-Frekansı Cepstrum Katsayıları (MFCC) çıkarılmıştır. Farklı sayıda olan MFCC öznitelikleri istatistiksel değerler kullanılarak eşit boyutlu hale getirilmiştir. MFCC yöntemi ile elde edilen spektral özellikler 8, 16, 32, 64 tane olacak şekilde dört farklı uzunlukta katsayılar çıkarılmıştır. Son olarak makine öğrenmesi algoritmalarından Yapay Sinir Ağları (YSA), Naive Bayes (NB), K-en Yakın Komşu Algoritması (kNN), Rastgele Orman (RO) algoritmaları kullanılarak hastalık teşhisi yapılmıştır. Yapılan çalışmada COVID veya COVID-DEĞİL şeklinde 2 sınıf kullanılmıştır. Uygulama on çapraz doğrulama yöntemi ile çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda en yüksek sınıflandırma başarısı kNN algoritması ile % 99.39 olarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19 Tespiti, Öksürük Sesi, MFCC, YSA, Spektral Özellikler

## Automatic COVID-19 Detection with Spectral Features from Cough Sound Recordings

### Abstract

The COVID-19 pandemic has spread rapidly around the world in the last two years, and studies in this area have also increased. Distinguishing patients COVID-19 or not is one of the most important problems in the pandemic. Automatic detection of COVID-19 is very important in terms of both early diagnosis of the disease and the risk of transmission to non-patients. The fact that different symptoms can be seen in the diagnosis of the disease and even occur without any symptoms has made the diagnosis much more difficult. So, the studies have focused on the diagnosis of the disease. Diagnosis can be made by using the important features of respiratory recordings, such as cough sound recordings. In this study, automatic COVID-19 disease detection was performed using cough voice recordings. In the study carried out using the "COVID-19 Positive and Negative Patients' Cough Recordings" (HIMANSHU) dataset, firstly, Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) were extracted from audio files. Different numbers of MFCC features were made equal in size using statistical values. The spectral features obtained by the MFCC method are 8, 16, 32, 64, and coefficients of four different lengths have been extracted. Finally, the disease diagnosis was made using Artificial Neural Networks (ANN), Naive Bayes (NB), K-Nearest Neighbor Algorithm (kNN), Random Forest (RF) algorithms from machine learning algorithms. In the study, 2 classes were used as COVID or NOT-COVID. The application was run with ten cross validation methods. Finally, the highest classification success was achieved with the kNN algorithm as 99.39%.

**Keywords:** Detection COVID-19, Cough Sound, MFCC, Spectral Features, ANN

## 1. Giriş

Covid-19, şiddetli akut solunum sendromu Coronavirus2 (SARS-CoV-2) yeni bir patajeni olan Corona Virüsü 2019 (COVID-19) Kasım 2019'un sonudna ortaya çıktı ve Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization - WHO) tarafından 11 Mart 2020'de pandemi ilan edildi (*Coronavirus disease 2019 (covid-19): situation report 162*, 2020; Dong, Du, & Gardner, 2020). Pandemi başlangıcından bu yana 430.257.564 kişiyi etkileyen Coronavirus 27 Şubat 2022 tarihi itibarıyla 5.922.047 insanın ölümüne yol açtı ("WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard,"). Bir milyona yaklaşan ölüm sayısı ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) en çok etkilenen ülkeler arasında ilk sıradadır ("WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard,"). Hastalığın ilerlemesindeki en büyük faktör hastalığın farklı semptomlar göstermesinin yanı sıra bazı hastaların hiç semptom göstermemesidir. Ateş, inatçı öksürük, karın ağrısı, göğüs ağrısı ve ses kısıklığı görülen semptomlar arasındadır (Menni et al., 2020). Hastalığın teşhisinde kullanılan en yaygın yöntem PCR testidir. PCR testinin hızlı sonucu vermesi bir avantaj olsa da test sayısındaki sınırlamalar, maliyet ve hastaların hastaneye gitmek zorunda olmaları gibi dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlardan dolayı COVID-19 tespiti için farklı yollar araştırılmıştır. Bunlardan biri de öksürük sesinden hastalık teşhisidir.

Öksürük genellikle kapalı bir nefes borusunun ağzına karşı zorunlu bir manevrayla oluşan karakteristik bir sestir (Morice et al., 2004). COVID-19'un da belirtileri arasında yer alan öksürük, bilim insanlarını hastalığın teşhisine dair araştırmalara konu olmuştur.

İslam ve ark. (Islam, Abdel-Raheem, & Tarique, 2022) yaptıkları çalışmada öksürük sesi örnekleri ve derin bir sinir ağı kullanarak COVID-19'un otomatik teşhisi için bir algoritma geliştirmeyi içeren bir çalışma sunmuşlardır. Önerilen algoritmada öksürük sesinden akustik özellikler çıkarılarak bir öznitelik vektörü oluşturulmuştur. Daha sonra Derin Sinir Ağı (Deep Neural Network -DNN) algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmış ve %97.5 sınıflandırma başarıları elde edilmiştir.

Tena ve ark. (Tena, Clarià, & Solsona, 2022) COVID-19'un otomatik tespiti için ücretsiz olarak erişilebilen, hızlı ve verimli bir metodoloji tasarlamayı amaçlamışlardır. Öksürük sesinden zaman-frekans özelliklerini çıkararak elde ettikleri öznitelik kümesine Rastgele Orman (RO) Algoritması uygulayarak sınıflandırma işlemi yapmışlardır. Öksürük sesinden otomatik COVID-19 teşhis etmeyi amaçlayan bu çalışma da %90'a yakın başarı elde etmişlerdir.

Melek (Mesut, 2021) çalışmasında, öksürük sesini analiz ederek COVID-19 olan ve COVID-19 olmayan hastaların ayırımı yapmıştır. Mel-Frekansı Kepstrum Katsayıları (MFCC) yöntemi kullanılarak öznitelikler elde etmiştir. Tek-çıkışlı çapraz doğrulama (leave-one-out cross-validation, LOO-CV) stratejisi uygulanarak k-en yakın komşuluk (kNN) algoritması ile sınıflandırmıştır. Sıralı ileri seçim (SFS) yöntemi uygulanarak yapılan çalışmada %0.98 sınıflandırma başarıları elde etmiştir.

Mohanad ve ark. (Alkhodari & Khandoker, 2022) çalışmalarında, 120 tane Covid-19 ve 120 tane Covid-19 olmayan sağlıklı kişiler tarafından kaydedilen nefes sesi kayıtlarının bulunduğu, Caswara veri tabanını kullandılar. MFCC katsayıları çıkarıldıktan sonra tanıma için CNN-BİLSTM e-ISSN: 2148-2683

derin öğrenme yöntemini önermişlerdir. Önerilen yöntemle %94.58 sınıflandırma başarıları elde etmişlerdir.

Literatürde de özetlendiği gibi COVID-19 tespitinde öksürük sesinin önemi açıktır. Bu çalışmada da "COVID-19 Cough Recordings COVID-19 Positive and Negative Patients' Cough Recordings" başlıklı HIMANSHU tarafından oluşturulan ve en son 9 ay önce update edilen "Kaggle" veri seti (*COVID-19 Cough Recordings / COVID-19 Positive and Negative Patients' Cough Recordings*, 2021) kullanılmıştır. Toplam 166 veri bulunan bu veri setinden MFCC yöntemi ile çıkarılan özelliklere istatistik değerleri uygulanmıştır. Elde edilen veri seti Yapay Sinir Ağları (YSA), Naive Bayes (NB), K-en Yakın Komşu Algoritması (kNN), Rastgele Orman (RO) Algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Sonuçların kabul edilebilir AUC değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma şu şekilde planlanmıştır: Kullanılan materyal ve yöntemler ikinci bölümde, gerçekleştirilen performans bulgular ve tartışma üçüncü bölümde sonuç ise dördüncü bölümde sunulmuştur.

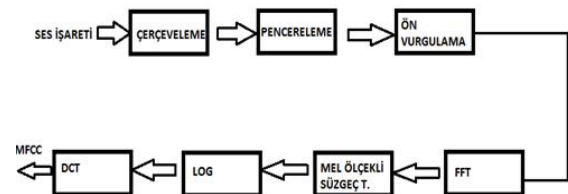
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Veri Seti

Bu çalışmada HIMANSHU tarafından oluşturulan açık erişimli COVID-19 öksürük kayıtları (*COVID-19 Cough Recordings / COVID-19 Positive and Negative Patients' Cough Recordings*, 2021) kullanılmıştır. Bu veri setinde 19 tane COVID-19 hastası ve 147 tane COVID-19 olmayan kişilere ait öksürük ses kayıtları bulunmaktadır. Veri tabanı 2021 de oluşturulmuş ve en son 9 ay önce güncellenmiştir. Veri tabanında bulunan "trial\_covid" ses kayıtları kullanılarak elle özellikler çıkarılmıştır.

### 2.2. Mel -Frekans Kepstrum Katsayıları (MFCC)

Ses sinyallerinden özellik elde edilirken, en çok kullanılan spektral özelliklerin başında Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (MFCC) gelir. MFCC özellikleri insan kulağını modellemektedir (Becchetti & Prina-Ricotti, 2004). MFCC yöntemi öksürük, nefes ses kayıtlarından COVID-19 teşhisi yapan uygulamalarda da oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Bansal, Pahwa, & Kannan, 2020; Zhou et al., 2021). MFCC katsayılarını elde ederken uygulanan işlem adımları sırasıyla: Çerçeveleme, Pencereleme, Ön Vurgulama, Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT), Mel Ölçekli Süzgeç, Logaritma Alma (LOG), DCT (Dönüşüm) (Becchetti & Prina-Ricotti, 2004). (Şekil 1)



Şekil 1. MFCC işlem adımları

Çerçevelemede giriş işareti, M örnekten oluşan kısımları örtüşen N örnek uzunluğunda konuşma parçalarına bölünür ( $M < N$ ). Çerçeveleme işleminden sonraki adım olan pencereleme işleminde amaç sinyalin başındaki ve sonundaki süresiz



kısımları azaltmak, dolayısıyla sinyalin başındaki ve sonundaki bilgi içermeyen bölümleri bastırarak spektral bozulmayı engellemektir. Hamming pencere fonksiyonu kullanılarak pencereleme işlemi gerçekleştirilir. Hamming pencere fonksiyonu Denklem 1 de gösterilmektedir. (Becchetti & Prina-Ricotti, 2004)

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 1 \leq n \leq N \quad (1)$$

Ön vurgulama işleminde giriş işareti birinci dereceden bir Sonlu Dürtü Yanıtı Filtresi-FIR süzgeç girişine uygulanır. Amaç sinyalin yüksek frekans bileşenlerini daha baskın hale getirmektir. N örnekten oluşan konuşma parçasını zaman domeninden, frekans domenine çevirmek için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanır. Konuşma sinyallerinin frekans ortamındaki içeriklerinin doğrusal ölçekli olmadığı akustik çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur 1 kHz frekanslı bir sesin, insan kulağının algısal duyma eşliğinin 40 dB yukarısı 1000 mel kHz olarak tanımlanır. Diğer değerler referans sese göre ayarlanır Mel ölçeği 1 kHz'e kadar doğrusal, 1 kHz'den sonra ise logaritmik olarak değişen aralıklarla ifade edilen bir ölçektir. Verilen bir f (Hz) frekansını mel frekansı ölçeğinde ifade etmek için Denklem 2 kullanılır: (Becchetti & Prina-Ricotti, 2004)

$$mel(f) = 2595 \log\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (2)$$

### 2.3. Sınıflandırıcılar

Bu çalışmada hastalık teşhisi için dört farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır. YSA insan beynin çalışma mantığından esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır (Elmas, 2003).

İkinci olarak K-en Yakın Komşu Algoritması (kNN) kullanılmıştır. kNN algoritması bir örnek tabanlı öğrenme biçimidir, yani yeni gözlemler sınıflandırırken hafızada tutulan bir veri kümesi kullanılır. Bu hafızadaki veri kümesinde hedef değişkenin alacağı değerler bellidir. (Akküçük, 2011)

Üçüncü olarak en iyi bilinen Bayes öğrenme metodu olan Sade Bayes (NB) öğrenme algoritması kullanılmıştır.

Son sınıflandırma yöntemi olan Rastgele Orman (RO) algoritması denetimli bir sınıflandırma algoritmasıdır.

## 3. Uygulama- Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada HIMANSHU tarafından oluşturulan açık erişimli COVID-19 öksürük kayıtları (*COVID-19 Cough Recordings / COVID-19 Positive and Negative Patients' Cough Recordings*, 2021) kullanıldı. Özellik veri seti MFCC yöntemi kullanılarak elde edildi. Farklı boyutlarda MFCC katsayıları oluşturuldu.

Uygulamada ilk olarak verilerden MFCC öznelikleri çıkarılmıştır. MFCC özellikleri 8, 16, 32, 64 adet olacak şekilde dört farklı uzunlukta oluşturulmuştur. Her bir veriden 8 Mel Katsayısı çıkarılarak elde edilen veri seti Veri-Seti-1, 16 Mel Katsayısı çıkarılarak elde edilen veri seti Veri-Seti-2, 32 Mel Katsayısı çıkarılarak elde edilen veri seti Veri-Seti-3, 64 Mel Katsayısı çıkarılarak elde edilen veri seti Veri-Seti-4 olarak isimlendirilmiştir. Elde edilen katsayılar farklı boyuttadır. Bu durumda katsayılar sınıflandırmaya giriş olarak verilirken sorun oluşturacağından ikinci adım olarak her bir katsayı için istatistiksel değerler kullanılarak boyut eşitleme işlemi yapılmıştır. Kullanılan istatistiksel özellikler maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, skewness, kurtosis ve median değerleridir. (Semiye Demircan, 2020)(S. Demircan & Ornek, 2020)

Oluşturulan veri setleri dört farklı sınıflandırıcı ile sınıflandırılmıştır. Uygulamalarda 10 çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Her bir sınıflandırıcı sonucunda elde edilen Sınıflandırma Doğruluğu (SD), Eğrinin Altında Kalan Alan (ing. Area Under the Curve- AUC) ve Kappa İstatistiği değeri Tablo-1'de verilmiştir.

Doğru sınıflandırılmış pozitif örneklerin yanlış pozitiflere oranı ROC (ing. Receiver operating Characteristic) eğrisi olarak tanımlanır. AUC ise bu eğrinin altında kalan alan hesabı ile ifade edilir. 0-1 arasında bir değerdir. AUC değeri ne kadar büyük ise kullanılan modelin farklı sınıflara ayırmadaki başarısı da o kadar yüküktür.

Tablo 1. Öksürük se kayıtlarında elde edilen sınıflandırma Doğruluğu

Veri Kümesi	Sınıflandırıcı	SD (%)	AUC (%)	Kappa ist.
Veri-Seti-1	YSA	97.59	0.99	0.88
	NB	96.98	0.98	0.85
	kNN	99.39	0.99	0.97
	RO	95.18	0.88	0.76
Veri-Seti-2	YSA	98.19	0.99	0.91
	NB	96.98	0.99	0.84
	kNN	99.39	0.99	0.97
	RO	98.79	0.99	0.93
Veri-Seti-3	YSA	98.19	0.99	0.91
	NB	92.17	0.89	0.65
	kNN	99.39	0.99	0.97
	RO	96.38	0.99	0.79
Veri-Seti-4	YSA	98.19	0.99	0.91
	NB	96.39	0.92	0.80
	kNN	99.39	0.99	0.97
	RO	95.18	0.88	0.75

Kappa katsayısı 0-1 değerleri arasında değişen istatistiksel bir değerdir. Buna göre kappa = 1 tam uyumu, kappa = 0 ise zayıf uyumu temsil etmektedir. Kappa değeri 0.4'ün üzerinde ise kappa istatistiği kabul edilebilir bir anlaşmayı ifade eder. (Landis & Koch, 1977)

Tablo 1'de görüldüğü gibi en yüksek SD değeri %99.39 ile kNN sınıflandırıcı ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre YSA ile %98.19, NB ile %96.39 RO ile % 98.79 en iyi SD değerleri olarak gözlemlenmiştir. AUC değerlerine baktığımızda performans sonuçlarındaki ROC eğrisi altında kalan alanın 0.88 ve üstü olduğu görülmektedir. Bu da modelin farklı sınıflara ayırmadaki başarısını ortaya koymaktadır. Kappa istatistiği değerlerinin 0.4'ün üzerinde olduğundan kabul edilebilirdir.

Gerçekleştirilen çalışmada öksürük ses kayıtlarından spektral özelliklerden biri olan MFCC özellikleri çıkarılarak, COVID-19 olan ve COVID-19 olmayan hastaların ayrımının yapılabileceği gösterilmiştir.

#### 4. Sonuç

COVID-19 hastalığının otomatik tespitinde yapılan çalışmalara bakıldığında az bir maliyetle ve hastalığın yayılmasını önlemek adına teması en aza indiren hızlı bir yöntem olarak öksürük ses kayıtlarından hastalık teşhisi oldukça önemlidir. Bu çalışmada HIMANSHU tarafından oluşturulan COVID-19 veri tabanındaki öksürük sesi kayıtları kullanılarak spektral özellikler elde edilmiştir. Spektral özellik olarak MFCC öznitelikleri seçilmiştir. Farklı sayıda Mel katsayıları elde edilerek sunulan çalışmada Mel katsayı sayısının sınıflandırma doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Dört farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır. Bu veri tabanı üzerinde elle çıkarılan MFCC öznitelikleriyle yapılan ilk çalışmadır. Sonraki çalışmalarda spektral özelliklerin yanında prosodi özelliklerin ve frekans değerlerinin de sınıflandırmaya dahil edilerek hastalık teşhisine etkisi incelenecektir.

#### Kaynakça

Akküçük, U. (2011). *Veri Madenciliği - Kümeleme ve Sınıflandırma Algoritmaları* (Vol. 1). İstanbul: Yalın Yayıncılık.

Alkhodari, M., & Khandoker, A. H. (2022). Detection of COVID-19 in smartphone-based breathing recordings: A pre-screening deep learning tool. *PLOS ONE*, *17*(1), e0262448. doi:10.1371/journal.pone.0262448

Bansal, V., Pahwa, G., & Kannan, N. (2020, 2-4 Oct. 2020). *Cough Classification for COVID-19 based on audio mfcc features using Convolutional Neural Networks*. Paper presented at the 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON).

Becchetti, C., & Prina-Ricotti, L. (2004). *Speech Recognition; theory an C++ Implementation*: John Wiley & Sons.

Coronavirus disease 2019 (covid-19): situation report 162. (2020). Retrieved from <https://www.kaggle.com/himanshu007121/coughclassifier-trial>

Demircan, S. (2020). *Duygu Sınıflandırma Problemine Etmen Tabanlı Yaklaşım*. (PHD), Konya Teknik Üniversitesi , Lsiastüstü Eğitim Enstitüsü.

Demircan, S., & Ornek, H. K. (2020). Comparison of the Effects of Mel Coefficients and Spectrogram Images via Deep Learning in Emotion Classification. *Traitement Du Signal*, *37*(1), 51-57. doi:10.18280/ts.370107

Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *Lancet Infect Dis*, *20*(5), 533-534. doi:10.1016/S1473-3099(20)30120-1

Elmas, Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)* (Vol. 1). Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Islam, R., Abdel-Raheem, E., & Tarique, M. (2022). A study of using cough sounds and deep neural networks for the early detection of Covid-19. *Biomedical Engineering Advances*, *3*, 100025. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bea.2022.100025>

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33*(1), 159-174. doi:10.2307/2529310

Menni, C., Valdes, A. M., Freidin, M. B., Sudre, C. H., Nguyen, L. H., Drew, D. A., . . . Spector, T. D. (2020). Real-time tracking of self-reported symptoms to predict potential COVID-19. *Nature Medicine*, *26*(7), 1037-1040. doi:10.1038/s41591-020-0916-2

Mesut, M. (2021). Diagnosis of COVID-19 and non-COVID-19 patients by classifying only a single cough sound. *Neural Computing & Applications*, *33*(24), 17621-17632.

Morice, A. H., Fontana, G. A., Sovijarvi, A. R. A., Pistolesi, M., Chung, K. F., Widdicombe, J., . . . Kastelik, J. (2004). The diagnosis and management of chronic cough. *European Respiratory Journal*, *24*(3), 481-492. doi:10.1183/09031936.04.00027804

Tena, A., Clarià, F., & Solsona, F. (2022). Automated detection of COVID-19 cough. *Biomedical Signal Processing and Control*, *71*, 103175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103175>

WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. Retrieved from <https://covid19.who.int/>

Zhou, Q., Shan, J. H., Ding, W. L., Wang, C. Y., Yuan, S., Sun, F. C., . . . Fang, B. (2021). Cough Recognition Based on Mel-Spectrogram and Convolutional Neural Network. *Frontiers in Robotics and Ai*, *8*. doi:ARTN 58008010.3389/frobt.2021.580080



# Immobilization of Amylases via Adsorption on Agar-Coated Magnetic Nanoparticles

Nihal Yılmaz<sup>1</sup>, Suzan Biran Ay<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6682-3745), [niyalymaz@gmail.com](mailto:niyalymaz@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2968-4982), [suzanba@eskisehir.edu.tr](mailto:suzanba@eskisehir.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083196)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, N. & Biran Ay, S. (2022). Immobilization of Amylases via Adsorption on Agar-Coated Magnetic Nanoparticles. *European Journal of Science and Technology*, (34), 496-500.

## Abstract

In this study, a new method for simultaneous synthesis and coating of magnetic iron oxide nanoparticles was employed, where ferric and ferrous ions were co-precipitated within an aqueous solution containing agar at room temperature under inert atmosphere. X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that synthesized nanoparticles were pure Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with a cubic structure and crystallite size ranging between 9.38 and 10.11 nm. The scanning electron microscope (SEM) images demonstrated the increasing surface roughness as concentration of surface coating material increased. The produced magnetic particles were used as a support for α-amylase immobilization by adsorption method. Effects of sonication, immobilization time (0.5; 1; 2; 4; 8; 16 h) concentration of surface coating material (0; 0.5; 1% w/v agar), immobilization pH (pH 3,4,5,6,7) on protein loading, enzyme activity and specific activity were investigated. Sonication did not enhance amylase immobilization. Based on the specific activity of the enzyme, the optimum adsorption was achieved at pH 4 and 5 after 4h-immobilization time, where, compared to the free α-amylase, a 3-fold increase in specific activity and 360% increase in relative activity was measured, respectively.

**Keywords:** Magnetic nanoparticles, Fungal alpha amylase, Enzyme immobilization, Adsorption method.

## Agar-Kaplı Manyetik Nanopartiküller Üzerine Adsorpsiyon ile Amilaz İmmobilizasyonu

### Öz

Bu çalışmada, inert atmosfer altında oda sıcaklığında agar içeren sulu bir çözelti içinde ferrik ve ferröz iyonlarının birlikte çöktildiği, manyetik demir oksit nanopartiküllerin eşzamanlı sentezi ve kaplanması için yeni bir yöntem kullanıldı. X-ışını kırınımı (XRD) analizi, sentezlenen nanopartiküllerin kübik yapıya ve 9.38 ile 10.11 nm arasında değişen kristalit boyutuna sahip saf Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> olduğunu gösterdi. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, yüzey kaplama malzemesi konsantrasyonu arttıkça artan yüzey pürüzlülüğünü gösterdi. Üretilen manyetik partiküller adsorpsiyon yöntemiyle α-amilaz immobilizasyonu için destek olarak kullanıldı. Sonikasyon, immobilizasyon süresi (0,5; 1; 2; 4; 8; 16 saat), yüzey kaplama malzemesi konsantrasyonu (0; 0,5; %1 w/v agar), immobilizasyon pH'nın (pH 3,4,5,6, 7) protein yüklemesi, enzim aktivitesi ve spesifik aktivite üzerine etkileri araştırıldı. Sonikasyon, amilaz immobilizasyonunu arttırmadı. Enzimin spesifik aktivitesine dayalı olarak, optimum adsorpsiyon pH 4 ve 5'te 4 saatlik immobilizasyon süresinde elde edildi, bu koşullarda serbest α-amilaza kıyasla spesifik aktivitede 3 kat artış ve bağıl aktivitede %360 artış ölçüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetik nanopartikül, Fungal alfa amilaz, Enzim immobilizasyonu, Adsorpsiyon metodu.

\* Corresponding Author: [suzanba@eskisehir.edu.tr](mailto:suzanba@eskisehir.edu.tr)

## 1. Introduction

Enzymes, are proteins that catalyze the biochemical reactions in living organisms. Due to their high catalytic activity, selectivity, specificity, and biodegradability, they are often employed in industrial processes. In addition, they can operate at mild pH, temperature, and pressure, which decrease the by-product toxicity and corrosion of process equipment (Schmid et.al., 2001; Koeller & Wong, 2001). However, the recovery of these biocatalysts from the reaction effluent is challenging and usually they cannot be reused after the first run, which makes their utilization no longer economic (Datta et.al., 2012). This drawback can be overcome by enclosing enzymes via immobilization techniques.

The immobilization allows the easy recovery of enzyme, rapid termination of the chemical reaction and repeated use of the catalyst, which reduce the process cost. In addition, after immobilization, the storage stability, pH, and thermal resistance of the enzymes are usually improved. Based on these advantages, immobilized enzymes have been extensively applied in various applications such as pharmaceutical, food and feed, textile industries, wastewater treatment, medical diagnostics etc.

The commonly employed immobilization techniques involve physical adsorption (Junior et.al. 2016), covalent bonding (Zhu et.al., 2014), crosslinking (Sahutoglu & Akgul, 2015) and entrapment (Bilal & Asgher, 2015) of the biocatalysts. In addition to the immobilization method, the properties of the selected support material also significantly contribute to the efficiency of the biocatalyst.

After the enzymatic processes, the effective separation of immobilized biocatalysts from the reaction mixture is essential for the multiple use of the catalyst. In that respect, coupling enzymes with a magnetic support provides a simple separation of the biocatalytic system by the use of an external magnetic field. Magnetic nanoparticles (MNPs) constitute a promising carrier for the biocatalysts due to their high surface area to volume ratio. Moreover, the presence of hydroxyl groups on their surface facilitates the modification and activation of the particles to ensure enhanced immobilization of the biomolecules. Besides, the high mechanical stability and low porosity of the support provides the spatial orientation and mobility to the protein backbone, essential for the catalytic activity of the enzyme (Li et.al., 2013). All these features led to a substantial improvement in loading capacity of enzymes or biomolecules. More importantly, the magnetic properties of the support provide simple, easy, and cheap separation of the immobilized enzyme from the catalytic medium, ensuring immediate termination of the reaction as well as efficient recovery of the catalyst (Liu et.al., 2018).

In this study, bare and agar coated (0.5%- and 1%- w/v) magnetic nanoparticles were synthesized by co-precipitation and simultaneous-coating synthesis method at room temperature under an inert atmosphere. Synthesized particles were characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). Then,  $\alpha$ -amylase was immobilized onto particles with adsorption method. Immobilization parameters such as immobilization pH, time, sonication, and surface coating material were investigated.

## 2. Materials and Methods

Iron (II) chloride tetrahydrate ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), iron (III) chloride hexahydrate ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) and sodium hydroxide (NaOH), carboxymethylcellulose sodium salt (NaCMC), pectin and agar-agar were purchased from Carlo Erba, AFG Bioscience, Fisher Scientific, respectively, and used as obtained without further purification. Milli-Q water (15.0 M $\Omega$ cm at 21.8°C) was used for all steps of synthesis that required water.

### 2.1. Synthesis of Magnetic Nanoparticles

Magnetic nanoparticles were synthesized by co-precipitation method, where 0.25 M  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  and 0.5 M  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  aqueous solutions were prepared. Then, equal volumes of prepared ferric and ferrous solutions were mixed. 2M NaOH solution was used as a precipitation agent and added dropwise to the mixture under continuous stirring at room temperature until the solution became completely black. The reaction mixture was further deoxygenated by the flow of nitrogen gas. After the reaction, solution was repeatedly centrifuged at 3000 rpm for 3 minutes and washed until the supernatant pH was neutral. Precipitate was collected with an external magnetic field and dried in an oven at 40°C under vacuum pressure.

Polysaccharide-coated magnetic nanoparticles were synthesized by the simultaneous synthesis-coating method in the media containing agar-agar at different concentrations (0.5% and 1% w/v).

Synthesized magnetic nanoparticles were characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM, HITACHI TM3030Plus Benchtop).

### 2.2. Immobilization Studies

Fungal  $\alpha$ -amylase was immobilized onto synthesized bare and 0.5% and 1% w/v agar coated magnetic nanoparticles by adsorption method. In the immobilization studies effects of parameters such as sonication, immobilization time (0.5; 1; 2; 4; 8; 16 h) concentration of surface coating material (0; 0.5; 1% w/v agar), immobilization pH (pH 3,4,5,6,7) on the amount of bonded protein, enzyme activity and specific activity were investigated. The protein content of the solutions was measured using Bradford method (Bradford, 1976), enzyme activity was estimated with starch-iodine assay (Xiao et.al., 2006).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Characterization of Magnetic Nanoparticles

The crystallinity and structure of synthesized particles were identified by powder X-ray diffraction (XRD) on Rigaku Miniflex 600. All XRD patterns were collected using a Cu K $\alpha$  radiation source ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ), in a measuring range of 10- 80° on 2 $\theta$  scale at a scan speed 0.02° s<sup>-1</sup>.

Figure 1 illustrates the diffraction pattern of synthesized bare and coated iron oxide nanoparticles. The crystalline structures of particles were identified by matching specific peak positions and relative intensities to JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) card, file No. 00-019-0629. The characteristic diffraction peaks at 2 $\theta = 30.54, 36.00, 43.54, 53.82, 57.66, \text{ and } 63.28$ , and their indices (2 2 0), (3 1 1), (4 0 0), (4 2 2), (5 1 1), and (4 4 0), respectively, coincided with the peaks in the database for  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . This revealed that resultant nanoparticles were

pure Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with a cubic structure. The same peaks appeared for bare (Fig.1-c) and coated (Fig.1-a&b) magnetic particles, indicating that no other phase, such as Fe(OH)<sub>3</sub> or Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -the usual products in a chemical co-precipitation procedure, was formed. Thus, the crystalline structure of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> did not change on modification of particles with agar and agar coating occurred only at the surface of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

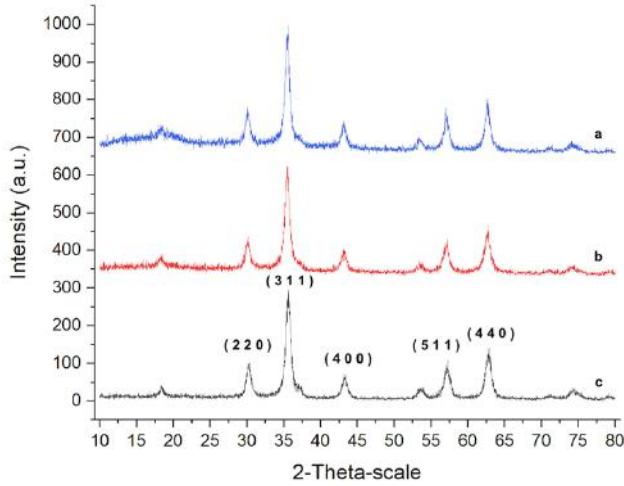


Fig. 1 XRD results of synthesized magnetic nanoparticles (a) 1% agar-coated, (b) 0.5% agar-coated, (c) naked particles

Additionally, average crystallite sizes of synthesized magnetic particles were calculated using Debye-Scherrer Equation (Equation 1):

$$D_{nm} = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

where K is constant,  $\lambda$  is X-ray wavelength and  $\beta$  is the peak width of half-maximum.

Crystallite size of bare magnetic particles, 0.5% agar-coated magnetic particles and 1% agar-coated magnetic particles found as 9.55 nm, 9.38 nm, and 10.11 nm, respectively.

The magnetic behavior of the agar-coated iron oxide nanoparticles synthesized in 0.5% (w/v) aqueous agar solution is also shown in Figure 2, where the response of the particles to an external magnet is demonstrated. The homogeneously dispersed solution (Fig.2-a) having dark brown/black color, immediately started to decolorize indicating the migration of the particles towards the magnet (Fig. 2-b). After 71 s the aqueous solution containing magnetic nanoparticles was completely cleared, gathering all the particles to the magnet (Fig.2-c).



Fig. 2. Synthesized 0.5% w/v agar coated magnetic particles with an external magnetic field after (a) 0 s, (b) 15 s and (c) 71s

Scanning electron microscopy (SEM) was applied to evaluate the surface morphology of the synthesized magnetic particles (Fig.3). The bare magnetic particles had smooth surfaces and sharp edges (Fig.3-a), with the addition of agar in synthesis media,

the distinctive surfaces and edges smoothed (Fig.3-b) and eventually the whole surface was roughened up (Fig. 3-c). This showed that agar-coating increased the roughness, i.e., the surface area of the magnetic support.

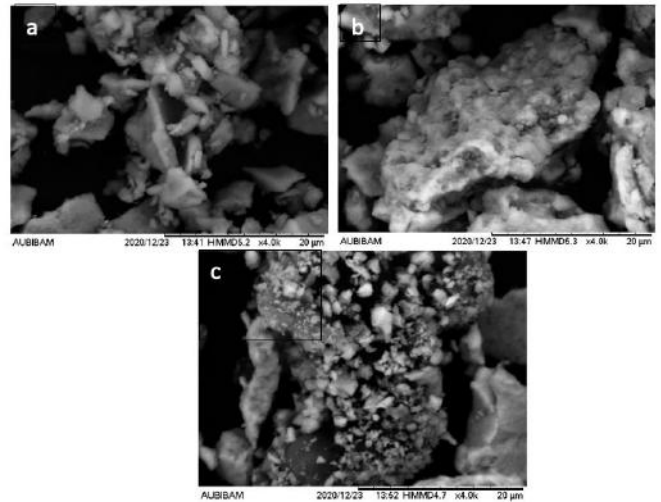


Fig. 3. SEM images (magnification:  $\times 4.0K$ ) (a) bare, (b) 0.5% w/v agar-coated and (c) 1% w/v agar-coated particles

### 3.2. Immobilization Studies

1 mg/mL fungal  $\alpha$ -amylase was immobilized onto 0.01 g bare and 0.5% w/v agar-coated magnetic particles. Particles were suspended in enzyme solution at pH=7, and the immobilization was carried out in an ultrasonic bath (40kHz) and at room conditions for 30 min. Then, particles were washed 2 times and the amount of bonded protein was calculated by subtracting the amount of protein in the wash solutions from the total protein in the initial enzyme solution before immobilization.

Table 1. Effect of sonication in enzyme immobilization

Immob. method	pH	Particle	Bonded Protein (%)
Room Cond	7	Free Enzyme	100 (0.09*)
		Bare	53.10
		0.5% Agar-Coated	65.61
Sonication	7	Free Enzyme	100 (0.12*)
		Bare	53.95
		0.5% Agar-Coated	44.72

\*protein amount in free enzyme (mg protein)

No evidence, suggesting that sonication enhanced enzyme immobilization, was observed. On the contrary, exposure to sonication resulted in a change in color of washing solutions (Fig 4). Thus, Bradford's analysis did not work properly. After that, all immobilization studies were performed at room conditions.

To investigate the effect of immobilization pH, studies were performed with enzyme solutions at different pH (0.05 M pH 3-4-5-6-7 citric acid-phosphate buffers). Amount of bonded protein

was calculated, and enzyme activity and specific activity at pH 4.5 and 55°C were measured by starch-iodine method.

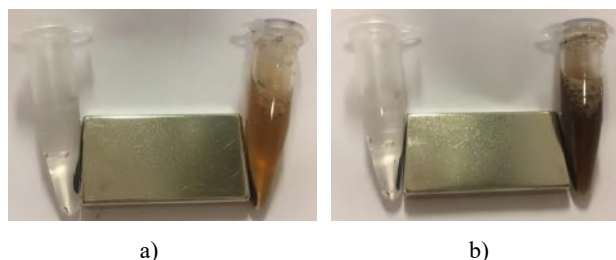


Fig.4. Washing solutions of exposure the sonication (right) and room conditions (left), (a) bare and (b) 0.5%w/v agar-coated particles

When the immobilization pH was 3, 99.89% of the enzyme was adsorbed on the magnetic support (Table 2). However, the measured enzyme activity was very low, specifying that the bound enzymes did not work properly. This might indicate that the three-dimensional conformation of the enzyme exposed the functional groups on the protein backbone that enhanced the adsorption of the enzyme to the support. However, the unfavorable positioning of the enzymes in the immobilization process probably hindered the active sites and reduced their activity.

Table 2. Effect of pH in enzyme immobilization

pH	Enzyme	Bonded Protein (%)	Act (U)	Sp. Act. (U/mg prot.)	Relative Act. (%)
3	Free	100 (0.11*)	0.56	4.95	100
	Immob.	99.89	0.45	4.00	80.81
4	Free	100 (0.07*)	14.7	221.7	100
	Immob.	20.92	0.57	40.7	18.36
5	Free	100 (0.09*)	19.4	223.1	100
	Immob.	3.74	0.49	152.2	68.24
6	Free	100 (0.06*)	18.1	291.3	100
	Immob.	18.13	0.45	40.0	13.71
7	Free	100 (0.12*)	24.16	198.4	100
	Immob.	26.21	0.59	18.45	9.30

\*protein amount in free enzyme (mg protein)

Since the main purpose of enzyme immobilization is to use enzymes repeatedly and in the most efficient way, it is more essential to obtain magnetic particles with high specific activity rather than the high amount of protein loading. Therefore, when the specific activities were evaluated, it was seen that the immobilization processes at pH 4 and 5 gave more efficient results, and the study was continued in environments with these pH values.

The studies on the effect of immobilization time were conducted for periods of 0.5, 1, 2, 4, 8, and 16 hours, using pH 4 and pH 5 buffer solutions. The 0h results in Table 3 represent the free enzyme activity values. In general, the prolonged

immobilization time resulted in increased enzyme loading. This, in turn, led to a substantial decrease in enzyme activity. It was considered that the high amylase loading resulted in an intermolecular steric hindrance, which restrained the mobility of the protein backbone and limiting the catalytic activity of the enzyme, as well as diminishing the diffusion of the substrate restricting it from reaching the active site of the enzyme. It was concluded that excessive loading should be avoided for optimum catalytic performance (Bai et.al, 2011; Sohrabi et.al., 2013; Jiang et.al., 2016; Ranjbakhsh et.al., 2012).

Table 3. Effect of time in enzyme immobilization

t (h)	pH	Bonded Protein (%)	Act (U)	Sp. Act. (U/mg prot.)	Relative Act. (%)
0	4	100 (0.067*)	6.43	96.1	100
	5	100 (0.078*)	11.04	141.5	100
0.5	4	17.078	0.482	42.1	43.85
	5	7.612	0.422	71.1	73.94
1	4	4.353	0.370	127.1	131.8
	5	6.158	0.363	81.7	57.77
2	4	3.907	0.424	162.2	168.7
	5	4.167	0.375	115.4	120.1
4	4	10.716	0.348	48.5	50.49
	5	0.962	0.382	509.3	360.0
8	4	57.149	0.098	2.6	2.67
	5	2.725	0.084	39.3	27.79
16	4	72.218	0.125	2.6	2.68
	5	13.223	0.074	7.2	5.06

\*protein amount in free enzyme (mg protein)

The specific activity reached a maximum value when immobilization pH was adjusted to 5 and time was restricted to 4 h (Fig 6.). Although, the absolute activity of the immobilized amylases was relatively low (0.382 U) compared to other measured values (0.482 U at pH=4 for 0.5 h immobilization time), the specific activity attained a maximum of 509.3 U/mg protein. The results demonstrated that for a considerably small amount of enzyme a substantial activity was accomplished. Moreover, compared to the free enzyme, where no limitations in terms of enzyme conformation and substrate/product diffusion is experienced, the immobilized amylase exhibited an outstanding catalytic performance of 360% relative activity. This implied that the immobilization process, despite its restrictions, stabilized and enhanced the catalytic activity of the enzyme.

## 4. Conclusions and Recommendations

The present study aimed to investigate the effect of immobilization parameters such as sonication, immobilization time and immobilization pH on bonded protein amount, enzyme activity and specific activity of amylases. A facile method for simultaneous synthesis and coating of the magnetic support was applied. The functional groups on the synthesized magnetic nanoparticles were agar. The XRD patterns proved that pure Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with crystallite size of approximately 10 nm was produced and the coating process did not affect the magnetite's structure. An immobilized process at room conditions at pH=5 for 4 h

resulted in the best  $\alpha$ -amylase performance, which showed a specific activity increase of 360% compared to the free enzyme.

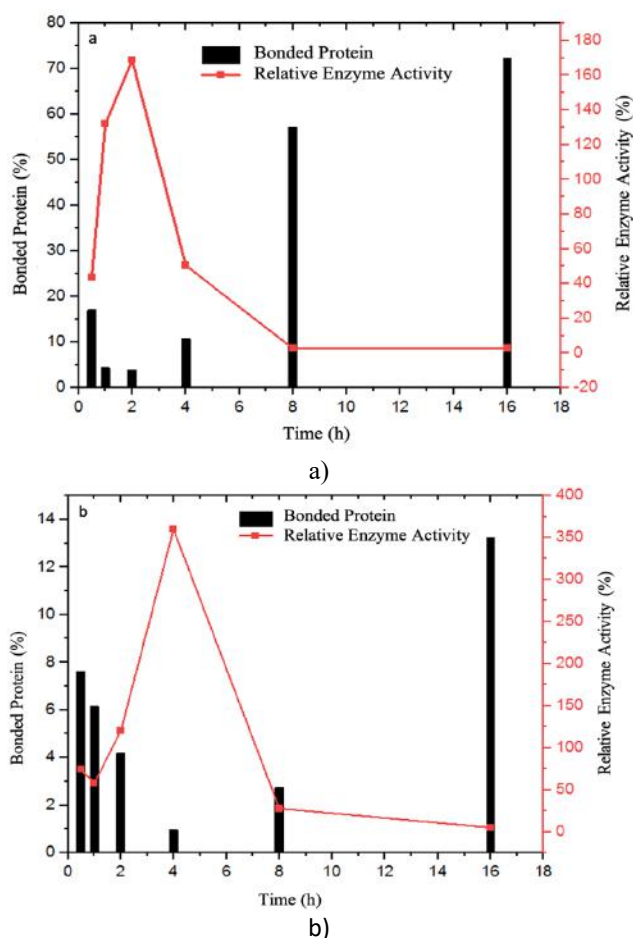


Fig.6. Effect of immobilization time on the amount of bonded protein and relative activity of enzymes adsorbed on 0.5% w/v agar-coated magnetic particles at (a) pH 4 and (b) pH 5.

Experiments showed that alpha amylase was adsorbed onto synthesized magnetic nanoparticles successfully and worked properly. However, leakage of the immobilized enzyme was also observed, indicating that future studies should be focused on methods providing firmer attachment of the enzymes to the magnetic support.

## 5. Acknowledgements

Authors would like to thank the Anadolu University Plant Drug and Scientific Research Center (AUBIBAM) for the SEM images. This work was financially supported by Eskisehir Technical University (ESTU) research fund with project number 20ADP099 and TÜBİTAK — The Scientific and Technological Research Council of Turkey with the project no. TÜBİTAK 20AG025 under program no. TÜBİTAK 20AG001. Nihal Yılmaz was supported by TUBITAK-BIDEB 2210/C National Scholarship Program for MSc students.

## References

Bai, H., Zhaoyang, L., Darren D.S., (2011). Highly water soluble and recovered dextran coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles for brackish water desalination. *Separation and Purification Technology* (81), 392-399.

Bilal, M., Asgher, M., (2015). Sandal reactive dyes decolorization and cytotoxicity reduction using manganese peroxidase

immobilized onto polyvinyl alcohol- alginate beads. *Chemistry Central Journal* (9)1, 47.

- Bradford, M.M., (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein. *Analytical Biochemistry*, 248-254.
- Datta, S., Christena, L.R., Rajaram, Y.R.S., (2012). Enzyme immobilization: an overview on techniques and support materials, *3 Biotech* (3), 1-9.
- Jiang, D., Long, S., Huang J., Xiao, H., Zhou, J., (2016). Immobilization of Pycnoporos sanguineus laccase on magnetic chitosan microsphere, *Biochem Eng.* (25), 15-23.
- Junior, J.C.Q., Ferrazrezi, A.L., Borges, J.P., Brito, R.R., Gomes, E., Silva, R., Guisan, J.M., Boscolo, M., (2016). Hydrophobic adsorption in ionic medium improves the catalytic properties of lipases applied in the triacylglycerol hydrolysis by synergism. *Bioprocess and Biosystems Engineering* (39), 1933-1943.
- Koeller, K.M., Wong, C.H., (2001). Enzymes for chemical synthesis. *Nature* (409), 232-240.
- Li, X., Zhu, H., Feng, J., Zhang, X., Deng, B., Zhou, B., Zhang, H., Xue, D., Li, F., Mellors, N.J., Li, Y., Peng, Y., (2013). One-pot polyol synthesis of graphene decorated with size- and density-tunable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for porcine pancreatic lipase immobilization. *Carbon* (60), 488-497.
- Liu, D.M., Chen, J., Shi, Y.P., (2018). Advances on methods and easy separated support materials for enzyme immobilization. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* (102), 332-342.
- Ranjbakhsh, E., Bordbar, A.K., Abbasi, M., Khosropour, A.R., Shams, E., (2012). Enhancement of stability and catalytic activity of immobilized lipase on silica-coated modified magnetite nanoparticles. *Chemical Engineering Journal* (179), 272-276.
- Sahutoglu, A.S., Akgul, C., (2015). Immobilization of *Aspergillus oryzae* alpha amylase and *Aspergillus niger* glucoamylase as cross-linked enzyme aggregates. *Chemical Papers* (69), 433-439.
- Schmid, A., Dordick, J.S., Hauer, B., Kiener, A., Wubbolts, M., Witholt, B., (2001). Industrial biocatalysis today and tomorrow. *Nature* (409). 258-268.
- Sohrabi, N., Rasouli, N., Torkzadeh, M., (2013). Enhanced stability and catalytic activity of immobilized  $\alpha$ -amylase on modified Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Chemical Engineering Journal* (240), 426-433.
- Xiao, Z., Storms, R., Tsang, A., (2006). A quantitative starch-iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities. *Analytical Biochemistry* (351). 146-148.
- Zhu, Y.T., Ren, X.Y., Liu, Y.M., Wei, Y., Qing, L.S., Liao, X., (2014). Covalent immobilization of porcine pancreatic lipase on carboxyl-activated magnetic nanoparticles: Characterization and application for enzymatic inhibition assays. *Material Science and Engineering: C* (38).278-285.



# Bir Savunma Sanayi Firmasında Depo Bölgesi Atama Sisteminin Veri Madenciliği ve Makine Öğrenme Yaklaşımlarıyla İyileştirilmesi

Mehmet Ertem<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5363-3619), [mertem@ogu.edu.tr](mailto:mertem@ogu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083226)

**ATIF/REFERENCE:** Ertem, M. (2022). Bir Savunma Sanayi Firmasında Depo Bölgesi Atama Sisteminin Veri Madenciliği ve Makine Öğrenme Yaklaşımlarıyla İyileştirilmesi, (34), 501-506.

## Öz

Günümüzde envanter kontrolü ve depolama operasyonları firmaların masraflarının oldukça önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle pek çok firma envanter kontrolü ve depolama operasyonları üzerindeki etkinliklerini arttırmayı amaçlamaktadır. Firmalar bu doğrultuda çözüm üretebilmek amacıyla, bazen depolama alanlarının sıfırdan tasarımını tartışırken bazen de maliyetler göz önüne alınarak var olan çalışma alanlarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Depo sistemlerinin etkinliğinin artırılması amacıyla kullanılan pek çok alternatif yöntem vardır. Ancak depoyu bir veri ambarı, içindeki hammadde ve parçaları da veri olarak düşünecek olursak, veri madenciliğinin kullanımı kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada, bir depolama yöntemi olan depo bölgesi atama işleminin iyileştirilmesi adına veri madenciliği teknikleri kullanılmıştır. Modelleme adımında ise bir makine öğrenme yaklaşımı olan çok sınıflı sınıflandırma algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu bağlamda, literatürde yaygın olarak kullanılan çok sınıflı sınıflandırma algoritmaları karşılaştırılarak performansı en yüksek 8 tanesi seçilmiştir. Seçilen algoritmalar ile çalışılan probleme uygun bir model Python kodlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve depolanan yedek parçaların özellik verileri kullanılarak hangi ambar bölümüne ait olduğu tahmin edilmiştir. Yapılan veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri sonucunda gerçek ambar bölümünü en doğru tahmin eden algoritmanın, %72'lik bir başarı oranıyla Rastgele Orman algoritması olduğu görülmüştür. Genel anlamda bu çalışmada kullanılan bazı verilerin eksik veya yanlış kaydedildiği düşünüldüğünde daha fazla ve tutarlı veri kullanılarak bu başarı oranının çok daha yüksek oranlara çıkabileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenme, Veri madenciliği, Yapay zeka, Depo bölgesi atama, Depo yönetimi.

## Improving the Warehouse Zoning System of a Defense Industry Company Using Data Mining and Machine Learning Approaches

### Abstract

Today, inventory control and storage operations constitute a very important part of the costs of companies. For this reason, many companies aim to increase their effectiveness in inventory control and storage operations. In order to produce solutions in this direction, companies sometimes discuss the design of storage areas from scratch, and sometimes they aim to optimize existing workspaces by considering costs. There are many alternative methods used to increase the efficiency of warehouse systems. However, if we consider the warehouse as a data warehouse and the raw materials and parts in it as data, the use of data mining will be inevitable. In this study, data mining techniques are used to improve the storage zone assignment process, which is a storage method. In the modeling step, multi-class classification algorithms, which is a machine learning approach, were used. In this context, by comparing the multi-class classification algorithms commonly used in the literature, the 8 with the highest performance were selected. A model suitable for the problem studied with the selected algorithms was developed using the Python coding language and it was estimated which warehouse section belonged to the stored spare parts using the property data. As a result of the data mining and machine learning methods, it has been seen that the algorithm that predicts the real warehouse section most accurately is the Random Forest algorithm with a success rate of 72%. In general, considering that some of the data used in this study were incomplete or incorrectly recorded, it is predicted that this success rate could reach much higher rates by using more consistent data.

**Keywords:** Machine learning, Data mining, Artificial Intelligence, Warehouse zoning, Warehouse management.

\* Sorumlu Yazar: [mertem@ogu.edu.tr](mailto:mertem@ogu.edu.tr)



## 1. Giriş

Günümüzde pek çok saygın firma, giderek önemi artan depolama operasyonlarına daha fazla önem vermeye başlamıştır. Depolama operasyonları depolarda maliyet, etkinlik ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Operasyon maliyetlerin en küçüklenmesi, etkinlik ve sürdürülebilirliğin de optimum düzeylerde olması beklenmektedir. Envanter kontrol ve stok taşımada etkinliği arttırabilmek amacıyla kullanılabilinecek yöntemlerden biri de literatürde “Warehouse Zoning / Put-away Zoning” yani depo bölgesi atama olarak geçen uygulamadır. Bu yöneme göre depolar, firmaların ihtiyaçlarına göre çeşitli bölümlere ayrılmaktadır. Bu sayede parçalar farklı özelliklerine göre bu bölümlerden birine konumlandırılabilir.

Bu çalışmada bir savunma sanayi firması, envanter kontrolündeki etkinliğini arttırmak ve stok birimlerini uygun bir şekilde depolayabilmek için, literatürde ‘depo bölgesi atama’ olarak geçen yöntemi kullanmaktadır. Parçaların, farklı depo bölgelerinden birine atanması gerektiğini savunan bu yöntem, firma çalışanlarının tecrübelerine ve o anki koşullara dayanmaktadır. Normalde bir parça veya hammaddenin depolanması için lokasyon ataması yapılmalıdır. Yani tam olarak hangi depo bölgesinin hangi rafına konacağı belirlenmelidir. Ancak bu her zaman mümkün olmayabilir. Bazı firmalarda lokasyon atamasından önce bölge ataması yapılır. Yani parça ambara girdiğinde zaten hangi depo bölgesine gideceği uzman görüşüne göre veya kullanılan başka sistemlere göre bellidir. Ancak o anda tam konumu bilinmemekle beraber bölgede boş olan yere ataması daha sonradan yapılır. Buna da depo bölgesi ataması denilmektedir.

Yeni bir projeye başlanıldığında daha önce hiç depolanmamış parça çeşitleriyle karşılaşmaktadır. Bu durum, ilgili firma çalışanlarını her bir parçanın nereye atanması gerektiğini belirleme zorluğuyla karşı karşıya bırakmaktadır. İlgili probleme daha iyi performanslı bir çözüm arayan firma, akıllı bir sistem tasarımına gereksinim duymuştur. Bu çalışma kapsamında böyle bir sistemin geliştirilmesi için veri madenciliği ve yapay zeka tekniklerinden biri olan makine öğrenmesi yöntemiyle çözüm sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Literatür Taraması

Depolama sistemleri literatürde detaylı olarak çalışılmıştır. Depolama sistemleri ve yöntemleriyle ilgili yapılan çalışmalardan bazıları için (ör. [1], [2], [3], [4]) numaralı referanslara bakılabilir. Depolama sistemlerinin önemli bir parçası olan depo bölgesi atamasının yapılabilmesi için ilk etapta depolanacak ürünlerin sınıflandırılması gerekmektedir. Praveen vd. [5] literatürdeki tüm stok sınıflandırma yöntem ve yaklaşımlarını ele almıştır. Çalışmada yöntemler şu şekilde kategorize edilmiştir:

1. Tek Kriterli Sınıflandırma
2. Çok Kriterli Sınıflandırma
  - a) Model / İstatistik Temelli Yaklaşımlar
  - b) Yapay Zeka Temelli Yaklaşımlar

Çok kriterli sınıflandırma yöntemlerinden biri olan model/istatistik temelli yaklaşımlar, çoğu uygulamada tutarsız ve zaman alan yaklaşımlar olarak değerlendirilmiştir ([5]). Yapay zeka temelli yöntemler ise model/istatistik temelli yaklaşımlara göre daha tutarlı sonuçlar vermektedir. Ancak yapay zeka

tekniklerinin karmaşık olmasından dolayı envanter yöneticileri, uygulaması daha kolay olan geleneksel yöntemleri kullanmayı tercih etmektedirler. Yapay zeka temelli yaklaşımı kullanan bir depolama sistemi tasarımında bulanık mantıktan yararlanılabileceği savunulmuştur ([6]). Lam vd. [6] çalışmalarında OLAP tabanlı bir Bulanık Depolama Atama Sisteminin (Fuzzy Storage Assignment System-FSAS), depo yeri atama problemini çözmek için karar destek verilerinin kullanılabilirliğini arttırması önerilmiştir. FSAS; Veri Yakalama ve Analiz Modülü (DCAM) ve Depolama Yeri Atama Modülü (SLAM) olmak üzere iki modülden oluşturulmuştur. Bu iki ana modül veri kullanılabilirliğinin artırılması, mevcut verilerin tam olarak analiz edilmesi ve uzmanların bilgilerinin sisteme dönüştürülmesi amacıyla, araştırma hedeflerine ulaşmak için kullanılmıştır. DCAM; malın faaliyet bilgileri, talep korelasyonu ve depo bilgileri de dahil olmak üzere, depo mühendisi veya müdürü ile ilgili spesifik bilgileri sunan karar destek sistemi olarak çalıştırılmış ve bir sonraki modül olan SLAM için gereken parametreleri oluşturmuştur. Depo yöneticisi tarafından belirtilen kurallar ve parametreler yardımıyla ‘If-Then’ yapısını içeren modeller kurulmuştur. Tüm bunların uygulanması sonucunda oluşturulan bulanık sistemi çalıştırmak için, MATLAB-Bulanık Mantık Araç Kutusu kullanılmıştır. Sonuçta ürünler, en erişilebilir olan altın bölge (golden zone), orta erişilebilir olan gümüş bölge (silver zone) ve en az erişilebilir olan bronz bölgeye (bronze zone) yerleştirilmiştir.

Bu çalışmada amaç, hali hazırda belli olan toplama bölgelerine stok birimi ataması yapabilecek bir model ortaya koymaktır. Literatürdeki stok sınıflandırma yaklaşımları genellikle stokları belirli özelliklerine göre kümelemeyi amaçlamaktadır. Dolayısıyla bu yaklaşımlar ya depo tasarlarken ya da tasarlanmış farklı depo bölgelerini kendi içinde düzenlerken kullanılmaktadır. Bahsedilen yöntem, depo bölgesi ataması gerçekleştirildikten sonra bölge içi atamaya katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla bu çalışma için uygun bir yöntem değildir. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmadaki amacımıza yönelik çözüm üretebilecek farklı yaklaşımlar ele alınmıştır. Elde bulunan veriler analiz edildiğinde ve değerlendirildiğinde veri madenciliği ile bir sınıflandırma yaklaşımının problemimize çözüm getireceği görülmüştür.

### 2.2. Problem Tanımı

Çalışma kapsamında uygulama yapılan firma, ihtiyaca özel, etkin, güvenilir ve yenilikçi paletli ve tekerlekli zırhlı araçlar tasarlayan, üreten ve alanında dünya liderleri arasında kabul edilen bir kara savunma sistemleri firmasıdır. Firmanın ana deposu tamamen kendisi tarafından işletilmektedir ve depoda hammadde, ara mamul ile bazı son mamuller stoklanmaktadır. Bu depo kendi başına bir bütün halinde düşünülebileceği gibi içindeki farklı özelliklere sahip bölgeler dikkate alındığında birden fazla bölüm halinde de ele alınabilir. Depo içerisinde farklı özelliklere sahip 7 stoklama bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgelerin yapıları ve genel durumları Tablo 1’de verilmiştir.

Depodaki hareketler, depo çalışanları ile planlama, envanter kontrol bölümü tarafından kontrol edilmektedir. Literatürde depo bölgesi atama olarak adlandırılan fonksiyon, stok birimlerinin kabul edilmesi (receiving) ve stoklanması (stocking) operasyonlarından oluşmaktadır. Firma, envanter kontrolünde etkinliğini arttırmak amacıyla, depolarda bir bölümlendirme uygulaması olan depo bölgesi atama sisteminden yararlanmaktadır. Bir parça deponun kabul bölümüne geldiğinde parçanın hangi bölgeye gideceğine bu 7 ambar bölgesinden biri seçilerek karar verilmektedir. Bölge seçimi yapıldıktan sonra

operatör, o bölge içerisinde deneyim ve tecrübesine dayanarak stok birimini depolamaktadır.

Tablo 1. Uygulama firmasının depo bölümleri

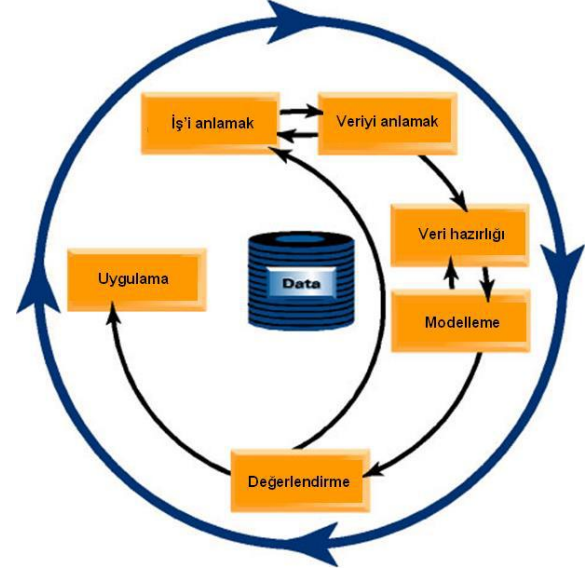
Silo Ambarı	Büyük malzemelerin tutulduğu 17 metre yüksekliğindeki depodur. Oldukça büyük ve görece değerli parçalar burada stoklanmaktadır.
Ana Ambar Ağır Yük Raflar	67 cm 7 kat ve 83 cm 6 kat gibi raf aralıkları bulunan ana raf bölgesidir. Stok biriminin depolanması ve toplanması forklift ve hand truck gibi araçlarla yapılmaktadır.
Dar Koridor	40x60x28 cm ölçülerindeki yaklaşık 12.000 kutudan oluşmaktadır. 3 boyutta hareket edebilen ve manuel olarak çalıştırılan gelişmiş forkliftler kullanılmaktadır. Görece orta büyüklükteki stok birimlerinin depolandığı bölgedir
Ek-1 Ambar Rafları	Çalışma sistemi olarak ana ambar ile aynıdır fakat rafların travers aralıkları farklıdır
Ek-2 Ambar Rafları	Ana raf bölgesine ve Ek-1 raflarına göre daha uzun travers aralıklarının kullanıldığı raf bölgesidir. Boyut ölçüleri bozuk stok birimlerinin depolandığı bölgedir. Ayrıca Ek-2 ambarın içerisinde 3 ayaklı raflarda bulunmaktadır. Bu raflar daha fazla ağırlık taşıyabilmektedir.
Kardex	Dikey doğrultuda çalışan atlıkarınca depolama sistemidir. Vida gibi küçük stok birimlerinin depolanmasında kullanılır
Mezanin	Kaynak hattına giden küçük parçaların depolandığı lokasyondur. Katlı bir sistemdir. Herhangi bir ekipman kullanımı gerektirmez.

Bölge seçimini firmanın planlama ve envanter kontrol bölümünde çalışan endüstri mühendisleri yapmaktadır. Endüstri mühendisi bölge seçimi yaparken farklı değişkenleri kullandığı birtakım formüllerden ve tecrübelerinden yararlanmaktadır. Depoya gelen her yeni parça için bu işlemleri yapmak oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir iştir. Firma bu sebeplerden ötürü, yeni gelen her parçayı otomatik olarak ilgili bölgeye atayabilecek bir sistem, model ya da algoritma geliştirmek istemektedir. Bu çalışma kapsamında da, parçanın atanması gereken depo bölgesinin bilgisini otomatik olarak verebilecek bir model geliştirilmiştir. Kullanılacak yöntem, veri madenciliği ve makine öğrenmesi yaklaşımı ile, parçanın depo bilgilerini kullanarak hangi bölgeye atanması gerektiğini belirleyen bir model olacaktır. Problemin bazı açılardan genele uymaması nedeniyle literatürde var olan stok sınıflandırma yöntemlerinin uygulanması çözüm getirmeyecektir. Elde bulunan verilerin durumları da göz önüne alındığında en uygun yöntem, veri madenciliği adımlarıyla veriyi anlamak, bilgi çıkartmak ve modele hazır hale getirmek ve makine öğrenmesi ile en uygun bölgeyi bulmak olacaktır.

## 2.3. Veri Madenciliği ve Makine Öğrenme

Veri madenciliği, eldeki verilerden bilgi çıkarımı yapmaya olanak sağlayan, çeşitli sektörlerde başarıyla kullanılan bir veri işleme yaklaşımıdır. Veri madenciliği kısaca; veri toplama, veriyi ön işleme, modelleme ve değerlendirme aşamaları olarak betimlenebilir (bakınız Şekil-1). Veri; veri ambarlarından, veri tabanlarından ve veri barındırabilen her ortamdan çıkartılabilmektedir. Veriyi toplama yöntemi veri madenciliği çalışmalarında son derece önemlidir. Çünkü çıkarılan veri, aranan bilgiyi türetebilecek yapıda olmalıdır. Veri çıkartma işleminin ardından veri ön işleme metotları gelmektedir. Eldeki veri şu anki haliyle kullanıma hazır değildir ve çeşitli işlemlerden geçmelidir.

Verinin doğruluğunun araştırılması, eksikliklerin giderilmesi, boyut indirilmesi, kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi, tahmin edilmesi, veriyi olumsuz etkileyen uç noktaların silinmesi, sınıflandırılması, kümelenmesi gibi işlemler verinin ön işleme aşamasında gerçekleştirilmektedir. Daha sonra ise, işlenmiş verinin hangi metotlarla (modellerle) bilgiye dönüştürülebileceğine karar verilmesi gerekmektedir. İstenen sonuç ve eldeki veri bu metotların seçimini ciddi şekilde etkilemektedir. Elde edilen bilgi, probleme doğrudan çözüm olabileceği gibi, bilgiden yola çıkarak probleme çözüm geliştirilmesi de sağlanabilir.



Şekil 1. Veri Madenciliği Süreci

Freitas vd. [7], veri madenciliğinin hangi görevleri yerine getirmek üzere kullanılabileceğini yaptığı çalışmada belirtmiştir. Bu görevler izlenen şekildedir:

**Sınıflandırma (Classification)**, üzerinde en çok çalışılan veri madenciliği görevidir. Sınıflandırmada amaç, verilerin nitel etiketlerinin bulunduğu durumlarda, faktörlerin bu etiketleri nasıl etkilediğinin araştırılması ve etiketsiz verilerin isabetli olarak etiketlenmesidir.

**Tahmin (Prediction)**, sayısal verilerin tahmin edilmesi görevidir. X bağımsız faktörleriyle Y bağımlı (hedef) faktörünün tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Çözüme, regresyon yöntemleriyle ulaşılabilmektedir.

**Clustering (Kümeleme)**, sınıflandırma görevleriyle sıkça karıştırılmaktadır. Sınıflandırmada etiket (sınıf) değerleri belirli

iken, kümelemede veriden hareketle etiketler bulunur. Sınıflandırma görevleriyle beraber kullanımı yaygındır.

*İlişki kuralı çıkarma (Discovery of Association Rules)*, veri madenciliğinde en çok kullanılan görevlerin arasında yer almaktadır. Amaç, birbirinden farklı değişkenlerin, diğer değişkenlerle arasında nasıl bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmaktır. Örneğin, bir süpermarkette x ve y gıdalarını alan bir kişinin z gıdasını da alıyor olması, x,y ve z gıdaları arasında bir ilişki olduğunu gösterebilir.

Makine öğrenimi (Machine Learning), bilgisayar sistemlerinden algılanan ya da veri tabanlarında tutulan verilerin üzerinde bir öğrenimin gerçekleşmesi ve bu öğrenmeye dayalı olarak hedef verinin türetilmesi/tahmin edilmesi kavramlarını araştıran bir bilim dalıdır. İnsan davranışlarını taklit etmeye çalışabileceği gibi insanın kompüsyonel olarak erişemeyeceği seviyedeki işlevleri de yerine getirebilecek şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde ise yapay zeka yaklaşımlarının büyük bir kısmını makine öğrenmesi teknikleri oluşturmaktadır. Makine öğrenme teknikleri hedeflenen sonuçlara göre bazı sınıflara ayrılabilir:

- Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning)
- Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning)
- Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforced Learning)

Gözetimli Öğrenme, verilen girdi kümesinden, istenen çıktı kümesinin elde edilebilmesi için, bir model eğiten algoritmaların genel ismidir. İstenen hedef çıktılar başlangıçta elde bulunmaktadır. Girdileri ve bu girdilerin sebep olduğu çıktılar bir öğrenci (training) modülüne sunularak, kullanılan ilgili algoritma ile öğrenci modülü eğitilir ve bir model geliştirilir. Oluşturulan model, hedef çıktıları bulunmayan girdiler verilerek test edilir. Hedef çıktıları doğru tahmin etme kapasitesine göre de modelin doğruluğu (accuracy) değerlendirilir [8]. Gözetimli öğrenmede temel olarak kabul edilen görevler ve görevlerin çözümünde kullanılan bazı temel algoritmalar aşağıdaki gibidir:

- Tahmin
  - Basit Doğrusal Regresyon
  - Çoklu Doğrusal Regresyon
  - Polinom Regresyon
  - Lojistik Regresyon
  - Destek Vektör Makineleri
  - Karar Ağacı
  - Rassal Ağaçlar
- Sınıflandırma
  - Lojistik Regresyon
  - K En Yakın Komşuluk
  - Destek Vektör Makineleri (SVM)
  - SVM ve Kernel Hilesi
  - Naive Bayes • Karar Ağacı
  - Rassal Orman

Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning), gözetimli öğrenmeden farklı olarak, verileri sebepsonuç ya da giriş-çıkış şeklinde etiketlemeden, veri içerisinde var olan ilişkilerin ve yapıların öğrenilmesidir. Bu nedenle bu tekniklerin temel amacı, verinin altında yatan yapıyı ve dağılımı kestirerek bilgi üretmektir. Gözetimsiz öğrenmede kümeleme (clustering) ve ilişkilendirme (association) temel görevlerdir.

*Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforced Learning)*, amaca yönelik ne yapılması gerektiğini öğrenen bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Pekiştirmeli öğrenmede ajan (agent) adı verilen

öğrenen makine, karşılaştığı durumlara bir tepki verir ve bunun karşılığında da sayısal bir ödül sinyali alır. Ajan/öğrenen makine aldığı bu ödül puanını maksimuma çıkartmak için çalışır. Bu şekilde çalışan deneme yanılma yöntemi, pekiştirmeli öğrenmenin en ayırt edici özelliğidir. Pekiştirmeli öğrenmede yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, bayes ağları ve genetik algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 2.4. Çok Sınıflı Sınıflandırma

Bu çalışmada kullanılacak verilerin yapısı ele alındığında bir sınıflandırma problemi söz konusudur. İlgili parçanın ilgili ambar bölümüne yerleştirilmesi için, parçanın ait olduğu bölüm tahmin edilmelidir ve bu da makine öğrenmesinde bir sınıflandırma görevidir. Hedef çıktı, yani ambar bölümleri bu modelde sınıfları oluşturmaktadır. İki'den fazla ambar bölümü olduğu için ikiden fazla sınıf bulunmaktadır. Bu nedenle geleneksel sınıflandırma algoritmaları, parametre değişimi yapılmadan ya da ek kıstaslar eklenmeden kullanılamamaktadır. Literatürde "Çok Sınıflı Sınıflandırma (Multiclass Classification)" olarak geçen problemimiz için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımları genel olarak 3 kategoride toplamak mümkündür. Bunlar:

- İkili Sisteme Çevirme Yaklaşımı
  - One vs rest
  - One vs one
- Hiyerarşik Sınıflandırma Yaklaşımı
- İkili Sistemin Uzantısı Olarak Belirtme Yaklaşımı
  - Yapay Sinir Ağları
  - Aşırı Öğrenme Makineleri
  - K En Yakın Komşuluk
  - Naive Bayes
  - Karar Ağaçları
  - Destek Vektör Makineleri

Bahsedilen yaklaşımlar kullanılarak problemi en iyi temsil edecek olan yaklaşım performans karşılaştırması yapılarak Bulgular kısmında tartışılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

'Python' makine öğrenmesi çalışmalarında kullanılan en popüler yazılım dilidir. Bu doğrultuda Python'da rahat çalışma imkanı sağlayan Spyder IDE'si kullanılarak modeller geliştirilmiştir.

### 3.1. Verilerin Modellemeye Uygun Hale Getirilmesi

Modelleme çalışmaları Python programlama dili ile gerçekleştirilecektir. Dolayısıyla verilerin temel ön işlemleri yapıldıktan sonra Python'da çalışabilir hale getirilmeleri gerekmektedir. Python çalışma yapısı gereği virgülle ayrılmış formattaki verileri kabul etmektedir. Excel'de son tablo olarak düzenlenen veriler bu formata uygun şekilde '.csv' dosyalarına çıkarılmış, ardından veriler Python çalışma ortamına yüklenmiştir.

Modelleme yapılırken kullanılacak verilerin numerik verilerden oluşması gerekmektedir. Kategorik olan veriler bu formata uymamaktadır ve dolayısıyla sistematik bir şekilde veri yapısını bozmadan sayısallaştırılması gerekmektedir. Kategorik verilerin numerik hale getirilmesi için 0- 1 tamsayı kodlama yaklaşımı kullanılmıştır. Normalde bir sütundan oluşan kategorik veri, 0-1 kodlama yaklaşımı ile kategorik faktörün içerdiği farklı kategori sayısı kadar yeni sütuna aktarılmaktadır. Bu doğrultuda

veriler Python üzerinde ‘OneHotEncoding’ modülü kullanılarak 0- 1 tamsayı hale dönüştürülmüştür.

### 3.2. Verilerin Eğitim ve Test Kümesine Ayrılması ve Normalizasyonu

Gözetimli makine öğrenmesi, ‘X’ girdi değişkenleri ve ‘Y’ hedef değişkenini kullanarak bir model geliştirme temelinden oluşmaktadır. Model öğrenme işlemini yaparken verilen bütün veriyi kullanarak bir algoritma belirlemektedir. Dolayısıyla öğrenmek için kullandığı verileri çok yüksek oranda tahmin edebilecektir. Bu durum modelin başarısını ölçerken zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Verilerden öğrenilen modellerin başarılarının daha iyi ölçülebilmesi ve test edilebilmesi için veriler 2 parçaya bölünmektedir. Bölünen verilerin ilk kısmı modeli öğrenmek için kullanılırken kalan kısmı ise modelin doğruluğunu test etmek için kullanılmaktadır. Bölünme eşik değeri, öğrenme verisi için 0,25-0,4 arasında kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında bölünme eşik değeri 0,33 olarak kabul edilmiştir ve verilerin rastgele 2/3’ü öğrenme modülü için ve kalan 1/3’ü oluşturulan modeli test etmek için ayrılmıştır.

Veriler kullanılacak algoritmalarca aynı ağırlıklarda anlaşılmalıdır. Verileri normalize etmek, verileri sayısal değerlerinin verdikleri ağırlıklardan kurtararak aynı uzay düzleminde temsil edebilmek amacını taşımaktadır. Modelde kullanılacak algoritmalar çoğunlukla verilerin n boyutlu uzaydaki konumlarına bakacaktır. Dolayısıyla sayıca büyük veya küçük olan veriler modelin doğruluğunu etkileyecektir. Bu durumdan kurtulmak amacıyla veriler normalizasyon tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Veriler Python’da “Scikit.learn” kütüphanesinin ‘StandartScaler’ modülü kullanılarak bu verilere göre normalleştirilmiştir. Bu yöntemin seçilmesinin sebebi sıradışı verilere karşı daha sağlam bir veri yapısı oluşturabilmektir.

### 3.3. Bulgular

Python’da, daha önceki bölümlerde verilen veri hazırlık çalışmalarından sonra modeller uygulanmaya başlanmıştır. Her bir farklı model algoritması için verilerin bir öğrenci modülü üzerinden eğitilmesi söz konusudur. Her algoritma kendi çalışma prensibine göre öğrenci modülünden desenler öğrenmiş ve sonuçları test modüllerinde başarı ölçümüne tabi tutulmuştur. Tablo-2’de kullanılan makine öğrenme algoritmalarının performans sonuçları özetlenmiştir. Tablo-2’nin ilk sütununda verilen kriterler makine öğrenme algoritmalarının performanslarını değişik açılardan ölçen ve yaygın kullanılan performans kriterleridir. Ayrıca Tablo-2’nin daha rahat okunabilmesi için renk matrisi yaklaşımı kullanılmıştır. Burada kırmızıdan yeşile doğru renk sırasıyla en düşük performanstan en yüksek performansa doğru değişmektedir.

### 3.4. Tartışma

Tablo 2’de özet şekilde verilen bulgulara göre makine öğrenme algoritmalarının depo bölgesi atama problemi için performansları karşılaştırılmıştır. Burada Lojistik regresyonla sınıflandırma (LOGR) modeli, verilerin %66,3 lük bir kısmını doğru tahmin etmektedir. MMC değeri de bu tahminin rassal olmadığını gerçekten veriler içinde desenlerin yakalandığını temsil etmektedir. KNN Modeli, verilerin %65,5’lik bir kısmını doğru tahmin etmektedir. MMC değeri de bu tahminin lojistik regresyon sınıflandırıcısına göre daha başarılı bir şekilde ambarları tahmin ettiğini göstermektedir. SVM modeli, ambar bölümlerini %66,3 oranında doğru tahmin etmektedir. Naive

Bayes sınıflandırma algoritması ciddi anlamda düşük skorlar elde etmiştir. %11,5’lik bir başarı ile değerlendirilmesi mantıklı bulunmamıştır. Bu başarısızlığın sebebi algoritmanın faktör sayısı arttıkça zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan DTC Algoritması, %59,6’lık bir doğruluk oranı vermiştir. DTC algoritması şu ana kadar değerlendirmeye alınan en zayıf algoritma olarak belirlenmiştir. RFC algoritması %72,5’lik bir başarı ile ambar bölümlerini tahmin etmiştir. MMC değerinin %64,4 olması da algoritmanın sınıflandırmada diğerlerine göre çok daha başarılı olduğunu göstermektedir. RFC algoritması standart algoritmalarla karşılaştırıldığında çok daha güçlü bir algoritmadır. Gücünü karar ağacı temelinden alım ensemble algoritmalarla harmanlayarak elde etmektedir. Bu durum ensemble metodlarının daha başarılı sonuçlar getirebileceği fikrini doğrulamıştır. Renk matrisinde de (Tablo-2) görüldüğü gibi (koyu yeşiller en iyi, koyu kırmızılar en kötü) en başarılı algoritma rastgele orman olarak bulunmuştur. Her değerlendirme ölçütüne gerek en büyük başarıyı sergileyen algoritmadır. Dolayısıyla ambar bölümlerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere seçilmiştir.

Tablo 2. Makine öğrenme algoritmaları performans değerleri (LOGR: Lojistik regresyon sınıflandırma algoritması, KNN: K-En Yakın Komşuluk Algoritması, SVM: Destek Vektör Makineleri Algoritması, NB: Naive Bayes sınıflandırma algoritması, DTC: Karar Ağacı Algoritması, RFC: Rastgele Orman Algoritması)

Renk Matrisi	LOGR	KNN	SVM	NB	DTC	RFC
Accuracy	0.66	0.66	0.66	0.12	0.60	0.72
MMC	0.54	0.56	0.54	0.08	0.51	0.64
Balanced Accuracy	0.53	0.57	0.53	0.31	0.55	0.62
F1 Score (Micro avg)	0.66	0.68	0.67	0.10	0.63	0.74
F1 Score (Macro avg)	0.56	0.60	0.56	0.10	0.54	0.65
F1 Score (Weighted avg)	0.66	0.68	0.66	0.06	0.64	0.74
Precision (Micro avg)	0.66	0.68	0.67	0.10	0.63	0.74
Precision (Macro avg)	0.61	0.68	0.66	0.38	0.54	0.72
Precision (Weighted avg)	0.66	0.69	0.67	0.56	0.64	0.74
Recall (Micro avg)	0.66	0.68	0.67	0.10	0.63	0.74
Recall (Macro avg)	0.53	0.57	0.53	0.31	0.55	0.62
Recall (Weighted avg)	0.66	0.68	0.67	0.10	0.63	0.74

## 4. Sonuç

Günümüzde depo sistemlerinin etkinliğinin artırılması amacıyla kullanılan pek çok alternatif yöntem vardır. Ancak depoyu bir veri ambarı, içindeki hammadde ve parçaları da veri olarak düşünecek olursak, veri madenciliğinin kullanımı kaçınılmaz olacaktır.

Bu çalışmada, bir depolama yöntemi olan depo bölgesi atama işleminin etkinleştirilmesi adına veri madenciliği teknikleri kullanılmıştır. Modelleme adımında da makine öğrenmesi içinde

çok sınıflı sınıflandırma algoritmalarından yararlanılmıştır. Oluşturulan model ile parçanın özellik verileri kullanılarak hangi ambar bölümüne ait olduğu tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri sonucunda gerçek ambar bölümünü en doğru tahmin eden algoritmanın, %72'lik bir başarı oranıyla Rastgele Orman algoritması olduğu görülmüştür. Algoritmanın parametreleri bulgular bölümünde belirtilmiştir.

Sonuçlar daha detaylı incelendiğinde, genel anlamda veride bir dengesizlik söz konusudur ve bu çalışma kapsamında verideki dengesizliğin üstesinden verilerin yapısı nedeniyle gelinememiştir. Dengesizliğin sonucunda bazı ambar bölümlerinin doğru tahmin edilme oranı diğerlerine göre daha başarılı olurken bazıları da daha başarısız olmaktadır. Bizim görüşümüze göre bu durumun sebebi, verilerin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen %72'lik başarı oranı azımsanacak bir değer değildir ve çalışmalarla geliştirilebilir. Bu bilginin kullanılabilmesi için bahsi geçen firmada planlama ve envanter kontrol bölümünün, ambar bölümlerin doluluk oranları, MRP kayıtları ve planlanan parça gelişleri verilerini kullanarak atama yapacak bir sistem geliştirmesi gerekmektedir. Bu sayede daha etkin bir stoklama sistemine sahip olunacaktır.

## **5. Teşekkür**

Bu çalışmanın tamamlanmasında bana destek olan öğrencilerim Oğuzhan Alptekin ve Cansu Demirel'e teşekkürlerimi sunarım.

## **Kaynakça**

- [1] Palamutçuoğlu, B. T. Lojistik Yönetimi Ders Notları. Manisa.J, 2012.
- [2] Tompkins J. A., White J. A., Bozer Y. A., Frazelle E. H., Tanchoco J. M. A: "Facilities Planning", NJ: John Wiley and Sons, 2003.
- [3] Zhou, Xiao Guang, Na Mou, and Ling Yun Wei. "A Study for Storage Allocation in Synchronized Zones Based on the Association Analysis of Goods." In Applied Mechanics and Materials, vol. 687, pp. 4658-4665. Trans Tech Publications Ltd, 2014.
- [4] Derickx, K., & Raa, B. (2011-2012). A comparative study of different storage.
- [5] Ozkaya, U., Melgani, F., Bejiga, M. B., Seyfi, L., & Donelli, M. (2020). GPR B scan image analysis with deep learning methods. Measurement, 165, 107770.
- [6] Lam, C., Lee, C., Ho, G., & Yip, T. (2009). Development of an OLAP Based Fuzzy Logic System for Supporting Put Away Decision. International Journal of Engineering Business Management, 7-12.
- [7] Freitas, A. A. (2003). A Survey of Evolutionary Algorithms for Data Mining and Knowledge Discovery.
- [8] Kotsiantis, S. B. (2007). Supervised Machine Learning: A Review of Classification. Informatica 31 (249-268).
- [9] Mehrotra, D. (2018). Multiclass classification of mobile applications as per energy consumption. Journal of King Saud University –Computer and Information Sciences.



# Bulanık C - Ortalamalar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelmesi

Yeşim OK<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8349-7005), [yesim.ok@atauni.edu.tr](mailto:yesim.ok@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083246)

**ATIF/REFERENCE:** Ok, Y. (2022). Bulanık C - Ortalamalar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 507-512.

## Öz

Bu çalışmada, işsizlik göstergeleri temel alınarak, 36 OECD ülkesine ilaveten Çin ve Rusya gibi OECD üyesi olmayan 6 farklı ülkenin de dâhil edildiği bir kümeleme analizi çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, işsizlik ile ilgili 18 adet gösterge değişkenine ait veriler, bulanık C-ortalamalar yöntemi kullanılarak kümeleme analizi yapılmıştır. Ülkelerin, kilit bir ekonomik gösterge olan işsizlik temelinde sınıflandırılması, politika yapıcılar için benzerlik ve farklılıklar boyutunda analizler yapmalarında yol gösterici olacaktır. Bulanık kümeleme analizi, hem MATLAB hem de R ortamlarında gerçekleştirilmiş, farklı küme sayıları için de ekstra analiz yapılmıştır. Uygulama sonucunda işsizliğin fazla olduğu ülkelerin ayrıldığı küme dağılımının, küme sayısı değiştiğinde farklılaşabileceği görülmüştür. Bu bağlamda doğru küme sayısının bulunması için başvurulan geçerlilik indeksleri de analize dâhil edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İşsizlik, Bulanık C Ortalamalar, Kümeleme, Geçerlilik indeksi

## Fuzzy C - Means Clustering of Countries Based on Unemployment Indicators

### Abstract

In this study, on the basis of unemployment indicators, a cluster analysis study was conducted in which, in addition to 36 OECD countries, 6 different non-OECD countries such as China and Russia were included. For this purpose, the data of 18 indicator variables related to unemployment were analyzed by using fuzzy C-means method. The classification of countries on the basis of unemployment, which is a key economic indicator, will guide policy makers to analyze the similarities and differences between countries. Fuzzy cluster analysis was performed in both MATLAB and R environments, and extra analyzes were made for different cluster numbers. As a result of the application, it has been seen that the cluster distribution, which is divided into countries with high unemployment, may differ when the number of clusters changes. In this context, the validity indices used to find the correct number of clusters were also included in the analysis.

**Keywords:** Unemployment, Fuzzy C- Means Clustering, Validity Indices.

\* Sorumlu Yazar: [yesim.ok@atauni.edu.tr](mailto:yesim.ok@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

İşsizlik, çalışmak isteyen kişilerin iş bulamaması ve buna bağlı olarak düşük ekonomik verim anlamına gelir. Yüksek işsizlik oranları ekonomik sıkıntılara işaret eder.

Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) son değerlendirmelerine göre, küresel işsizlik 2022 yılında 205 milyon kişi olacak ve 2019 yılındaki 187 milyon rakamını fazlasıyla aşacak. Bu da %5,7 işsizlik oranına karşılık geliyor.

COVID-19 krizi de ekonomik aktiviteyi ve işgücü talebini keskin bir şekilde azaltarak, 2021'in ikinci çeyreğinde dünya genelinde toplam çalışma saatlerinde tahmini yüzde 4,4'lük bir azalmaya sebep olmuştur (Uluslararası Çalışma Örgütü, 2021). İşsizlik sorununun çözümü için etkin, kapsamlı ve sürdürülebilir politikaların oluşturulmasının ve uygulanmasının gerekliliği açıktır.

Ülkeler arasındaki benzerlikler ve farklılıklardan yola çıkılarak farklı çözüm yolları geliştirilebilir. Veri analizi araçlarından kümeleme yöntemleri ile ülkelerin işsizlik bakımından hangileriyle benzer olduğu, hangileriyle farklılaştığı görülebilir. Bu bağlamda, yeni politikalar oluşturulurken ülkeler hangi konumda oldukları hakkında daha net görüş sahibi olacaklar ve ona göre konum alacaklardır.

Veriyi birbirine benzeyen alt kümelere ayırma işlemi olan kümeleme analizi, son yıllarda geliştirilen metotlarla birleşerek daha farklı ve daha geniş bir bakış açısına sahip olmuştur. Bulanık kümeleme analizi de kümeleme analizinin bulanık mantık ile birlikte genişletilmesiyle oluşan ve uygulama alanı oldukça yaygın olan alternatif bir yöntemdir.

Bu çalışmada bulanık kümeleme analizi ile OECD işsizlik göstergesi verileri kullanılarak 42 ülke için kümeleme yapılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kümeleme analizi

Kümeleme analizi bir veri kümesindeki bilgileri belirli yakınlık kriterlerine göre gruplara ayırma işlemidir. Bu grupların her birine "küme" adı verilir. Kümeleme analizinin temel sürümü hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemidir. Bu yöntem, başlangıç küme sayılarını belirtme ve yakınsanan nesnelere yeniden kümeleneceği temeline dayanır (Madhulatha, 2012).

Bulanık kümeleme analizi; küme analizi ile bulanık mantığın birlikte yaygınlaştırılmasıyla oluşturulan alternatif bir yöntemdir ve uygulama alanı oldukça geniştir.

Kümeleme analizinde en önemli adım bir mesafe ölçüsü belirlemektir (Madhulatha, 2012). K-ortalamlar yöntemi kümenin merkezine en yakın olan veriyi kümeye atar. Kümenin merkezi, kümedeki tüm verilerin aritmetik ortalamasıdır. Bulanık C- ortalamlar ise her veri noktasının [0,1] arasında değişen üyelik dereceleriyle birden çok kümeye ait olmasına izin verir. Bir verinin tüm sınıflara üyelik değerlerinin toplamı "1" olmalıdır. Nesne hangi küme merkezine yakınsa, o kümenin üyeliği diğer kümelerin üyelerinden daha büyük olacaktır.

### 2.2 Kaynak Araştırması

İşsizlik kilit bir ekonomik göstergedir. Bu bağlamda ülkelerin karşılaştırmalı analizleri için verilere dayalı birçok istatistiki

çalışma yapılmıştır. (Korkut PATA & Güvenlik Dergisi, 2020), 1991-2019 verileri için 15 OECD ülkesinde işsizlik histerisinin geçerliliğini Fourier panel durağanlık testini kullanarak incelemiş ve Almanya, Türkiye ve İspanya'da işsizlik histerisi geçerlinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmıştır. (Güriş S., 2018), 23 OECD ülkesinin 2000-2015 dönemi verileri kullanılarak işsizliği etkileyen faktörler, panel veri modelleri ile saptanmış ve işsizliğin azaltılması için hangi değişkenlerin yol gösterici olacağını tespiti amaçlanmıştır. (Kelleci S. & Turk Z., 2016), genç işsizliğin boyutları ortaya koymak için OECD ülkeleri arasında karşılaştırma yapmışlardır. 2000-2016 dönemini kapsayan çalışmada, (Üzar U., 2018), 34 OECD ülkesinde, ekonomik büyüme ve işsizlik arasındaki nedensellik ilişkisinin iktisat teorisinin sağladığı bilgiyle uyumlu olup olmadığını tespit etmek amacıyla nedensellik analizi uygulamışlardır. (Köseoğlu & Artan, 2019), te ise aynı dönemde göç, işsizlik ve kişi başına düşen gelir arasındaki ilişkiyi panel veri analiz yöntemini kullanarak 27 OECD ülkesi için test etmişlerdir. İşsizlik oranının göç üzerinde negatif ve %1 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu ve işsizlik oranında meydana gelen %1'lik bir artışın OECD ülkelerine gelen göçü yaklaşık %0,3 azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kümeleme analizi, ülkeler arasında sınıflandırma, gruplama ve kıyaslama yapmakta sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Literatürde birçok kümeleme analizi yöntemi mevcuttur. Hiyerarşik olmayan kümeleme metotları arasında yer alan K-ortalamlar (K-means) yöntemi ile bulanık C ortalamlar (Fuzzy C-Means) yöntemi, bunlar arasında en sık kullanılanlarıdır.

Bulanık kümeleme analizi, OECD ülkelerinin göç istatistiklerini oluşturan faktörler temelinde benzerlik ve farklılıkların belirlenmesi amacıyla (Ari & Yıldız, 2018) veya Türkiye'nin sağlık istatistikleri açısından Avrupa Birliği ve OECD ülkelerine kıyasla konumunu araştırmak için (Alptekin N., 2014), (Alptekin N. & Yeşilaydın G., 2015) kullanılmıştır. Türkiye'nin sağlık göstergeleri açısından hangi OECD ülkeleri ile benzerlik gösterdiğini belirlemek için de (Mut & Akyürek E. Ç., 2017); tüm Dünyayı etkisi altına alan Covid 19 salgınında AB ve OECD üyesi olan 36 ülkenin vaka, ölüm ve iyileşen kişi sayılarını karşılaştırırken de (Demircioğlu M. & Eşiyok S., 2020) K-ortalamlar yöntemini kullanmışlardır.

(Demirkale, 2020), OECD ülkelerinin makroekonomik göstergeler temelinde değerlendirmişler ve k-ortalamlar yöntemi ile elde ettikleri kümeleme sonuçlarını Heritage Vakfı tarafından hazırlanan ekonomik özgürlük endeks kategorileri ile karşılaştırmak için işsizlik oranını da enflasyon, faiz oranı, döviz kuru ve GSYİH ile birlikte kullanmışlardır.

Atal (Atal, 2015), yaptığı tez çalışmasında, Türkiye'nin de içinde bulunduğu OECD ülkeleri içinde, sosyoekonomik gelişmişlik bakımından Türkiye'nin nerede olduğunu, hangi ülkelerin benzeştiğini ve hangilerinin farklılaşma gösterdiğini saptamak için hem k-ortalamlar hem de bulanık kümeleme yöntemlerini kullandığı çalışmasında MATLAB ve R paket programlarını kullanarak sonuçları karşılaştırmıştır. İki kümeleme yönteminde de ülkelerin gelişmiş ve daha az gelişmiş ülke olarak ikiye ayrıldığı görülmüştür. MATLAB ve R paket programı ile kümeleme sonucunda iki küme elemanlarında bir değişiklik olmadığı fakat k-ortalamlar analizi ile karşılaştırıldığında bazı farklılıkların olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Araştırmada Kullanılan Göstergeler

Savunmasız İstihdam(toplam istihdamın %'si)
Hizmetlerde İstihdam(toplam istihdamın %'si)
Endüstride İstihdam(toplam istihdamın %'si)
Tarımda İstihdam(toplam istihdamın %'si)
Nüfus oranına göre istihdam, 15+, toplam (%)
Endüstriyel Üretim
Tarımsal Üretim
İşgücüne Katılım Oranı(15+, Toplam Nüfusun %'si)
İşsizlik Kadın (kadın işgücününün %'si)
İşsizlik, erkek (erkek işgücününün %'si)
İşsizlik, toplam (toplam işgücününün %'si)
İşsizlik, genç erkek (15-24 yaş arası erkek işgücününün %'si)
İşsizlik, genç kadın (15-24 yaş arası kadın işgücününün %'si)
Genel Hükümet Açığı(GSYİH'nin %'si)
GSYİH büyümesi(yıllık%)
Cari hesap bakiyesi (GSYİH'nin yüzdesi)
Enflasyon, GSYİH deflatörü (yıllık%)
Toplam vergi oranı (kârın yüzdesi)

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

OECD (The Organization for Economic Co-operation and Development), üye ve ortak ülkelerinin dışındaki birçok ülkeye ilişkin topladığı verileri her yıl düzenli olarak yayınladığı istatistiklerle kamuoyu ile paylaşmaktadır.

Bu çalışmada, OECD üyesi 36 ülkenin dışında Rusya, Hindistan, Brezilya, Çin, Kosta Rika ve Kolombiya da kümeleme analizine dâhil edilmiştir.

Literatür değerlendirmesi yapılarak işsizlik faktörleri arasında en çok dikkate alınan değişkenler kullanılmıştır. Bu göstergeler, Tablo 1'de görülmektedir.

MATLAB' da "Fuzzy Clustering Toolbox"; R'da ise "ppclust" paketi kullanılarak iki farklı araçla bulanık c-ortalama kümeleme yöntemi uygulanmış ve OECD işsizlik gösterge verileri kullanılarak ele alınan Türkiye'nin de içinde yer aldığı 42 ülke için gruplandırma yapılmıştır.

#### 3.1. Kümeleme Geçerlilik İndeksleri

Bulanık kümeleme analizinde, uygun küme sayısının belirlenmesinde kullanılan belli başlı göstergeler bulunmaktadır.

Geçerlilik (veya doğrulama) endeksleri, elde edilen kümenin iyiliğini veya doğruluğunu değerlendiren ölçülerdir. Geçerlilik endeksleri, küme sayısı önceden bilinmiyorsa faydalı olacaktır. Bu durumda c'nin farklı değerlerine göre kümeleme deneyleri yapılır ve bu önceden tanımlanmış indekslere karşılık gelen grafikler çizilir. Optimum sonuç, bu indekslerin ve grafiklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesiyle bulunur(Azar et al., 2013). Bu çalışmada uygun küme sayısı belirlemek için bölümlenme katsayısı (PC), bölümlenme entropisi (PE) ve bulanık Silhouette indeksi (SF) kullanılmıştır.

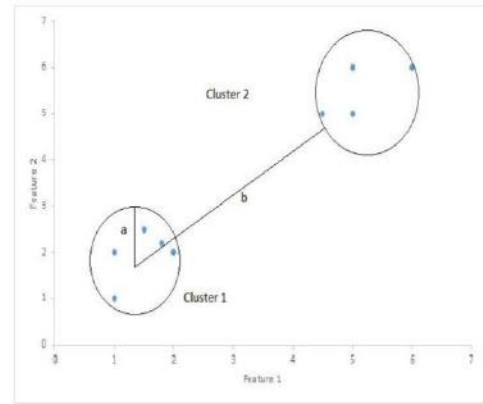
Örtüşen kümelerin miktarını ölçmek için kullanılan bölümlenme katsayısı, küme bölümlerindeki bulanıklığı ölçen bölümlenme entropisi ve kümelerdeki sıkıştırma ve ayırma toplamının oranı olan bölme indeksi, Bezdek (1981) tarafından tanımlanmışlardır (Bezdek, 1981).

PC, PE ve SF indeks değerlerine (Tablo 2) bakıldığında PC ve SF'nin, 1'e en yakın değeri ve PE'nin ise 0'a en yakın değeri, küme sayısı "2" olduğunda aldığı görülmektedir.

Tablo 2. Geçerlilik indeks değerleri

Küme Sayısı	PC	PE	SF
2	0.6722324	0.5034719	0.6642128
3	0.5066467	0.8353147	0.3842569
4	0.3914023	1.118141	0.334194
5	0.372438	1.214058	0.4137065
6	0.3220346	1.395909	0.3923455
7	0.2935311	1.532737	0.3342474
8	0.2962665	1.576826	0.3071584

Siluet analizi, ortaya çıkan kümeler arasındaki ayrılma mesafesini incelemek için kullanılabilir. Siluet grafiği (Şekil 1), bir kümedeki her noktanın komşu kümelerdeki noktalara ne kadar yakın olduğunun bir ölçüsüdür ve böylece küme sayısı gibi parametrelerin görsel olarak değerlendirilmesini sağlar ve [-1,1] aralığında değişim gösterir. (Ashutosh Bhardwaj, n.d.)



Şekil 1. Silhouette Skoru =  $(b-a)/\max(a,b)$

R ortamında elde edilen ortalama gölge istatistiği sonucunda optimal küme sayısının "2" olduğu Şekil 2'de açıkça görülmektedir.

Şekil 2. Ortalama gölge istatistiği grafiği





İncelenen ülkelerin her bir kümeye üyelik dereceleri hem MATLAB hem de R programları ile elde edilmiştir. Tablo 3 ve 4'de verilmiştir.

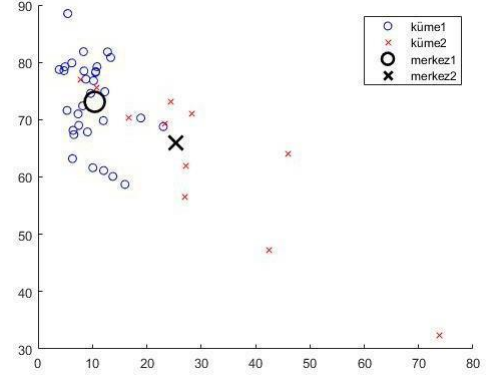
Üyelik derecesi yüksek olan kümeye ülkeler atanmaktadır.

Tablo 3. MATLAB ile elde edilen sonuçlar

ÜLKELER	Üyelik Dereceleri	
	1.Küme	2.Küme
Avustralya	0.86854447	0.13145552
Almanya	0.84135815	0.15864184
ABD	0.90177424	0.09822575
Avusturya	0.82486431	0.17513568
Belçika	0.60392550	0.39607449
Birleşik Krallık	0.86287214	0.13712785
Brezilya	0.14893738	0.85106261
Çekya	0.70167137	0.29832862
Çin	0.38568316	0.61431683
Danimarka	0.85017068	0.14982931
Estonya	0.84460666	0.15539333
Finlandiya	0.86363722	0.13636277
Fransa	0.43463489	0.56536510
Hindistan	0.37149380	0.62850619
Hollanda	0.84097583	0.15902416
İrlanda	0.77527023	0.22472976
İspanya	0.32038504	0.67961495
İsrail	0.85599508	0.14400491
İsveç	0.67600216	0.32399783
İsviçre	0.89153013	0.10846986
İtalya	0.21893689	0.78106310
İzlanda	0.78707955	0.21292044
Japonya	0.85994179	0.14005820
Kanada	0.86425163	0.13574836
Kolombiya	0.24542719	0.75457280
Kore	0.83888424	0.16111575
Kosta Rika	0.14457586	0.85542413
Letonya	0.9023285	0.0976715
Litvanya	0.9025938	0.0974061
Lüksemburg	0.72210728	0.27789271
Macaristan	0.80216887	0.19783112
Meksika	0.46402287	0.53597712
Norveç	0.89862671	0.10137328
Polonya	0.66487324	0.33512675
Portekiz	0.69451574	0.30548425
Rusya	0.76394785	0.23605214
Slovakya	0.51585291	0.48414708
Slovenya	0.78787326	0.21212673
Şili	0.51263888	0.48736111
Türkiye	0.23100418	0.76899581
Yeni Zelanda	0.86941798	0.13058201
Yunanistan	0.24106662	0.7589333

Bu kümeleme sonucunda, 42 ülkeden 31'i 1. kümede yer alırken; Türkiye'nin de içinde bulunduğu, işsizliğin daha fazla olduğu diğer 11 ülke de 2. kümede yer almıştır (Şekil 3).

Şekil 3. MATLAB ortamında elde edilen küme dağılım grafiği



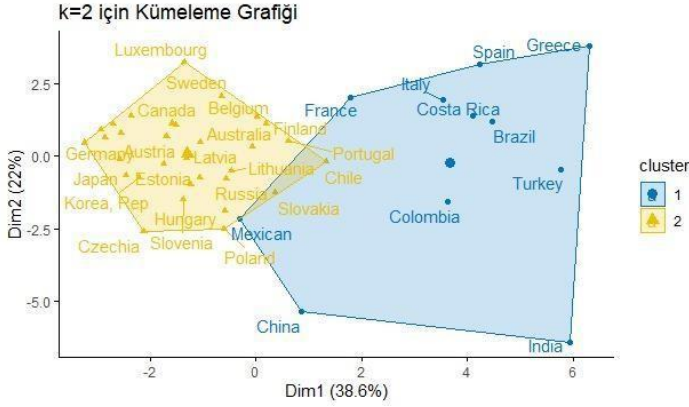
Şekil 3, analiz sonucunda ülkelerin atandığı küme gruplarını görselleştirmek için MATLAB ortamında oluşturulmuştur.

Tablo 4. R ile elde edilen sonuçlar

ÜLKELER	Üyelik Dereceleri	
	1. Küme	2. Küme
Avustralya	0.8685262	0.13147381
Almanya	0.8413419	0.15865808
ABD	0.9017615	0.09823854
Avusturya	0.82483	0.17517005
Belçika	0.6038715	0.39612846
Birleşik Krallık	0.8628436	0.13715644
Brezilya	0.1489628	0.85103724
Çekya	0.701634	0.29836603
Çin	0.3856919	0.61430809
Danimarka	0.85017	0.14983003
Estonya	0.8445912	0.15540877
Finlandiya	0.8635988	0.13640115
Fransa	0.4345833	0.56541668
Hindistan	0.3715117	0.62848827
Hollanda	0.8409622	0.15903779
İrlanda	0.7752731	0.22472694
İspanya	0.3203584	0.67964161
İsrail	0.8559718	0.14402823
İsveç	0.6759597	0.32404033
İsviçre	0.8915076	0.10849236
İtalya	0.218908	0.78109204
İzlanda	0.7870625	0.2129375
Japonya	0.8599231	0.1400768
Kanada	0.8642503	0.1357496
Kolombiya	0.2454612	0.7545388
Kore	0.8388889	0.1611110
Kosta Rika	0.1445873	0.8554126
Letonya	0.9023022	0.0976977
Litvanya	0.9025777	0.0974222
Lüksemburg	0.7220887	0.2779113
Macaristan	0.8021279	0.1978721
Meksika	0.4639992	0.5360008
Norveç	0.8986155	0.1013845
Polonya	0.6648463	0.3351536
Portekiz	0.6944593	0.3055407
Rusya	0.7638869	0.2361131
Slovakya	0.5157921	0.4842079
Slovenya	0.787839	0.2121610
Şili	0.5126072	0.4873927
Türkiye	0.231009	0.7689910
Yeni Zelanda	0.869412	0.1305879
Yunanistan	0.2410755	0.7589245

Kullanılan her iki araç için de küme üyelik derecelerinin birbirine çok yakın değerler aldığı görülmüş dolayısıyla ülkelerin yer aldığı kümeler değişmemiştir.

Şekil 4. R ortamında elde edilen küme dağılım grafiği



Şekil 4'de ise kümeleme analizini görselleştirmek için R ortamına eklenen "fviz\_cluster" paketinin factoextra işlevi kullanılarak küme grafiği oluşturulmuştur. R'in MATLAB'a nazaran daha etkin bir görsellik sunduğu açıktır.

Hindistan için savunmasız istihdamın çok yüksek olmasıyla birlikte işgücüne katılım oranının düşük olması etkin olmak ile birlikte bu ülkelerde bazı diğer işsizlik faktörlerinin benzeşmemesinin neden olduğu söylenebilir.

Çin için değerlendirme yaptığımızda, istihdam oranları ve diğer belirleyici faktörlerin çok yüksek istatistiksel değerler alması 1. kümede yer almasını engellemiş gözükmektedir.

## 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada ülke işsizliğinde belirleyici etkisi olan istatistiksel veriler ile birlikte işsizlik oranı verileri kullanılmış ve işsizlik problemleri bakımından hangi ülkelerin benzeştiği gözlemlenmiştir. Yalnızca işsizlik göstergeleri temelinde yapılan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Benzer bir çalışma olarak, OECD üyesi 35 ülke (Litvanya hariç), 4 adet iş gücü piyasası göstergesi (iş gücü piyasası güvensizliği, istihdam oranı, uzun dönem işsizlik oranı ve kişisel kazanç) temelinde kortalamalar yöntemi ile kümeleme yapılan çalışmada (Akdamar E., 2019), küme sayısı 4 olarak belirlenmiştir. İşgücü piyasası güvensizliği ve istihdam oranı göstergelerinin ortalamalarına göre kümelerin performansı; Küme 1, Küme 3, Küme 2 ve Küme 4 şeklinde sıralanmış ve adı geçen çalışmada Türkiye 3. Kümede yer almıştır.

Yapılan bu çalışma sonuçları, (Akdamar E., 2019) ve (Atal, 2015)' in çalışmaları ile karşılaştırıldığında, OECD üyesi olmayan ülkeler dikkate alınmaz ise her iki çalışma sonucu elde edilen kümelemeler ile (Fransa hariç) örtüştüğü görülmektedir.

Fransa'yı 1. Kümeden düşüren değişkenlerin Fransa için genç işsizlik oranları ile vergi oranının yüksek olması olduğu değerlendirilmiştir. Bahsedilen üstteki iki çalışmada kümeleme için bu iki gösterge dikkate alınmamıştır.

Ayrıca kullanılan analiz araçlarını değerlendirildiğinde, MATLAB' a nazaran, R ile çok daha etkin görseller oluşturulabilmesi ve açık kaynak kodlu olması, R'in artıları olarak görülmüştür.

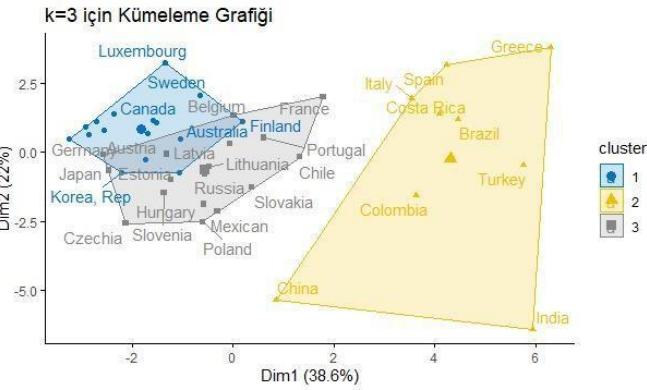
Gelecek çalışma önerisi olarak, Covid 19 sürecinin ülkelerin işsizlik yapısı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yeni bir kümeleme analizi yapılabileceği düşünülmüştür.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı lisans öğrencilerim Derya Deniz Bıcaççı ve Hamide Pekcan'a teşekkür ederim.

## Kaynakça

- Akdamar E. (2019). OECD ÜLKELERİNİN BAZI İŞ GÜCÜ PİYASASI GÖSTERGELERİ KULLANILARAK KÜMELEME ANALİZİ VE ÇOK BOYUTLU ÖLÇEKLEME ANALİZİ İLE İRDELENEMSİ. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/kilisiibfakademik/article/534700>
- Alptekin N. (2014). Comparison of Turkey and European Union Countries' health indicators by using fuzzy clustering analysis. *International Journal of Business and Social Research*, 04. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.671.2064&rep=rep1&type=pdf>
- Alptekin N., & Yeşilaydın G. (2015). OECD ülkelerinin sağlık



Şekil 5. Küme sayısı = 3 için elde edilen küme dağılım grafiği

Yalnızca R ile yapılan ekstra bir analiz olarak, küme sayısı 2 değil 3 olarak alındığındaki değişim Şekil 5'te görülmektedir.

Kümeleme sonucunda 42 ülkeden 17'si 1. kümede yer alırken; Türkiye'nin de içinde bulunduğu 9 ülke 2. kümede yer almış ve diğer 16 ülke 3. kümede yer almıştır.

3 kümeye ayrılmış OECD ülkeleri incelendiğinde 2. Kümede işsizlik bakımından en yüksek verilere sahip ülkelerin bulunduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda küme sayısı 2 olan tablodan farklı olarak Fransa ve Meksika'nın da 1. kümede yer aldıkları görülmektedir.

### 3.2. Tartışma

Bu çalışmada, 18 işsizlik değişkenine göre küme sayısı "2" alınarak kümeleme işlemi yapılmış ve genel olarak işsizlik oranı yüksek ülkelerin 2. grupta yer aldığı gözlemlenmiştir.

Çin, Meksika, Fransa ve Hindistan toplam işsizlik oranı düşük olmasına rağmen 2. kümede yer almıştır. Bu duruma Meksika için enflasyon ile vergi oranının yüksek olması ve Fransa için genç işsizlik oranları ile birlikte vergi oranının yüksek olması,

- göstergelerine göre bulanık kümeleme analizi ile sınıflandırılması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=689986>
- Ari, E., & Yıldız, A. (2018). OECD ÜLKELERİNİN GÖÇ İSTATİSTİKLERİ BAKIMINDAN BULANIK KÜMELEME ANALİZİ İLE İNCELENMESİ. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. <https://doi.org/10.30794/pausbed.402883>
- Ashutosh Bhardwaj. (n.d.). *Silhouette Coefficient*. |. Towards Data Science. Retrieved February 28, 2022, from <https://towardsdatascience.com/silhouette-coefficient-validating-clustering-techniques-e976bb81d10c>
- Atal, S. (2015). *Bulanık kümeleme analizi ve OECD ülkelerinin gelişmişlik bakımından kümelendirilmesi*. <http://openaccess.ogu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11684/415>
- Azar, A., El-Said, S., & AE Hassanien. (2013). Fuzzy and hard clustering analysis for thyroid disease. *Computer Methods and Programs In*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260713000059>
- Bezdek, J. C. (1981). Objective Function Clustering. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, 43–93. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1_3)
- Demircioğlu M., & Eşiyok S. (2020). COVID-19 SALGINI İLE MÜCADELEDE KÜMELEME ANALİZİ İLE ÜLKELERİN SINIFLANDIRILMASI. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iticusbe/issue/55168/753509>
- Demirkale, Ö. (2020). *OECD Ülkelerinin Makroekonomik Göstergelerine Göre K-Ortalamlar Yöntemi ile Analizi: Ekonomik Özgürlük Endeksi ile Karşılaştırılması*. *Social Sciences Research Journal*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/54392/719843>
- Gürüş S., Y. B. (2018). *OECD ÜLKELERİNDE İŞSİZLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN PANEL VERİ MODELLERİ İLE ANALİZİ*. *Social Sciences Research Journal*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ssrj/issue/35807/396173>
- Kelleci S., & Turk Z. (2016). *GENÇ İŞSİZLİĞİN İNCELENMESİ: OECD ÜLKELERİ VE TÜRKİYE KARŞILAŞTIRMASI*. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/hakisderg/issue/27095/281216>
- Korkut PATA, U., & Güvenlik Dergisi, S. (2020). OECD Ülkelerinde İşsizlik Histerisinin Ampirik Bir Analizi: Fourier Panel Durağanlık Testi. *SGD-Sosyal Güvenlik Dergisi, Cilt 10, Sayı 1(Sayı 1)*, 125–144. <https://doi.org/10.32331/SGD.753027>
- Köseoğlu, M., & Artan, G. (2019). Göç, İşsizlik ve Gelir Arasındaki İlişkilerin Analizi: OECD Ülkeleri Örneği. *International Journal of Economics and Innovation*, 6(1), 61–81. <https://doi.org/10.20979/UEYD.671530>
- Madhulatha, T. S. (2012). AN OVERVIEW ON CLUSTERING METHODS. *IOSR Journal of Engineering*, 02(04), 719–725. <https://doi.org/10.9790/3021-0204719725>
- Mut, S., & Akyürek E. Ç. (2017). OECD Ülkelerinin Sağlık Göstergelerine Göre Kümeleme Analizi ile Sınıflandırılma. *International Journal of Academic Value Studies (Javstudies) JAVS*. <https://doi.org/10.23929/javstudies.283>
- Uluslararası Çalışma Örgütü. (2021). *WESO Eğilimler 2021: İstihdamın yavaş toparlanması ve eşitsizliklerin artması nedeniyle, COVID-19'un derin izlerinin uzun sürmesi riski var*. [https://www.ilo.org/ankara/areas-of-work/employment-promotion/WCMS\\_797464/lang--tr/index.htm](https://www.ilo.org/ankara/areas-of-work/employment-promotion/WCMS_797464/lang--tr/index.htm)
- Üzar U. (2018). *EKONOMİK BÜYÜME VE İŞSİZLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN OECD ÜLKELERİ DÜZEYİNDE EKONOMETRİK BİR ANALİZİ | TR Dizin*. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi Bilimler Dergisi. <https://app.trdizin.gov.tr/publication/paper/detail/TXpBMk1qUTBOQT09>



# An Investigation of Power Consumption in Milling AISI P20 Plastic Mold Steel by Finite Elements Method

Rüstem Binali<sup>1\*</sup>, Mücahit Coşkun<sup>2</sup> and Süleyman Neşeli<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0775-3817), [rustem.binali@selcuk.edu.tr](mailto:rustem.binali@selcuk.edu.tr)

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs University, Yesilyurt Demir Celik Vocational School, Weapons Industry Technician Program, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7326-9663), [mucahit.coskun@omu.edu.tr](mailto:mucahit.coskun@omu.edu.tr)

<sup>3</sup> Selcuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1553-581X), [sneseli@selcuk.edu.tr](mailto:sneseli@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083257)

**ATIF/REFERENCE:** Binali, R., Coşkun, M. & Neşeli, S. (2022). An Investigation of Power Consumption in Milling AISI P20 Plastic Mold Steel by Finite Elements Method. *European Journal of Science and Technology*, (34), 513-518.

## Abstract

Mold steels lead the production of products used in all areas of our lives. Performing the machinability tests of these materials with the finite element method (FEM) provides cost and time savings. In addition, it provides to get away from physical experiments that provide high power consumption. Because consumption must be eliminated in order to ensure a sustainable and clean production. In this study, AISI P20 mold steel was milled using the finite element method. Same directional milling and corner milling operations were performed. The effects of the cutting parameters used in the milling process on the power consumption were investigated. Four different feed rates (0.075-0.113-0.169 and 0.253 mm/tooth) four different cutting speeds (170-200-230-260 m/min), and two different cutting depths (0.075-1.5 mm) were used in the study. Power consumption values were obtained by taking the resultant values of the cutting forces (Fx, Fy and Fz) occurring during cutting. According to the results obtained, it was concluded that the power consumption increased with the increase in feed rate, cutting speed and cutting depth. The highest power consumption value was determined as 8041.91 W, and the lowest power consumption value was determined as 1748.10 W. As a result, it has been shown that the FEM and statistical evaluation yield consistent results.

**Keywords:** Mold steel, AISI P20, Milling, Finite elements, Power consumption.

## AISI P20 Plastik Kalıp Çeliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Frezelenmesinde Güç Tüketiminin İncelenmesi

### Öz

Kalıp çelikleri hayatımızın her alanında kullanılan ürünlerin üretimine öncülük etmektedir. Bu malzemelerin işlenebilirlik deneylerinin sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile yapılması maliyet ve zaman tasarrufu sağlar. Ayrıca yüksek güç tüketimi sağlayan fiziksel deneylerden uzaklaşmayı sağlar. Çünkü sürdürülebilir ve temiz bir üretimin sağlanabilmesi için tüketimin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, AISI P20 kalıp çeliği sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak frezelenmiştir. Aynı yönlü frezeleme ve köşe frezeleme işlemleri yapılmıştır. Frezeleme işleminde kullanılan kesme parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada dört farklı ilerleme miktarı (0.075-0.113-0.169 ve 0.253 mm/diş) dört farklı kesme hızı (170-200-230-260 m/dak) ve iki farklı talaş derinliği (0.075-1.5 mm) kullanılmıştır. Kesme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin (Fx, Fy ve Fz) bileşke değerleri alınarak güç tüketim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği arttıkça güç tüketiminin arttığı sonucuna varılmıştır. En yüksek güç tüketim değeri 8041,91 W, en düşük güç tüketim değeri ise 1748,10 W olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak FEM ve istatistiksel değerlendirmenin birbirleri ile uyumlu sonuçların elde edildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalıp çeliği, AISI P20, Frezeleme, Sonlu elemanlar, Güç tüketimi.

\* Corresponding Author: [rustem.binali@selcuk.edu.tr](mailto:rustem.binali@selcuk.edu.tr)

## 1. Introduction

In mold production, material selection is important for the quantity and quality of the product to be produced. Not only the mechanical properties of the steel material to be selected, but also its chemical properties and the machinability criteria of machining in the manufacturing industry should be considered [1]. Machining methods in the manufacturing industry include milling, drilling, grinding and turning etc. High quality production of complex geometry materials with these methods is more efficient than other manufacturing methods (casting, forging, etc.). However, the selection of processing parameters is important in order to produce materials with the desired quality and desired efficiency with machining methods. As a result of choosing these parameters properly, the process outputs (Cutting force, surface roughness, cutting temperature and power consumption, etc.) will lead to a good result [2,3,4]. With the developing technology, the cost of experimental research with machining is also increasing. For this reason, alternative numerical models for research processes are increasing nowadays. The most widely used method in numerical modeling is the FEM. Mechanical properties of materials, machinability tests etc. with finite element method operations can be done easily. In experimental studies, the obtained cutting force, cutting temperature, moment, power consumed and the rate of stress between the material and the tool can also be done by the finite element method [3,5,6].

When the studies in the literature are examined, the machinability tests performed with the finite element method increase, although not as much as the experimental studies. To summarize the research and development studies carried out are as follows. Kuram et al. investigated the specific cutting energy (SCE) by measuring the cutting forces in the milling process [7]. Gök, studied, compared the cutting forces and temperature values that occur by turning AISI 1045 steel with both physical and finite element methods [8]. Yaşar et al., examined the cutting forces generated in the turning process of AISI P20 steel as experimental and numerical analysis [3]. Valiorgue et al. evaluated of AISI 304L steel in a hybrid method combining both experimental and numerical [9]. Özel and Zeren, using the Arbitrary Lagrangian Eulerian method, processed AISI 1045 steel with the finite element method [10]. Korkmaz and Günay, on the other hand, investigated the cutting force and consumed energy by making the machinability of AISI 420 steel with finite elements [5]. Ezilarasan et al. performed the turning experiments of Nimonic C-263 superalloy using the finite element method [11].

The literature studies are evaluated, it is seen that turning experiments are generally carried out. Therefore, in this study, the amount of power consumed during milling of AISI P20 steel with the finite element method was investigated. Feed rate per tooth, cutting speed and cutting depth values were evaluated as machinability parameters. In addition, the values obtained as a result of the FE analysis were evaluated by the Taguchi method.

## 2. Material and Method

AISI P20 mold steel, which is widely used in the mold industry, was used in the study. Milling of this material was done using the FEM. The chemical and mechanical properties of AISI P20 die steel material are given in Table 1 and Table 2.

Table 1. Chemical composition (%) [12].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,40	0,8	1,00	0,03	0,03	2,00	0,55

Table 2. Mechanical properties [12].

Properties	Metric
Hardness, Rockwell C	30
Tensile ultimate strength (MPa)	965-1030
Tensile yield strength (MPa)	827-862
Elongation at break (in 50 mm)	20.00%
Poisson ratio	0.30
Elastic modulus (GPa)	190-210

Machining parameters were determined as a result of the suggestions of the cutting tool company and literature reviews, and two different cutting depths were selected with four different feed rates and cutting speeds. Processing parameters are given in Table 3.

Table 3. Cutting parameters and levels.

Machining parameter	Levels
Cutting speed (m/min)	170-200-230-260
Feed Rate (mm/tooth)	0.075-0.113-0.169-0.253
Depth of Cut (mm)	0.75-1.50

The Johnson-Cook (JC) model parameters required for the finite element method of AISI P20 material were obtained from the study by Shatla et al. [13]. JC model parameters are given in Table 4.

Table 4. JC parameters [13].

A (Mpa)	B (MPa)	n	c	m	Tm
145	565.5	0.154	0.03	1.8	1753

The equation of the JC model parameter used in the study is given below.

$$\sigma^0 = (A + B(\epsilon^p)^n) (1 + C \ln(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\dot{\epsilon}_0})) (1 - (\frac{T - T_r}{T_m - T_r})^m) \quad (1)$$

Milling operations were performed using the finite element program. In this context, AISI P20 material used in the milling process is defined as the length 50 mm, its width is 25 mm and its thickness is 25 mm. For the purpose of define the cutting tool to the program, the drawing data was made with the CATIA program (Figure 1). In the study, carbide cutting tool with the code AOMT123608PEER-M, which was coated with the PVD method produced by Mitsubishi company, was used. In the milling simulation process of AISI P20 steel, the surface relationship between the workpiece and cutting tool materials was chosen as the Coulomb friction law. The milling method was chosen in the down milling. The representation of the milling process in the simulation program is given in Figure 2.

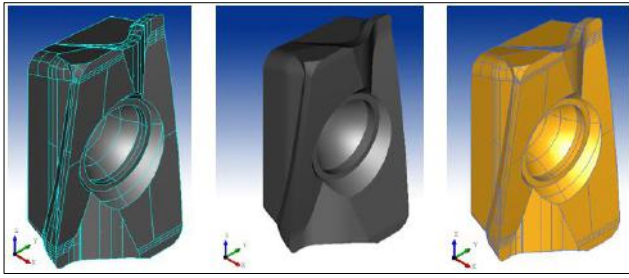


Fig. 1. Cutting tool.

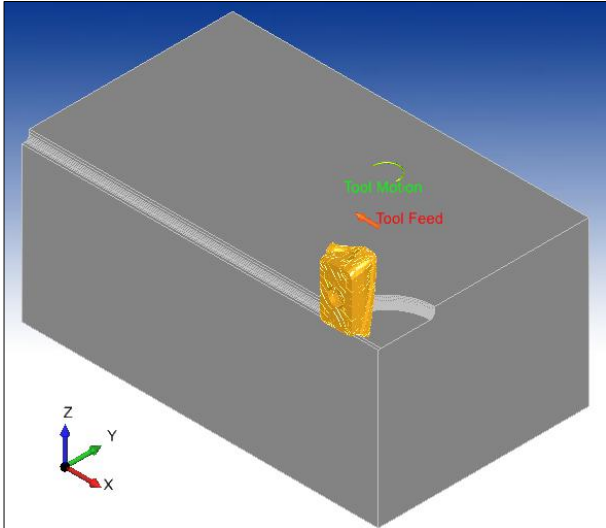


Fig. 2. Milling in finite elements method.

### 3. Results and Discussion

In the evaluation of the analysis results of the milling process with the FEM, the resultant values of the cutting forces, which are important in terms of power consumption in the milling process, were taken into account. Evaluation of power consumption was made with the formula in Equation 2 [5].

$$P = Fx \frac{v}{60} \quad (2)$$

The results obtained as a result of the studies are given in Table 5 and their graphical representations are given in Figure 3 and Figure 4.

Table 5. Power consumption values obtained depending on cutting parameters.

Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/tooth)	Depth of Cut (mm)	Power (W)
170	0,075	0,75	1748,10
170	0,113	0,75	2472,57
170	0,169	0,75	3465,26
170	0,253	0,75	2531,74
200	0,075	0,75	2251,42
200	0,113	0,75	2945,36
200	0,169	0,75	3505,73
200	0,253	0,75	3125,08

230	0,075	0,75	2807,45
230	0,113	0,75	3735,72
230	0,169	0,75	4299,41
230	0,253	0,75	3517,60
260	0,075	0,75	2732,75
260	0,113	0,75	3331,57
260	0,169	0,75	5250,29
260	0,253	0,75	3958,83
170	0,075	1,50	2574,90
170	0,113	1,50	3606,12
170	0,169	1,50	5214,51
170	0,253	1,50	4773,10
200	0,075	1,50	2927,66
200	0,113	1,50	5375,69
200	0,169	1,50	4731,19
200	0,253	1,50	6462,89
230	0,075	1,50	3308,59
230	0,113	1,50	6451,96
230	0,169	1,50	6872,32
230	0,253	1,50	6759,91
260	0,075	1,50	4002,06
260	0,113	1,50	6308,09
260	0,169	1,50	7741,63
260	0,253	1,50	8040,91

In general, there is an increase in the amount of power consumed depending on the increasing cutting speed and feed. This situation is similar to the literature [5]. However, when both amount of depths of cut are evaluated according to the, it is seen that there is a fluctuating change in some machining parameters. This can be attributed to the milling mechanics having different cutting mechanics.

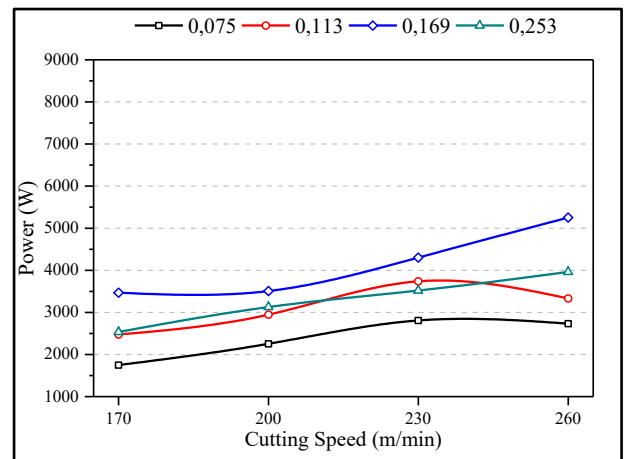


Fig. 2. Power consumption change graph according to cutting speed and feed rate at 0.075 mm depth of cut.

By examining the graph in Figure 2, the lowest power value (1741.10 W) at a cutting speed of 170 m/min and a tooth feed rate of 0.075 mm, and it is seen that the highest power value (5250.29 W) is at 260 m/min cutting speed and 0.169 mm/tooth feed. There was a 201.55% variation between the lowest and highest power amount. The highest change between successive parameters was observed with an increase of 57.59% from 0.113 mm/tooth feed to 0.169 mm/tooth feed at 260 m/min cutting speed. The lowest change between the successive parameters was observed in the

increase from 0.169 mm/tooth feed rate to 0.253 mm/tooth feed rate at 200 m/min cutting speed with 10.85.

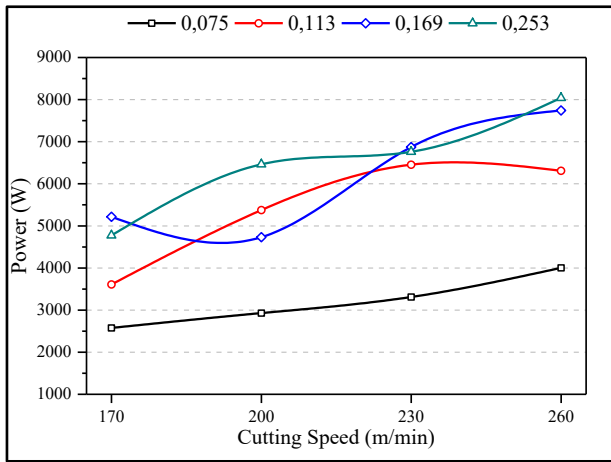


Fig. 4. Power consumption change graph according to cutting speed and feed rate at 1.5 mm depth of cut.

According to the graph in Figure 4, it is seen that there is an increase in the amount of power in general with increasing cutting speed. Although it is observed that there is a fluctuating change according to the feed rate, it can be said that there is an increase in the amount of power with the increase in the feed rate in general. The lowest power value (2574.90 W) occurred at a cutting speed of 170 m/min and a tooth feed rate of 0.075 mm, as in the cutting depth of 0.075 mm, and the highest power value (8040.91 W) at a cutting speed of 260 m/min and it is seen that it is 0.253 mm/tooth feed rate. There was a 212.28% change between the lowest and highest power amount. The highest change between successive parameters was observed in the increase of 95% to 230 m/min cutting speed from 0.075 mm/tooth feed to 0.113 mm/tooth feed. The lowest change of about 1.63% among consecutive parameters was observed at the cutting speed of 230 m/min and the increase from 0.169 mm/tooth feed to 0.253 mm/tooth feed.

According to the analysis results obtained in terms, it was observed that the optimum parameters were 170 m/min cutting speed and 0.075 mm/tooth feed at both cutting depths.

The reason why machinability studies are difficult both in physical experiments and in finite element analysis is the determination of combinations of machining parameters. Depending on the parameters, metal removal can be time consuming and complex. For the purpose of save time and cost, the number of experiments can be reduced by the taguchi method in determining the optimum processing conditions [14,15]. The criterion used for the measurement and evaluation of quality characteristics in the Taguchi experimental design method is the S/N ratio. S (Signal) indicates the actual value given by the system and wanted to be measured, and N (Noise) indicates the share of uncontrollable and undesirable factors in the measured value. There are 3 types of S/N ratios [16]. These are given below.

The nominal-the best:  $S/N=10\log(\bar{y}/S_y^2)$  (3)

The larger-the better:  $S/N=-10\log(1/n\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2})$  (4)

The smaller-the better:  $S/N=-\log(1/n\sum_{i=1}^n y_i^2)$  (5)

In equations; “ $\bar{y}$ ” is the mean of the observed data, “ $S_y^2$ ” is the variance of y, “n” is the number of observation experiments, and “y” is the observed data [17].

For the purpose of determine the optimum combinations of processing parameters that should be used in order to keep the amount of power at a minimum, an orthogonal experimental design was implemented of for the purpose of distribute the effect levels of each parameter. In the study, S/N ratios were determined by considering “the smaller-the-better” quality characteristic objective function in order to find the optimum parameter values using the L32 orthogonal experimental design (Table 6) [18].

Table 6. Average S/N response for the power consumption.

Level	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/tooth)	Depth of Cut (mm)
1	<b>-67.86</b>	<b>-68.70</b>	<b>-69.90</b>
2	-71.36	-72.14	-74.05
3	-72.99	-73.89	-
4	-73.68	-73.17	-
Delta	3.83	5.19	4.15
Rank	3	1	2

The parameter with the highest Delta values given for each level in Table 6 has the greatest effect on power consumption. Impact rankings are expressed as Rank in the table. Accordingly, in order to reach the optimum power value, it has been determined that the possible parameter combination is first level of cutting depth, first level of feed rate and first level of cutting speed.

In Figure 5, graphs of S / N ratio responses for power are given. The maximum points of the slopes in the figure give information about the efficiency levels of the cutting parameters on the power consumption.

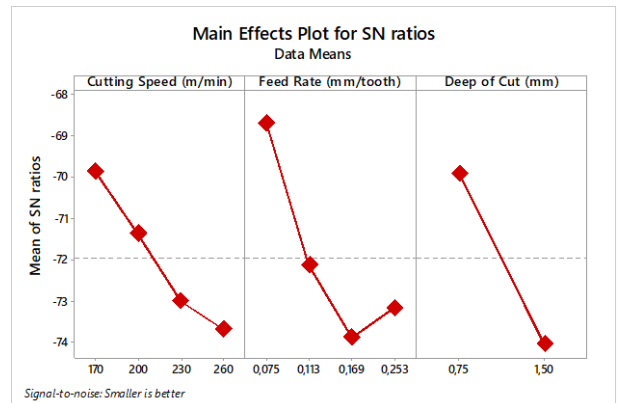


Figure 5. S/N chart for power consumption.

Anova method was used to determine numerically the interactions between control factors and processing parameters [17]. The analysis of variance results for power consumption values are in Table 7.

Table 7. ANOVA for the power consumption.

	Df	SS	MS	F	P	PCR (%)

Cutting Speed (m/min)	3	70.55	23.517	23.35	0.000	18.53
Feed Rate (mm/tooth)	3	126.84	42.278	41.98	0.000	29.52
Depth of Cut (mm)	1	137.90	137.898	136.93	0.000	38.93
Error	24	24.17	1.007			13.02
Total	31	359.45				
R <sup>2</sup> =%93.28						

In Anova, it is decided whether each parameter has an effect on each other by looking at the p value. Considering the 95% confidence interval, it is concluded that the parameter has an effect on the response when  $P < 0.05$  (5% significance value). Whichever factor has the highest F value, it is the factor that most affects the result [19]. As a result of examining the data in Table 7, it was concluded that the most effective parameter for power values was the cutting depth with 38.93% and the feed rate with 29.52%. It was concluded that the least effective parameter was the cutting speed with 18.53 percent.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, the analysis of AISI P20 die steel material with the finite element method was carried out. The optimum parameters of the obtained findings were obtained by using the statistical method. The simulation and statistical results are summarized below.

In general, it was determined that the amount of power increased with the increase of cutting speed, cutting depth and feed rate.

The lowest power value (1741.10 W) occurred at 170 m/min cutting speed, 0.075 mm/tooth feed and 0.075 mm cutting depth, and the highest power value (8040.91 W) at 0.253 mm/tooth feed, 260 m/min cutting speed and 1.5 mm cutting depth.

In order to reach the optimum power value, it has been determined that the possible parameter combination is first level of cutting depth, first level of feed rate and first level of cutting speed.

According to the Anova results, it was determined that the parameter with the least effect on the power consumption value was the cutting speed at a rate of 18.53%.

It was concluded that the FEM is useful for machinability experiments and the taguchi method is useful for parameter determination.

In order to obtain more comprehensive research and results, the number of experiments can be increased and comparisons can be made with physical experiments.

#### References

- [1] M. Coşkun, İ. Çiftçi and H. Demir, "AISI P20S Kalıp Çeliğinin İşlenebilirliğinin İncelenmesi", *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, vol. 2, no. 2, pp. 1-9, 2021.
- [2] E. P. DeGarmo, J. T. Black and R. A. Kohser, *Materials and Processes in Manufacturing*, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2013.
- [3] N. Yaşar, M. Sekmen, M. E. Korkmaz and M. Günay, "AISI P20 Çeliğinin İşlenmesinde Kesme Kuvvetinin Deneysel ve Nümerik Analizi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji*, vol. 4, no. 1, pp. 13-19, 2016.
- [4] E. Salur, A. Aslan, M. Kuntoglu, A. Gunes and O. S. Sahin, "Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling", *Composites Part B: Engineering*, vol. 166, pp. 401-413, 2019.
- [5] M. E. Korkmaz and M. Günay, "Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel", *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, pp. 4863-4870, 2018.
- [6] G. Kant and K. S. Sangwan, "Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining", *Journal of Cleaner Production*, vol. 83, pp. 151-164, 2014.
- [7] E. Kuram, B. Ozcelik, M. Bayramoglu, E. Demirbas and B. T. Simsek, "Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments", *J. Clean. Prod.*, vol. 42, pp. 1389-1406, 2013.
- [8] K. Gök, "Development of three-dimensional finite element model to calculate the turning processing parameters in turning operations", *Measurement*, vol. 75, pp. 57-68, 2015.
- [9] F. Valiorgue, J. Rech, H. Hamdi, P. Gilles and J. M. Bergheau, "3D modeling of residual stresses induced in finish turning of an AISI304L stainless steel", *Int. J. Mach. Tool. Manuf.*, vol. 53, no. 1, pp. 77-90, 2012.
- [10] T. Özel and E. Zeren, "Finite element method simulation of machining of AISI 1045 steel with a round edge cutting tool", *Proceedings of 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations*, pp. 533-542, 2005.
- [11] C. Ezilarasan, V. S. Senthil kumar and A. Velayudham, "Theoretical predictions and experimental validations on machining the Nimonic C-263 super alloy", *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 40, pp. 192-207, 2014.
- [12] (2022) ASTMSTEEL web site. [Online]. Available: <https://www.astmsteel.com/product/p20-steel-plate-1-2311-3cr2mo-mold-tool-steel/>.
- [13] M. Shatla, C. Kerk and T. Altan, "Process modeling in machining. Part I: determination of flow stress data", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 41, no. 10, pp. 1511-1534, 2001.
- [14] T. Kivak, "Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts", *Measurement*, vol. 50, pp. 19-28, 2014.



- [15]K. Palanikumar, “Experimental investigation and optimisation in drilling of GFRP composites”, *Measurement*, vol. 44, no. 10, pp. 2138-2148, 2011.
- [16]N. Masmiati and A. A. D. Sarhan, “Optimizing cutting parameters in inclined end milling for minimum surface residual stress – Taguchi approach”, *Measurement*, vol. 60, pp. 267-275, 2015.
- [17]N. Mandal, B. Doloi, B. Mondal and R. Das, “Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and Regression analysis”, *Measurement*, vol. 44, no. 10, pp. 2149-2155, 2011.
- [18]S. Neşeli, “Tırlama titreşimleri üzerine süreç sönümlenme etkisinin analitik olarak araştırılması ve tornalamada kararlı kesme derinliği ile süreç sönümlenme değerlerine bağlı parametre optimizasyonu, Doktora Tezi”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Turkey 2013.
- [19]E. Şirin, Ş. Şirin, Y. Turgut and İ. Korkut, “AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu İle Optimizasyonu”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 3, no 1 pp. 132-144, 2015.



# Boyut İndirgeme Teknikleri ve LSTM Derin Öğrenme Ağı İle BIST100 Endeksi Fiyat Tahmini

Mehmet Sarıkoç<sup>1\*</sup>, Mete Çelik<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Erciyes Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3081-1686), [msarikoc@erciyes.edu.tr](mailto:msarikoc@erciyes.edu.tr)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1488-1502), [mcelik@erciyes.edu.tr](mailto:mcelik@erciyes.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083255)

**ATIF/REFERENCE:** Sarıkoç, M. & Çelik, M. (2022). Boyut İndirgeme Teknikleri ve LSTM Derin Öğrenme Ağı İle BIST100 Endeksi Fiyat Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 519-524.

## Öz

Son dönemde teknolojide gözlenen gelişim ile birlikte derin öğrenme yöntemlerinin çok farklı alanlarda kullanımı da hız kazanmıştır. Bu alanların en popülerlerinden biri de finansal piyasalardır. Birçok girdinin etken olduğu finansal veriler üzerinde gerçekleştirilen tahmin ve analizlerin, yatırımcıların ve kurumsal yapıların karar alma mekanizmalarına yardımcı etkisi büyük öneme sahiptir. Çalışmada bir derin öğrenme ağı ile Borsa İstanbul 100 (BIST100) endeksi tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca veri ön işleme aşamasında Faktör Analizi (FA), Temel Bileşen Analizi (PCA), Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) gibi istatistiksel boyut indirgeme yöntemlerinin kullanımının, Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) derin öğrenme ağı performansına olan etkisi araştırılmaktadır. Deneyler esnasında kullanılan veri seti; BIST100 endeksine ait günlük geçmiş verilere ve teknik analiz bilgilerine dayalı olarak hazırlanmaktadır. Veri ön işleme aşamasında, derin öğrenme ağına eklenen istatistiksel boyut indirgeme yöntemlerinden oluşturulan modeller, 5 gün sonraki fiyatı tahmin etmeye çalışırken, R<sup>2</sup> ve RMSE ölçütleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Bu işlemler sırasında derin öğrenme hiper-parametreleri dışında kalan, teknik göstergelerin ve tahmin modelinin performansını etkileyeceği düşünülen parametreler iyileştirilmeye çalışılmıştır. Buna göre PCA+LSTM hibrit modeli, diğer boyut indirgeme yöntemleri ile oluşturulan hibrit modelleri geride bırakarak daha rekabetçi sonuçlar elde etmiştir. Aynı zamanda PCA+LSTM hibrit modelinin, LSTM modelinin tek başına elde ettiği sonuçları, R<sup>2</sup> ve RMSE için sırası ile %4.60 ve %13.35 oranlarında iyileştirdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Finansal Zaman Serileri, BIST100, Fiyat Tahmini, Veri Ön İşleme, Faktör Analizi (FA), Temel Bileşen Analizi (PCA), Bağımsız Bileşen Analizi (ICA), Derin Öğrenme, Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM).

## BIST100 Index Price Prediction with Dimension Reduction Techniques and LSTM Deep Learning Network

### Abstract

With the recent development in technology, the use of deep learning methods in many fields has gained momentum. One of the most popular of these areas is financial markets. The estimations and analyzes performed on financial data, where many inputs are effective, have great importance on the decision-making mechanisms of investors and institutional structures. In the study, Borsa Istanbul 100 (BIST100) index is tried to be estimated with a deep learning network. In addition, the effect of the use of statistical dimension reduction methods such as Factor Analysis (FA), Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA) in the data preprocessing stage on Long Short Term Memory (LSTM) deep learning network performance is investigated. The data set used during the experiments; is prepared based on daily historical data and technical analysis information of the BIST100 index. In the data preprocessing stage, the models created from the statistical dimension reduction methods added to the deep learning network were compared over the R<sup>2</sup> and RMSE criteria while trying to predict the price at the end of 5-days. During these processes, parameters other than deep learning hyper-parameters, which are thought to affect the performance of technical indicators and forecasting models, were

\* Sorumlu Yazar: [msarikoc@erciyes.edu.tr](mailto:msarikoc@erciyes.edu.tr)

tried to be improved. Accordingly, the PCA+LSTM hybrid model outperformed the hybrid models created by the other, dimensional reduction methods and achieved more competitive results. At the same time, it was observed that the PCA+LSTM hybrid model improved the results of the LSTM model alone by 4.60% and 13.35% for  $R^2$  and RMSE, respectively.

**Keywords:** Financial Time Series, BIST100, Price Prediction, Data Preprocessing, Factor Analysis (FA), Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA), Deep Learning, Long-Short Term Memory (LSTM).

## 1. Giriş

Günümüzde dünya finans piyasalarına ait bilgilere olan hızlı erişim, kullanılan araçların gelişimi ve çeşitliliği, birçok insanın ilgisini bu alana çekmektedir. Fakat finansal piyasalardaki karmaşık, derin ve öngörülemez yapı, yeterli finansal okul yazarlığı ve/veya deneyimi olmayan yatırımcı kitlesi için gerçekleştirilen işlemlerin ciddi risk barındırmasına sebep olmakta ve durum finansal piyasalardaki karar destek mekanizmalarının önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle geçmişten günümüze finansal verilerin analizi araştırılması popüler konulardan biri olmuştur. Finansal verilerin analizindeki temel amaç piyasa özelliklerinin etkilerini ve gelecekteki yönlerini, piyasa davranışlarına dayalı karar mekanizmaları için tahmin etmektir[1]. Özellikle finansal zaman serilerinin tahmini, finansal varlık piyasasında ileriye yönelik alınması gereken kararlar ve işlemlerin temelini oluşturmaktadır. Bu durum birçok araştırmacının dikkatini bu alana yoğunlaştırmasına sebep olmuştur. Son yıllarda bilindik istatistiksel yöntemler dışında derin öğrenmeye dayalı analiz ve tahmin modelleri başarılarından söz ettirmektedir. Özellikle LSTM derin öğrenme ağına dayalı olan modeller, zaman serileri ve benzer sıralı öğrenme görevlerinde oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir[2].

Konuşma tanıma, dil çevirisi, hareket tanıma, el yazı tanıma gibi birçok alanda, hem uzun hem de kısa süreli bilgileri hatırlama yeteneği dolayısıyla avantajlı bir model olan LSTM ağları sıklıkla kullanılmaktadır. Finans araştırmalarında, hesaplama zekâsının önemli bir kısmı finansal zaman serilerinin analizine ve tahminine dayanmaktadır [3]. Yıllardır hisse senedi piyasaları gibi siyasi, ekonomik, toplumsal psikoloji, haber vb. birçok girdinin etken olabildiği yapılarda, çeşitli istatistiksel hesaplamalar ile elde edilen teknik göstergeler sayesinde piyasaların davranışları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Hesaplama zekâsının büyük gelişim gösterdiği günümüzde, teknik göstergeler ve piyasa bilgileri (açılış, kapanış, yüksek, düşük, hacim vb.); LSTM derin öğrenme ağı modelleri için tahmin sistemlerine girdi olarak kullanılmaktadır [4-10]. Bunun yanında Borsa İstanbul endekslerine yönelik LSTM derin öğrenme ağı temelli farklı veri seti ve değerlendirme metrikleri için tahmin modelleri geliştirilmiştir [11-15].

Gerçekleştirilen bu çalışmada finansal varlıklardaki fiyat oynaklıklarını tahmin edebilmek amacıyla LSTM derin öğrenme ağına eklenen boyut indirgeme yöntemlerinin, derin öğrenme fiyat tahmin modelinin performansına olan etkisini incelemek üzerine kurgulanmıştır. Hisse senedi endeksleri ve hisse senedi fiyat bilgileri, tarihsel/zamansal verilere dayanması sebebiyle zaman serilerine güzel bir örnektir. Bu nedenle derin öğrenme fiyat tahmin modeli için zaman serileri gibi sıralı dizilere özel olarak tasarlanmış olan LSTM ağının kullanılması tercih edilmiştir. Bununla birlikte finansal varlıkların fiyatlanması sırasında toplumsal değerlendirmeler, haberler, finansal göstergeler, ekonomik göstergeler, siyasi etkenler vb. çok çeşitli değişkenler rol oynamaktadır. Veri setinde bu ve benzeri

değişkenlerin çokluğu, verinin boyutunu etkilemekte dolayısıyla tahmin modelinin performansı da etkilenmektedir. Veri boyutu düşürülmesi ile tahmin modellerinin eğitim sürelerinin kısaltılabileceği yanında, tahmin modelinin performansının yükseltilebileceği yönünde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan yola çıkarak, yapılan çalışmada Faktör Analizi, Temel Bileşen Analizi, Bağımsız Bileşen Analizi gibi istatistiksel boyut indirgeme yöntemlerinin, LSTM derin öğrenme tahmin modelinin performansına olan etkisi değerlendirilmektedir. Bunun için veri ön işleme aşamasında derin öğrenme fiyat tahmin modeline dâhil edilen boyut indirgeme yöntemleri ile oluşturulan hibrit FA+LSTM, PCA+LSTM ve ICA+LSTM tahmin modelleri, LSTM derin öğrenme fiyat tahmin modeli ile karşılaştırılmaktadır. Bunun için Borsa İstanbul 100 (BIST100) endeksine ait Eylül 2002 ve Temmuz 2020 tarihleri arasındaki endeks fiyat bilgisi kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar hibrit PCA+LSTM modelinin, diğer hibrit modelleri geride bırakarak LSTM fiyat tahmin modelinin performansını iyileştirmede daha başarılı olduğunu göstermektedir. Literatür taramamıza göre Türk borsaları için boyut indirgeme yöntemleri kullanan tahmin modelleri ile ilgili araştırmalar olsa bile bu çalışmamızda olduğu gibi doğrudan hibrit FA+LSTM, PCA+LSTM ve ICA+LSTM tahmin yöntemlerinin performansını karşılaştıran bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu ise çalışmamızın özgün yönünü ortaya koymaktadır. Böylece, literatürdeki tahmin yöntemlerinin performansını karşılaştırılması konusundaki boşluk doldurulmuş olacaktır.

Bu çalışmanın ana hatları şu şekildedir: Bölüm 2’ de, kullanılan materyal ve yöntemler hakkında bilgi verilmektedir. Elde edilen araştırma sonuçları ve tartışmalar Bölüm 3’ de paylaşılmaktadır. Bölüm 4’ de ise sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar özetlenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Seti



Şekil 1. BIST100 veri setinin tarihsel fiyat grafiği

Çalışma kapsamında Borsa İstanbul 100 endeksi günlük verileri kullanılmaktadır. Öncelikle ham veri seti için Yahoo Finance [16]’tan 20/09/2002 tarihinden 24/07/2020 tarihine kadar ki 4422 günlük veriye ait açılış, kapanış, yüksek, düşük,

düzeltilmiş kapanış ve hacim bilgileri elde edilmiştir. Bu bilgilerin ayırt edici özelliklerinin düşük olması sebebiyle, BIST100 endeks fiyat bilgisindeki eğilimlerin daha iyi ayırt edilebilmesine destek olabilecek bir takım teknik göstergeler (EMA, SMA, MOM, RSI, ATR, FIBO düzeltme seviyeleri vb.) eklenerek toplamda 49 öznelikten oluşan yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Hazırlanan veri seti, tahmin modeline uygulanmadan önce, eğitim seti için yaklaşık %70, doğrulama seti için %10 ve test seti için %20'lik parçalara ayrılmıştır. Buna ait gösterim ve kullanılan veri setinin tarihsel fiyat grafiği Şekil 1' de verilmektedir. Yeşil renkte gösterilen çizgiler eğitim setini, mavi renkte gösterilen çizgiler doğrulama setini ve kırmızı renkte gösterilen çizgiler test seti göstermektedir.

## 2.2. Metotlar

### 2.2.1. Faktör Analizi (FA)

Faktör analizi birçok farklı alanda kullanılabilen çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden bir tanesidir. Bu analiz yöntemi m değişkenli bir yapıda birbirleri ile ilişkili değişkenlerden arındırılmış daha az sayıdaki n değişkeni bulmak için kullanılır. Kısacası faktör analizinin temel amacı, boyutu indirgeyerek kullanılan veri kümesini kolay anlaşılabilir hale getirmeye çalışmaktır. Bununla beraber faktör analizi ölçülmesi veya gözlemlenmesi zor olan gizli boyutları ortaya çıkarmak için kullanılmakta ve korelasyon, regresyon, ayırıcı fonksiyon analizi vb. birçok farklı analizler için fayda sağlamaktadır [17,18].

### 2.2.2. Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel bileşen analizi Karl Pearson (1901) tarafından tanıtılan sınıflandırma, sıkıştırma, yüz ve hareket tanıma gibi farklı alanlarda kullanılabilen istatistiksel bir yöntemdir [19]. Esasında faktör analizinin bir türevi olarak, benzer şekilde yüksek boyutlu verilerin boyutunu düşürmek için kullanılmaktadır. Temel bileşenler maksimum varyans miktarını açıklarken, faktör analizi verilerdeki kovaryansı açıklamaktadır. Temel bileşen analizi ile boyut indirgeme işlemi gerçekleştirilirken veri setinde mümkün olan en çok çeşitliliği sağlayan ve temel bileşen olarak isimlendirilen orijinal değişken sayısına eşit ya da daha az sayıda yepyeni bir değişken setinin oluşturulması amaçlanmaktadır.

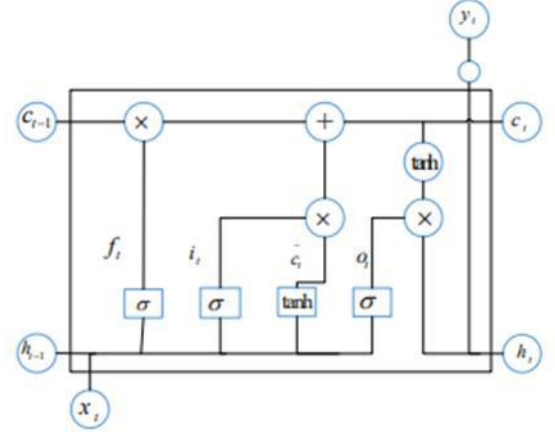
### 2.2.3. Bağımsız Bileşen Analizi (ICA)

Bağımsız Bileşen Analizi (ICA), olarak isimlendirilen ve bir veri kümesindeki ilk iki dereceden bağımlılıkları azaltarak istatistiksel olarak bağımsız yeni özellikler türeten bir özellik çıkarma yöntemidir [20]. Özellikle kaynak sinyal ve karıştırma mekanizmaları hakkında herhangi bir ön bilgiye sahip olmadan karmaşık sinyallerden bilinmeyen ve bağımsız sinyalleri ayırtmayı sağlayan sinyal işleme mekanizmaları ve problemleri için kullanılmaktadır. Bu yönüyle sayısal ses, sayısal görüntü, biyo-dalga bilgileri ve zaman serileri gibi birçok farklı veri türünün analizinde bu yöntemden faydalanılmaktadır. Yöntemin temel çalışma prensibi normal dağılım olmayan verilerin, birbirinden bağımsız olan yonlerini araştırması üzerinedir.

### 2.2.4. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)

LSTM ağları, tekrarlayan sinir ağları (RNN) gibi peş peşe bağlanmış sinir hücrelerinden meydana gelmektedir. Hochreiter ve Schmidhuber (1997) tarafından RNN' lerin bir türevi olarak tasarlanmıştır [21]. RNN' lerde gözlenen kaybolan gradyan sorununa çözüm getirebilmesi sebebiyle zaman serilerinde etkili

bir şekilde kullanılabilir. Bunu sinir hücresi içerisinde kapı olarak isimlendirilen yapılar vasıtasıyla gerçekleştirmektedir. Bu kapılar ve görevleri şu şekilde özetlenebilir: İstenilen bilgilerin güncellenmesinden sorumlu Giriş Kapısı, sinir hücresi tarafından kullanılması istenilmeyen bilgilerin yok edildi Unutma Kapısı ve sinir hücresine ait çıkış bilgisinin tutulduğu Çıkış Kapısıdır.



Şekil 2. Bir LSTM Hücresi[7]

Şekil 2' de LSTM ağındaki bir sinir hücresine ait yapı gösterilmekle birlikte bahsedilen kapı yapılarına ait matematiksel eşitlikler aşağıda paylaşılmaktadır[7]:

Giriş Kapısı:

$$i_t = \sigma(w_i \times [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (1)$$

$$\bar{c}_t = \tanh(w_c \times [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (2)$$

Unutma Kapısı:

$$f_t = \sigma(w_f \times [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (3)$$

Çıkış Kapısı:

$$c_t = f_t * c_{t-1} + i_t * \bar{c}_t \quad (4)$$

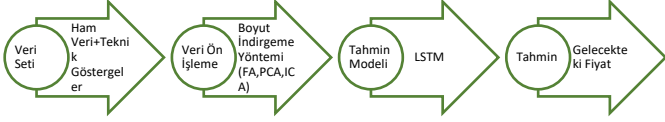
$$o_t = \sigma(w_o \times [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \quad (6)$$

## 2.3. Oluşturulan LSTM Hibrit Modeller

BIST100 Endeksi için kullanacağımız fiyat tahmin modeli, Thakkar vd. yapmış oldukları karşılaştırmalı çalışmadaki LSTM tahmin modeli temel alınarak hazırlanmıştır [22]. Buna göre LSTM tahmin modelinde; 64 ve 128 sinir hücresinden oluşan 2 LSTM katmanına, 256 ve 512 sinir hücresinden oluşan iki tam bağlı katman eşlik etmekte ve son olarak bir sinir hücresinden oluşan çıkış katmanı ile model mimarisi oluşturulmaktadır. Her bir katman arasında bırakma (dropout) işlemi uygulanmaktadır. Tahmin modelinin hiper-parametreleri için bırakma işlemi değeri 0.3, yığın boyutu 50, her bir eğitim turu 125, optimizasyon algoritması ADAM, aktivasyon fonksiyonu doğrusal ve parametre güncellemeleri için hata fonksiyonu ortalama karesel hata (MSE) olarak önerilmiştir. BIST100 ham veri setine

sonradan eklenen bir takım teknik göstergelerden sonra meydana gelen yeni veri seti, veri ön işleme sürecinde boyut indirgeme yöntemlerine (FA, PCA, ICA) tabi tutulmaktadır. Boyut indirgeme işleminden sonra elde edilen yeni veri kümesi 5 katmandan oluşan bu LSTM ağına sokularak, 5 gün sonraki fiyatı tahmin etmeye çalışmaktadır.



Şekil 3. Oluşturulan hibrit derin öğrenme tahmin modelinin çalışma çerçevesi

## 2.4. Değerlendirme Ölçütleri

Çalışmada oluşturulan modellerin performanslarını değerlendirebilmek amacıyla Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE) değerlendirme ölçütleri tercih edilmektedir. Belirleme katsayısının bire yaklaşan yüksek değerleri ve kök ortalama hata oranının sıfıra yaklaşan düşük değerleri fiyat tahmin modelinin ne kadar başarılı olduğuna işaret etmektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2} \quad (8)$$

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

Deneyel çalışmalar, Intel Core i7-3.4 GHz CPU ve 12 GB RAM'e sahip bir sistem üzerinde, Google Colaboratory ortamında Python programlama dili ve Keras derin öğrenme kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen tarihten 5 gün sonraki fiyatı tahmin etmek için kullanılan LSTM fiyat tahmin modeli, daha önce belirtilen çalışmadaki [22] derin öğrenme yapısı ve hiper-parametre düzeni birebir alınarak hazırlanmıştır. Deneyel çalışmalar sırasında her model 5 kez çalıştırılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması paylaşılmıştır. Ayrıca gerek kullanılan teknik göstergelerin özelliklerini gerekse tahmin modelinin performansını etkileyecek olan dönüştürme penceresi, geriye bakış penceresi ve boyut indirgeme yönteminde kullanılacak olan bileşen (öznitelik) sayısı gibi parametrelerin modelin performansına katkısını izleyebilmek amacıyla bu parametreler üzerinde ince ayarlamalar yapılmıştır. Buradaki amaç boyut indirgeme yöntemleri kullanılmadan önce LSTM fiyat tahmin modeli için en üstün performansı sağlayacak şekilde belirtilen parametrelerin en uygun değerlere ayarlanmasıdır. Sırasıyla en uygun değerleri bulunan parametre modele uygulanarak bir sonraki parametrenin belirlenmesi adımına geçilmektedir. En uygun parametre değerlerinin belirlenmesinde LSTM modeli için en yüksek  $R^2$  ve en düşük RMSE değerlerini veren parametre değerleri gözetilmektedir.

İlk olarak teknik göstergelerin hesaplanmasında ve kullanımında doğrudan etkin olan dönüştürme penceresi (transforming window) parametresinin en uygun değerinin

belirlenmesi için, piyasada sık kullanılan teknik gösterge değerleri ile ilgili bir dizi denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar en uygun dönüştürme pencere boyutu değerinin 12 seçildiği durumlarda LSTM fiyat tahmin modelinin en iyi performansı sağladığını göstermektedir. İlgili sonuçlar Tablo 1'de paylaşılmaktadır.

Tablo 1. Dönüştürme Penceresi Parametre Değer Seçimi ve LSTM Tahmin Modeli Performansı

Dönüştürme Penceresi	$R^2$	RMSE
3	0,914027	0,023168
5	0,92145	0,022145
9	0,915381	0,022985
<b>12</b>	<b>0,926545</b>	<b>0,021415</b>
14	0,917394	0,02271
20	0,920712	0,022249

Bir sonraki adımda geriye bakış penceresi (lookback window) parametresinin en uygun değerinin belirlenmesi için bir dizi değerlerle benzer bir çalışma yapılmaktadır. Bu parametre kaç günlük geçmiş verilere bakılarak tahmin yapılacağına belirlendiği parametredir. Dönüştürme penceresi 12'ye ayarlandıktan sonra, en uygun geriye bakış pencere değeri 3 olarak belirlenmektedir. İlgili deneye ait sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Geriye Bakış Penceresi Parametre Değer Seçimi ve LSTM Tahmin Modeli Performansı

Geriye Bakış Penceresi	$R^2$	RMSE
<b>3</b>	<b>0,844015</b>	<b>0,031169</b>
5	0,778225	0,037117
8	0,656869	0,046108
11	0,561294	0,052051
14	0,426816	0,059399
21	0,16454	0,071311

Dönüştürme penceresi ve geriye bakış pencere parametreleri belirlendikten sonra LSTM derin öğrenme modeli boyut indirgeme yöntemleri kullanmaksızın performansı belirli olmuştur. Buna göre LSTM derin öğrenme fiyat tahmin modeli dönüştürme penceresi=12 ve geriye bakış penceresi=3 iken 5 gün sonraki fiyatı tahmin etmek istediğinde; 0,844015  $R^2$  puanı ve 0,031169 RMSE puanı elde etmektedir. Hibrit olmayan LSTM modeline ait sonucun grafiksel gösterimi Şekil 4'te görülmektedir.

Sonrasında aynı parametre değerleri için veri ön işleme adımında boyut indirgeme yöntemleri dâhil edilerek hibrit LSTM derin öğrenme tahmin modelleri olan FA-LSTM, PCA-LSTM ve ICA-LSTM elde edilmiştir. Bu noktada piyasa bilgileri ve teknik göstergelerle birlikte 49 öznitelikten meydana gelen BIST100 veri setimizin öznitelik sayıları 5, 8 ve 12'ye indirgenmesi durumunda hibrit LSTM modellerin performansları incelenmeye

çalışılmaktadır. Deneysel sonuçları hibrit PCA+LSTM fiyat tahmin modelinin veri seti boyutu 8'e düşürüldüğünde, LSTM modelini ve diğer hibrit modelleri geride bırakarak en başarılı performansı sergilediğini göstermektedir. Yapılan deneysel çalışma ile ilgili sonuçlar Tablo 3'de paylaşılmaktadır.



Şekil 1. LSTM modeline ait sonuç

Deneysel sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 5'de verilmektedir. Buna göre yeşil ile gösterilen çizgi BIST100 endeksine ait test setinde kullanılan gerçek değeri gösterirken, kırmızı çizgi ilgili hibrit derin öğrenme modeli tarafından tahmin edilen değeri temsil etmektedir.

Tablo 3. İndirgenen Öznitelik Sayısı ve Hibrit LSTM Modellerinin Performansları

Modeller	Öznitelik Sayısı	R <sup>2</sup>	RMSE
FA+LSTM	5	0,868382	0,028631
	8	0,838533	0,031712
	12	0,830556	0,032486
PCA+LSTM	5	0,868896	0,028575
	<b>8</b>	<b>0,882893</b>	<b>0,027007</b>
	12	0,869224	0,028539
ICA+LSTM	5	0,850839	0,030480
	8	0,867977	0,028675
	12	0,861679	0,029351

### 3.2. Tartışma

Çalışma amacının BIST100 endeks fiyat oynaklıklarını tahmin edebilmek için LSTM derin öğrenme ağına eklenen boyut indirgeme yöntemlerinin, derin öğrenme fiyat tahmin modelinin performansına olan etkisini incelemek olması ve literatürdeki çalışmaların belirli bir görev için farklı veri setleri veya farklı değerlendirme metrikleri ile kullanılması sebebiyle doğrudan karşılaştırma yapmak güçtür. Bu nedenle çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir.

Deneysel çalışmalarımız LSTM fiyat tahmin modeli ve veri setinde kullanılan bir takım teknik göstergelerin hesaplanmasında kullanılan parametrelerin, modelin performansına doğrudan etki ettiğini gösterebilmektedir. Tahmin modelinde teknik göstergelerin hesaplanmasında kullanılan dönüştürme penceresi parametresi, kullanılan değerler arasında en yüksek başarımlı değerlerini 12 gün için vermektedir.

Benzer şekilde geçmişteki ne kadar sürelik bilgiyi referans alarak tahmin yapmamızı sağlayan geriye bakış pencere parametresi en yüksek başarımlı değerlerini 3 günlük geriye dönük değerler için vermektedir. Burada dikkat çeken nokta bu parametre değeri ne kadar büyürse başarımlı oranı da o oranda düşmektedir.



Şekil 5. Hibrit LSTM Modellerine ait sonuçlar

Bir diğer önemli parametre boyut indirgeme yöntemlerinde kullanılan bileşen (öznitelik) sayısı parametresidir. Veri seti piyasa bilgisi ve teknik göstergelerden oluşması sebebiyle 49 farklı öznitelik taşımaktadır. Fakat bu özniteliklerin hepsi ayırt edici özellikte olamamaktadır. Öyle ki 5 öznitelikte temel bileşenlerin toplam varyansı %95'i bulmaktadır. Bu sebeple tercih edilecek öznitelik sayısının tahmin modeline etkisini görebilmek için 3 farklı öznitelik sayısı ile etki, incelenmek istenmiştir. Bu noktada PCA ve ICA yöntemleri 8 öznitelik seçtiğinde tahmin modeli en iyi performansları verirken, FA yöntemi ile 5 öznitelikte tahmin modeli en iyi performansı sergilemiştir. Hibrit modellerin en iyi performansı verdikleri öznitelik sayıları üzerinde karşılaştırması yapıldığında PCA+LSTM modelinin 8 öznitelikle tahmin gerçekleştirdiğinde

daha başarılı sonuçlar elde ettiği ve hibrit olmayan LSTM modelinin performansını yukarı taşıdığı görülebilmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada LSTM derin öğrenme ağına dayanan fiyat tahmin modeli vasıtasıyla çok bilinen bazı istatistiksel boyut indirgeme yöntemlerinin etkinliği araştırılmıştır. Faktör analizi, temel bileşenler analizi ve bağımsız bileşenler analizi gibi istatistiksel teknikler, LSTM derin öğrenme ağı ile birlikte kullanılarak BIST100 endeks fiyatına etki eden özniteliklerin seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu durum veri setinde gereksiz tekrar eden bir takım verilerin sadeleşmesine dolayısıyla kullanılan veri seti boyutunun düşmesine ve tahmin modelinin performansında artış görülmesini sağlamaktadır. Deneysel çalışmamız bu tespiti doğrulamaktadır. PCA+LSTM modeli diğer boyut indirgeme yöntemlerinden daha başarılı bir performans göstererek, hibrit olmayan LSTM modelinin elde ettiği sonuçları,  $R^2$  puanı için %4.60 ve RMSE için %13.35 iyileştirmektedir. Bunun yanında deneysel çalışma, derin öğrenme ağı hiper-parametreleri dışında kullanılan dönüştürme penceresi, geriye bakış penceresi ve tercih edilecek öznitelik sayısı gibi bazı parametrelerin tahmin modelinin performansındaki etkisini de göstermektedir.

Elbette bu sonuçlar, LSTM derin öğrenme ağı optimize edilerek daha ileriye taşınabilir. İleriki çalışmalarda fiyat tahmin modeli için farklı derin öğrenme modelleri ve boyut indirgeme yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalar yapılabileceği gibi uygulama diğer ülkelerin endekslerine uyarlanarak genişletilebilir.

#### Kaynakça

- [1] Cavalcante, R. C., Brasileiro, R. C., Souza, V. L., Nobrega, J. P., & Oliveira, A. L. (2016). Computational intelligence and financial markets: A survey and future directions. *Expert Systems with Applications*, 55, 194-211.
- [2] Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117.
- [3] Ozbayoglu, Ahmet Murat, Mehmet Ugur Gudelek, and Omer Berat Sezer. "Deep learning for financial applications: A survey." *Applied Soft Computing* 93 (2020): 106384.
- [4] Gao, T., Chai, Y., & Liu, Y. (2017, November). Applying long short term memory neural networks for predicting stock closing price. In 2017 8th IEEE international conference on software engineering and service science (ICSESS) (pp. 575-578). IEEE.
- [5] Roondiwala, M., Patel, H., & Varma, S. (2017). Predicting stock prices using LSTM. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(4), 1754-1756.
- [6] Pang, X. W., Zhou, Y., Wang, P., Lin, W., & Chang, V. (2018, March). Stock Market Prediction based on Deep Long Short Term Memory Neural Network. In COMPLEXIS (pp. 102-108).
- [7] Wen, Y., Lin, P., & Nie, X. (2020, March). Research of stock price prediction based on PCA-LSTM model. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 790, No. 1, p. 012109). IOP Publishing.
- [8] Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., & Alsaadi, F. E. (2017). A survey of deep neural network architectures and their applications. *Neurocomputing*, 234, 11-26.
- [9] Zhuge, Q., Xu, L., & Zhang, G. (2017). LSTM Neural Network with Emotional Analysis for prediction of stock price. *Engineering letters*, 25(2).
- [10] Faurina, R., Winduratna, B., & Nugroho, P. (2018). Predicting stock movement using unidirectional LSTM and feature reduction: the case of an Indonesia stock. In *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*. Bali, Indonesia (pp. 180-5).
- [11] Unal, B., & Aladag, C. H. (2019). Stock Exchange Prediction via Long Short-Term Memory Networks. *Proceedings Book*, 246.
- [12] Santur, Y. Deep Learning Based Regression Approach for Algorithmic Stock Trading: A Case Study of the Bist30. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 1195-1211.
- [13] Demirel, U., Handan, Ç. A. M., & Ramazan, Ü. N. L. Ü. (2021). Predicting stock prices using machine learning methods and deep learning algorithms: The sample of the Istanbul Stock Exchange. *Gazi University Journal of Science*, 34(1), 63-82.
- [14] Kilimci, H., Kilimci, Z. H., & Yıldırım, M. (2021, November). Deep Learning-based Decision Integration Strategy for the Price Prediction of Istanbul Stock Exchange (BIST100). In 2021 13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO) (pp. 411-414). IEEE.
- [15] Selçuk, A. L. P., Yiğit, Ö. E., & Ersoy, Ö. Z. (2020). Prediction of bist price indices: a comparative study between traditional and deep learning methods. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(4), 1693-1704.
- [16] YahooFinance. <https://finance.yahoo.com/quote/XU100.IS/history?p=XU100.IS>. Erişim: 23 Şubat 2022.
- [17] Yaşlıoğlu, M. M. (2017). Sosyal bilimlerde faktör analizi ve geçerlilik: Keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizlerinin kullanılması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46, 74-85.
- [18] Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2014). *Applied multivariate statistical analysis* (Vol. 6). London, UK:: Pearson.
- [19] Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin philosophical magazine and journal of science*, 2(11), 559-572.
- [20] Anowar, F., Sadaoui, S., & Selim, B. (2021). Conceptual and empirical comparison of dimensionality reduction algorithms (PCA, KPCA, LDA, MDS, SVD, LLE, ISOMAP, LE, ICA, t-SNE). *Computer Science Review*, 40, 100378.
- [21] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- [22] Thakkar, A., & Chaudhari, K. (2021). A Comprehensive Survey on Deep Neural Networks for Stock Market: The Need, Challenges, and Future Directions. *Expert Systems with Applications*, 114800.



# Polimer Esaslı Ayak Ortezlerinin Mekaniksel Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Tahmini

Mustafa Güneş<sup>1\*</sup>, Abdulhamit Sevgi<sup>2</sup>, Cebrail Ölmez<sup>3</sup>, Zehra Sever<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0266-6370),  
[mustafa.gunes@ostimteknik.edu.tr](mailto:mustafa.gunes@ostimteknik.edu.tr)

<sup>2</sup> OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3567-848X),  
[abdulhamit.sevgi@ostimteknik.edu.tr](mailto:abdulhamit.sevgi@ostimteknik.edu.tr)

<sup>3</sup> OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9111-0325),  
[cebrail.olmez@ostimteknik.edu.tr](mailto:cebrail.olmez@ostimteknik.edu.tr)

<sup>4</sup> OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2928-1323),  
[zehra.sever@ostimteknik.edu.tr](mailto:zehra.sever@ostimteknik.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083267)

**ATIF/REFERENCE:** Güneş, M., Sevgi, A., Ölmez, C. & Sever, Z. (2022). Polimer Esaslı Ayak Ortezlerinin Mekaniksel Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 525-530.

## Öz

3B baskı alanındaki teknolojik gelişmeler son yıllarda hızlı bir şekilde büyüyerek birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. 3B baskı, tasarım süreçlerini ve tasarımlara ait prototiplerin imalat süreçlerini hızlandırmaktadır. Tasarım optimizasyonu ve karmaşık modellerin imalatında, geleneksel imalat yöntemlerinin aksine daha düşük maliyetlerle günler yerine saatler içinde yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra 3B baskı, farklı özelliklere sahip malzemelerle kişiye özel, fonksiyonel ve güvenilir biyomekanik modellerin tasarlanarak imalatına olanak tanımakta ve istenen mekanik özelliklerin önceden tahmin edilebilmesi için sonlu elemanlar yöntemiyle birleştirilebilmektedir. Yapılan çalışmada da 3B baskıda kullanılan PLA, ABS ve PETG olmak üzere 3 farklı polimerin, tasarlanan bir ayak ortezine ait mekanik özelliklerin baskı öncesinde tahmin edilebilmesine yönelik simülasyonu bu yöntemle gerçekleştirilmiştir. Yetişkin bir birey referans alınarak sınır koşulları ve uygulanması gereken eksenel kuvvetler belirlenerek, 3 farklı polimer için toplam deformasyon, eşdeğer (Von-Mises) gerilimi ve güvenlik faktörü ANSYS programı ile analiz edilerek simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, karşılaştırmalı olarak incelenen polimerler arasında eksenel olarak uygulanan kuvvetleri en iyi sönmülemeyi gerçekleştiren polimerin, ABS olduğu tespit edilmiştir. Diğer iki polimer malzeme arasında ise sönmülemeyi en iyi sağlayan polimer sırasıyla PETG, PLA şeklinde olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** 3B Baskı, Polimerler, Ortez, Sonlu Elemanlar Yöntemi.

## Prediction of Mechanical Behavior of Polymer-Based Foot Orthoses Using Finite Element Method

### Abstract

Technological developments in the field of 3D printing have grown rapidly in recent years and have been used in many sectors. 3D printing speeds up the design processes and the manufacturing processes of prototypes of designs. In design optimization and manufacturing of complex models, it can be done in hours instead of days, with lower costs, unlike traditional manufacturing methods. In addition, 3D printing allows the design and manufacture of personalized, functional and reliable biomechanical models with materials with different properties, and can be combined with the finite element method to predict the desired mechanical properties. In the study, 3 different polymers, namely PLA, ABS and PETG used in 3D printing, were simulated to predict the mechanical properties of a designed foot orthosis before printing, using this method. By taking an adult individual as a reference, boundary conditions and axial forces to be applied were determined, and total deformation, equivalent (Von-Mises) stress and safety factor for 3 different polymers were analyzed and simulated with the ANSYS program. According to the simulation results, it has been determined that ABS is the polymer that performs the best damping of the axially applied forces among the comparatively examined polymers. Among the other two polymer materials, it was concluded that the polymer that provides the best damping is in the form of PETG and PLA, respectively.

**Keywords:** 3D Printing, Polymers, Orthotics, Finite Element Method.

\* Sorumlu Yazar: [mustafa.gunes@ostimteknik.edu.tr](mailto:mustafa.gunes@ostimteknik.edu.tr)



## 1. Giriş

Ayak ortezleri yardımcı veya terapötik cihazlar olarak alt ekstremité fonksiyonu bozulmuş hastalarda yürüyüş performansını iyileştirmek için kullanılmaktadır [1]. Bu ortezler kişiye özel olacak şekilde geleneksel imalat yöntemleriyle veya 3B baskı yöntemleriyle üretilebilmektedir. Kişiyeye özel bir ayak ortezinin geleneksel imalat yöntemleriyle üretimi alçı döküm ile yapılmaktadır [2]. Bu yöntemde antropometrik veriler elde etmek için etkilenen bacak veya ayak bileği öncelikle alçıyla kaplanarak negatif modeli hazırlanır (şekil 1). Daha sonra elde edilen model kullanılarak, bacak veya ayak bileğinin pozitif modeli üretilir. Son aşama olarak, üretilen pozitif model tabaka şeklindeki polipropilen ve polietilen gibi termoplastik malzemeler ile manuel olarak kaplanarak, ısıtma ve vakumlama işlemleriyle şekillendirilir [3].



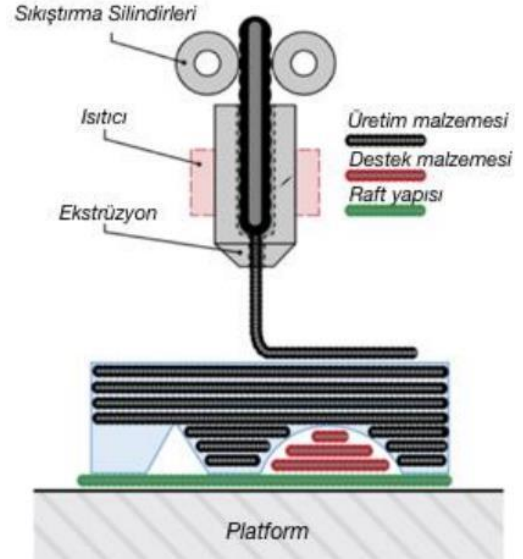
Şekil 1. Negatif modelin hazırlanışı [4].

Polimer kullanılarak kişiye özel bir ayak ortezinin tasarımı ve üretimi, ağırlık, şekil, yapı, kalınlık ve fonksiyonel özelliklerin optimizasyonu ile doğrudan bağlantılıdır. Farklı polimer malzemeler veya kompozitlerinden üretilen özel bir ayak ortezinin kaslarda zayıflık, ayak bileği dorsifleksiyonu gibi durumlarda hastanın yürümede rijitliğini ve stabilitesini iyileştirerek, zayıf bölgenin güvende tutulmasına yardımcı olmaktadır [5]. Bu ortezlerin tercih edilmesinde, ayak bileğini duruş esnasında veya yürüyüş boyunca döndürmek için yeterli olan destek ve mekanik gücün elde edilmesi, düzgün ve verimli yürüyüş döngüsünün sağlanması gibi birçok klinik nedeni vardır [6]. Fakat polipropilen gibi polimer malzeme kullanılarak üretilen ayak ortezlerinin düzgün ve verimli yürüyüş döngüsünün sağlanmasında verimli olmayıp, yürüme hızının sınırlandırılmasına ve vücudun öne doğru itilmesine yol açmaktadır [7]. Bu noktada, hastaların yürüyüş performansını ve yürüme hızını iyileştirmek için hafif ve sert polimerler kullanılarak protezlerin üretilmesi oldukça fayda sağlamaktadır [8]. Polimer malzeme kullanılarak geleneksel imalat yöntemleriyle şekil 2'deki gibi kişiye özel bir ortez veya protez, implant gibi biyomekanik parçaların üretimi, eklemeli imalat olarak da bilinen 3B baskıya kıyasla daha zordur [9]. 3B baskı teknolojilerinde ki gelişmeler sayesinde, istenilen polimer malzemeyle karmaşık ve hassas parçaların üretimi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir [10]. Gelişmelere paralel olarak kullanılabilen malzemelerde çeşitlilikte artarak, ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PC (Polikarbonat), PLA (Polilaktik Asit), PPSF (Polifenilsülfon) gibi birçok polimer ve bu polimerlerden elde edilen kompozitleri kullanılabilir hale gelmiştir [11].



Şekil 2. 3B baskı işlemi ile üretilen örnek bir ortez [12].

3B baskı işlemi şematik olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Basit olarak, sıkıştırma silindirlere tarafından ekstrüzyon işleminin gerçekleştirildiği uca iletilen polimer malzeme sıcaklığın etkisi ile eriyik hale getirilerek katmanlar halinde üst üste eklenmektedir. Herhangi bir katmanın baskı işlemi tamamlandığında, sistem belirlenen katman yüksekliği kadar yukarı doğru hareket ederek bir sonraki katmanın baskısı gerçekleştirilir. Son olarak basılan parçanın temizliği, parça yüzeyine zarar vermeden destek malzemesini çıkarmak için genellikle su bazlı bir çözelti ile gerçekleştirilir [13].



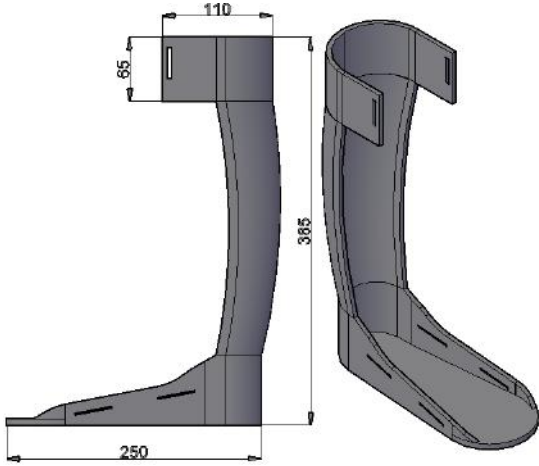
Şekil 3. 3B Baskı işleminin şematik olarak gösterilişi [14].

3B baskıyla yürüme gibi kayda değer bir yük altında olan tamamen işlevsel parçalar üretilmek istendiğinde parçanın mukavemetinde bir azalma olmaktadır. Bu durum 3B baskı teknolojisinin daha yaygın kullanılmasında bir dezavantajdır [15]. Sonlu elemanlar yöntemiyle, bu tip parçaların üretiminden önce model tasarımını gerçekleştirmek, simüle etmek, analiz etmek ve optimize mümkün hale gelmektedir. Bu yöntemle CAD modeli kullanılarak uygun gerilimi ve gerinim tahmini yapılabildiği gibi protez ve ortez alanında çeşitli modellerini tasarımı, simülasyonu ve analizi üretim öncesi gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca model tasarımındaki farklı malzemelerin gerilim-gerinim dağılımı ve toplam deformasyonları olan etkisi de yöntem sayesinde önceden tahmin edilebilmektedir [16].

Bu çalışmada da PLA, ABS ve PETG olmak üzere 3 farklı polimerle bir ayak ortezinin üretim öncesi biyomekanik özelliklerinin önceden tahmini için sonlu elamanlar yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve stress dağılımları kendi aralarında karşılaştırmalı olarak incelenerek, duruş ve yürüyüş durumunda hasta ayağının orteze temas ettiği kısımlarda ki yüksek basıncı en iyi sönmüleyebilen malzeme tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Ayak ortezinin katı modellemesi yetişkin bir insanın bacak boyutları referans alınarak SOLİDWORKS paket programında tasarlanmıştır (şekil 4). Daha sonra tasarımı gerçekleştirilen model, toplam deformasyon, eşdeğer (Von-Mises) gerilimi ve güvenlik faktörünün hesaplanması için ANSYS programına aktarılmıştır.



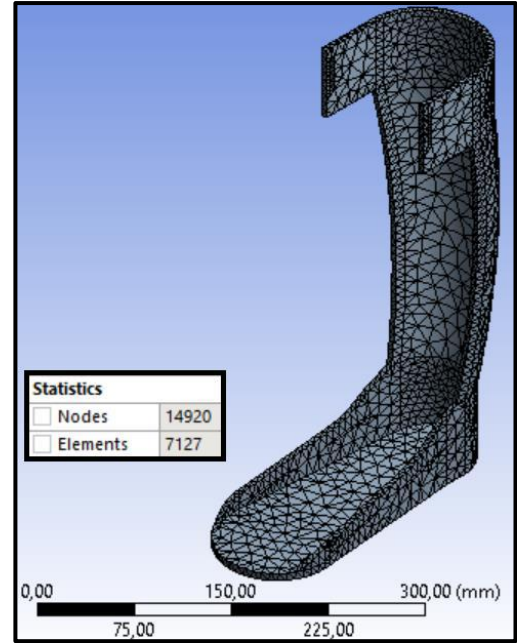
Şekil 4. Tasarımı gerçekleştirilen ayak ortezine ait genel ölçüler ve katı model görünümü.

Bu program deneysel maliyetleri ve üretim süreçlerini düşürmek, üretimde kaliteyi arttırmak, bilgisayar ortamında ürünleri analiz ve test etmek gibi birçok amaçla kullanılan mükemmel bir araçtır. Ayrıca prototip imalatına geçmeden bilgisayar ortamında sanal testler ve simülasyonlar gerçekleştirebilmesine olanak sağlamaktadır [17]. Programa malzeme ataması yapılan polimerlere ilişkin mekanik özellikler tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Programa tanıtılan polimer malzemelere ait mekanik özellikler [18].

	PLA	ABS	PETG
Young Modülü (Pa)	3.45e+09	2.39e+09	2.95e+09
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1250	1040	1375
Poisson’s Oranı	0,39	0,399	0,33

Sonlu elamanlar yöntemiyle ayak ve bacağın orteze temas eden kısımlarında yük ve gerilim bilgileri tahmin edilebilmektedir. Bu tahminlere yönelik analiz işlemi için katı model ANSYS programına aktarıldıktan sonra sırasıyla mesh yapısının oluşturularak eleman ve düğüm noktalarının tayin edilmesi, sınır koşullarının girilmesi ve modelin çözümlenerek analizlerin gösterilmesi adımları uygulanmıştır. Mesh yapısı oluşturularak eleman ve düğüm noktaları belirlenmiş modele ait görseller şekil 5’te verilmiştir.



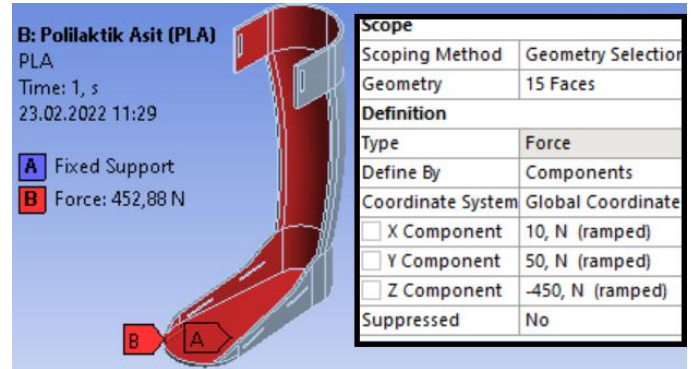
Şekil 5. Mesh yapısı ve düğüm noktaları oluşturulmuş ortez modeli.

Modelin mesh yapısı oluşturulduktan sonra ANSYS programının malzeme kütüphanesine eklenen polimer malzemelerden öncelikle PLA seçilerek tablo 2’de verilen sınır koşulları girilmiştir.

Tablo 2. Eksenel olarak uygulanan kuvvetler.

$F_x$ (N)	$F_y$ (N)	$F_z$ (N)
10	50	-450

Tabloda verilen koşullar diğer iki polimer malzeme içinde aynı tutulmuştur. Eksenel olarak uygulanan kuvvetler ve modelin sabitlenen yüzeyi şekil 6’te verilmiştir. Ortez alt yüzeyinden hareket etmeyecek şekilde sabitlenmiştir.

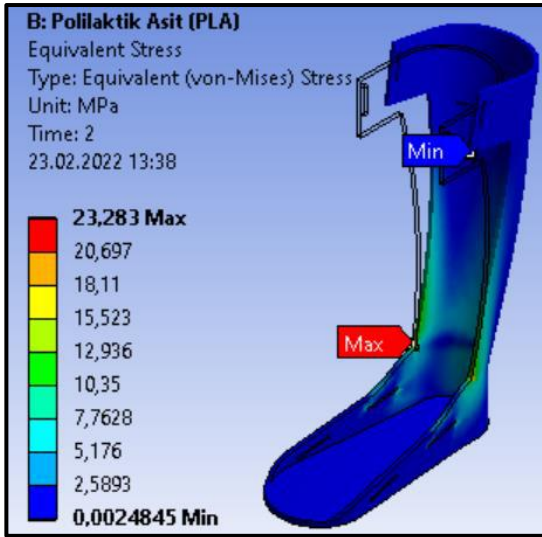


Şekil 6. Orteze uygulanan eksenel kuvvetlerin ve sabitlenen yüzeyin gösterimi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

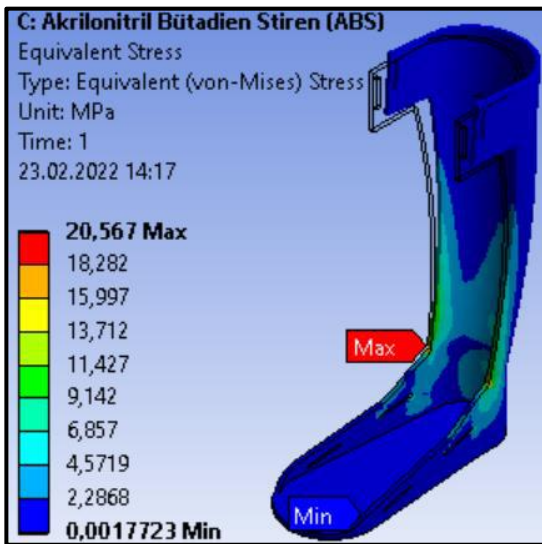
### 3.1. Analiz Sonuçları

Sonlu eleman analizi için sınır şartları modele uygulandıktan sonra her bir polimer için öncelikle oluşan eşdeğer gerilimin (Von-Mises) maksimum ve minimum değerleri hesaplanmıştır. PLA polimerine ait eşdeğer gerilim şekil 7’de verilmiştir. Maksimum gerilim 23,283 MPa ve minimum gerilim 0,0024 MPa olarak hesaplanmıştır.



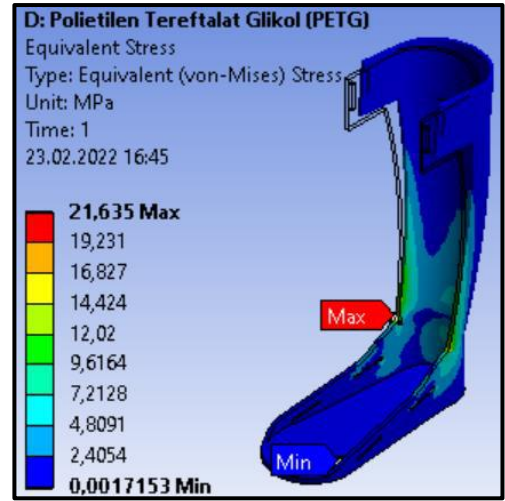
Şekil 7. PLA polimeriyle elde edilen eşdeğer gerilim.

Şekil 8’de ise malzemesi ABS polimer olarak atanan ortez üzerinde oluşan eşdeğer gerilim gösterilmiştir. Maksimum gerilim, 20,567 MPa ve oluşan minimum gerilim ise 0,0017 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. ABS polimeriyle elde edilen eşdeğer gerilim.

Son olarak, Şekil 9’da malzemesi PETG polimer olarak atanan ortez üzerinde oluşan eşdeğer gerilim gösterilmiştir. Maksimum gerilim, 21,635 MPa ve oluşan minimum gerilim ise 0,0017 MPa olarak hesaplanmıştır. Her 3 polimer malzeme için eşdeğer gerilim hesaplandıktan sonra toplam deformasyon ve güvenlik faktörleri hesaplanmıştır.



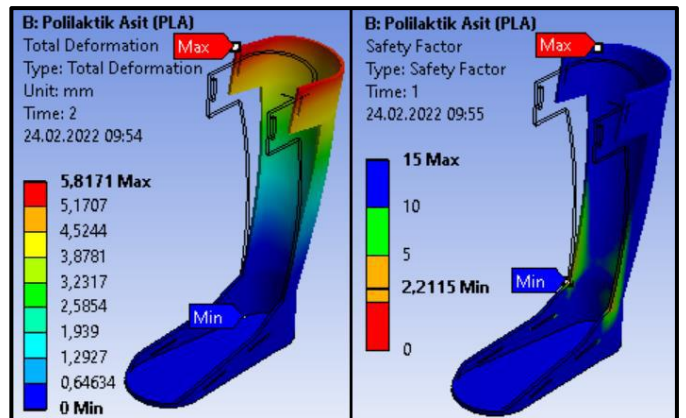
Şekil 9. PETG polimeri elde edilen eşdeğer gerilim.

Ayrıca her üç polimeri için hesaplanan gerilim değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi tablo 3’te verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere elde edilen gerilim sonuçları, uygulanan sınır koşulları altında en iyi sönümlenmeyi ABS polimerin gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Tablo 3. 3 farklı polimer malzemeye ait maksimum ve minimum gerilim değerleri.

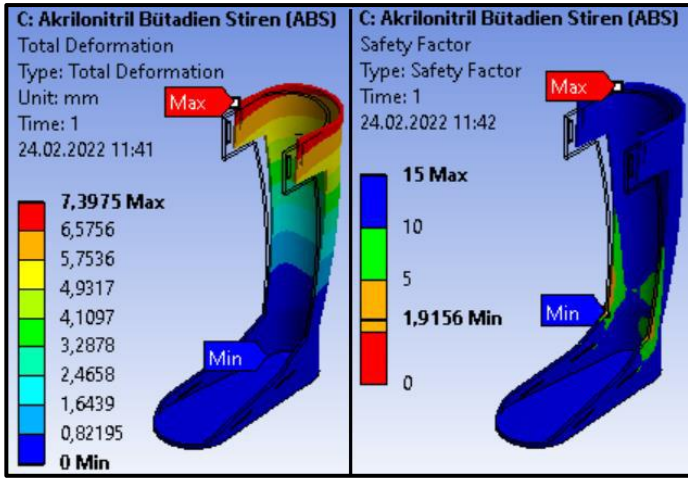
	PLA	ABS	PETG
Max. Gerilim (MPa)	23,283	20,567	21,635
Min. Gerilim (MPa)	0,0024	0,0017	0,0017

Malzemesi PLA polimer olarak atanan ortez üzerinde oluşan toplam deformasyon ve hesaplanan güvenlik faktörü şekil 10’da verilmiştir. Maksimum deformasyon 5,81 mm ve oluşan minimum deformasyon ise 0 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde güvenlik faktörünün maksimum değeri 15, minimum değeri 2,21 olarak hesaplanmıştır.



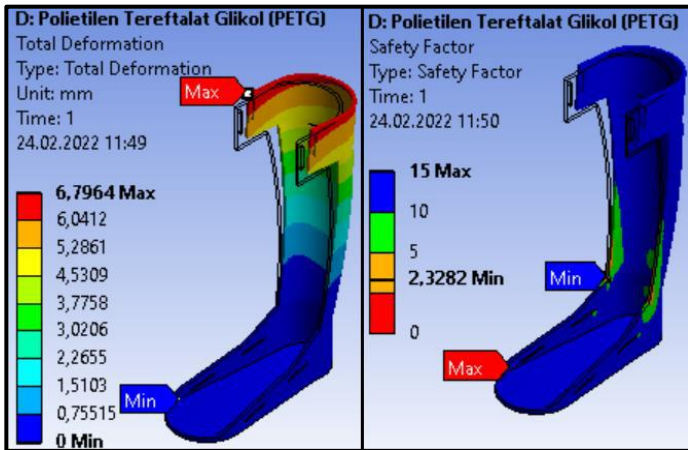
Şekil 10. PLA polimeri elde edilen toplam deformasyon ve güvenlik faktörü.

Malzemesi ABS polimer olarak atanan ortez üzerinde oluşan toplam deformasyon ve hesaplanan güvenlik faktörü şekil 11’de verilmiştir. Maksimum deformasyon 7,39 mm ve oluşan minimum deformasyon ise 0 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde güvenlik faktörünün maksimum değeri 15, minimum değeri 1,91 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. ABS polimeri elde edilen toplam deformasyon ve güvenlik faktörü.

Malzemesi PETG polimer olarak atanan ortez üzerinde oluşan toplam deformasyon ve hesaplanan güvenlik faktörü ise şekil 12’de verilmiştir. Maksimum deformasyon 6,79 mm ve oluşan minimum deformasyon ise 0 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde güvenlik faktörünün maksimum değeri 15, minimum değeri 2,32 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. PETG polimeri elde edilen toplam deformasyon ve güvenlik faktörü.

### 3.2. Tartışma

Mühendislik uygulamaları ve sektörün her alanında olduğu gibi medikal uygulamalarda ANSYS programı kullanılarak, biyomekanik parçaların istenilen analizler yapılabilir. Duruş veya yürüyüş esnasında ayak ortezlerine farklı kuvvetler uygulandığından dolayı hem geleneksel imalat yöntemleriyle hem de 3B baskı yöntemiyle üretim öncesi malzeme analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Bu analizler, ortezlerin maliyet bakımından daha uygun malzeme kullanılarak üretilmesine ve kaslarda zayıflık, ayak bileği dorsifleksiyonu gibi durumlarda hastanın yürümede rijitliğini ve stabilitesini iyileştirme açısından oldukça faydalı olacaktır. Ayrıca ANSYS programıyla gerilme, yer değiştirme ve güvenlik faktörünün hesaplanması gibi gerçekleştirilen analizlerin, ortezlerin istenilen özellikte olup olmadığı, imalatı gerçekleştirilmeden ve kullanımına geçilmeden önce uygunluğu test edilerek, bu tip biyomekanik parçaların tasarım ve gelişimine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### 3. Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında tasarımı gerçekleştirilen ortez modeli, üretim aşamasına geçmeden önce sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu yöntem 3 boyutlu katı modelleri bilgisayar ortamında analiz ve test etmek için harika bir araç olmakla birlikte, imalat aşamasına geçilmeden tasarlanan model üzerinde istenilen değişiklikler yapılabilmesine imkân sunmaktadır. Ayrıca hem deneysel çalışmalardan kaynaklanan maliyet ve zaman kaybının önüne geçilebilmekte hem de gerçekleştirilen simülasyonlar gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Tasarım gerçekleştirilen ortez modeli 3 farklı polimerle çalışma koşulları, boyutlar ve sınır koşulları eşit tutularak analiz edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucu elde edilen sonuçlar, uygulanan sınır koşulları altında sönümlemeyi en iyi sağlayan polimerin 20,56 MPa gerilim değeriyle PLA polimerin olduğunu göstermiştir.

### Kaynakça

- [1] A., Bashir, D., Dinkel, I., Pipinos, and S., Myers, "Implementation of an ankle foot orthosis to improve mobility in peripheral artery disease," Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 102 (10), e24, 2021.
- [2] S., Shahar, M. T. H., Sultan, S. H., Lee, M., Jawaid, A. U. M., Shah, S. N. A., Safri, and P. N., Sivasankaran, "A review on the orthotics and prosthetics and the potential of kenaf composites as alternative materials for ankle-foot orthosis," Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 99, 169-185, 2019.
- [3] A., Esmanhotto and G., Esmanhotto, "A simple idea for reducing the cost and weight of plaster-cast orthoses," Revista Brasileira de Ortopedia, 48, 17-21, 2013.
- [4] N., Tırpan, "Uzun yürüme ortezlerinde ölçü alma, pozitif model oluşturma, biyomekanik prensipler," 10. Uluslararası Protez-Ortez Kongresi, Hacettepe Üniversitesi Kültür Merkezi, ANKARA, 54-60, 2018.
- [5] N., Sabyrov, Z., Sotsial, A., Abilgaziye, D., Adair and M. H., Ali, "Design of a flexible neck orthosis on Fused Deposition Modeling printer for rehabilitation on regular usage," Procedia Computer Science, 179, 63-71, 2021.
- [6] H., Choi, K. M., Peters, M. B., MacConnell, K. K., Ly, E. S., Eckert and K. M., Steele, "Impact of ankle foot orthosis stiffness on Achilles' tendon and gastrocnemius function during unimpaired gait" Journal of biomechanics, 64, 145-152, 2017.
- [7] S., Petersmann, M., Spoerk, W., Van De Steene, M., Üçal, J., Wiener, G., Pinter and F., Arbeiter, "Mechanical properties of polymeric implant materials produced by extrusion-based additive manufacturing," Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 104, 103611, 2020.
- [8] D., Totah, I., Kovalenko, M., Saez, and K., Barton, "Manufacturing choices for ankle-foot Orthoses: a multi-objective optimization," Procedia CIRP, 65, 145-150, 2017.
- [9] A., Dal Maso and F., Cosmi, "3D-printed ankle-foot orthosis: a design method," Materials Today: Proceedings, 12, 252-261, 2019.
- [10] L. A., Melnyk and M. O., Oyewumi, Integration of 3D printing technology in pharmaceutical compounding: Progress, prospects, and challenges," Annals of 3D Printed Medicine, 4, 100035, 2021.

- [11] A., Kantaros, O., Diegel, D., Piromalis, G., Tsaramirsis, A. O., Khadidos, A. O., Khadidos and S., Jan, "3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services," *Materials Today: Proceedings*, 49, 2712-2723, 2022.
- [12] S., Chunhua and S., Guangqing, "Application and Development of 3D Printing in Medical Field. *Modern Mechanical Engineering*, 10 (03), 25, 2020.
- [13] B., Barroqueiro, A., Andrade-Campos and R. A., Valente, "Integrated Methodology for Designing Structures coming from Additive Layer Manufacturing," *Procedia Manufacturing*, 47, 425-428, 2020.
- [14] Ü. G., Başçı ve R., Yamanoğlu, "Yeni nesil üretim teknolojisi: FDM ile eklemeli imalat," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5 (2), 339-352, 2021.
- [15] M., Walbran, K., Turner and A. J., McDaid, "Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint," *Cogent Engineering*, 3 (1), 1227022, 2016.
- [16] H. K., Banga, P., Kalra, R. M., Belokar and R., Kumar, "Effect of 3D-printed ankle foot orthosis during walking of foot deformities patients," In *Recent Advances in Mechanical Engineering*, Springer, Singapore, 275-288, 2020.
- [17] W., Jia, J., Sun, T., Guan and Z., Xing, "Thermal-mechanical coupling analysis of 3D printing nozzle based on Ansys," In *Second IYSF Academic Symposium on Artificial Intelligence and Computer Engineering*, 12079, 272-277, 2021.
- [18] Ü., Çevik and M., Kam, "A review study on mechanical properties of obtained products by FDM method and metal/polymer composite filament production," *Journal of Nanomaterials*, 2020.



# Comparison of Mechanical Properties of Welded and Non-Welded Steels Used in Tankers with ADR

Furkan Emin Buğan<sup>1\*</sup>, Emin Emre Göktepe<sup>2</sup>, Tufan Altıparmak<sup>3</sup>, Erhan Duru<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9951-8018), [furkan.bugan@tirsan.com](mailto:furkan.bugan@tirsan.com)

<sup>2</sup> Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, ORCID: 0000-0003-0292-578X), [emre.goktepe@tirsan.com](mailto:emre.goktepe@tirsan.com)

<sup>3</sup> Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3292-004X), [tufan.altiparmak@tirsan.com](mailto:tufan.altiparmak@tirsan.com)

<sup>4</sup> Sakarya University, Faculty of Engineering Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6205-6566), [erhanduru@sakarya.edu.tr](mailto:erhanduru@sakarya.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1097159)

**ATIF/REFERENCE:** Buğan, F.E., Göktepe, E.E., Altıparmak, T. & Duru, E. (2022). Comparison of Mechanical Properties of Welded and Non-Welded Steels Used in Tankers with ADR. *European Journal of Science and Technology*, (34), 531-536.

## Abstract

In this study, the mechanical and metallurgical properties of 304, 321 and 316Ti stainless steels used in tankers subject to the European agreement on the Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)[1] and the welding zones formed as a result of joining the mentioned materials with the ceramic-bottom welding method were evaluated. Tensile test was performed on welded and unwelded samples and their mechanical properties were compared. The microstructure of the weld zone and the heat-affected zone (HAZ) of the welded samples were examined by scanning electron microscopy (SEM) and row hardness was obtained using the Vickers hardness method, which is a microhardness method. Finally, the weld areas of the welded samples were examined by radiographic (x-ray) examination method. The tensile strength in non-welded materials was 669 MPa, with the highest in 304 steels. In welded samples, the highest tensile strength was observed as 643 MPa in the 304 steels. Additionally, in the tensile tests of the welded samples, the rupture occurred in the HAZ regions, not in the welded region.

**Keywords:** Stainless steel, ADR, Tensile test

## ADR'li Tankerlerde Kullanılan Kaynaklı ve Kaynaksız Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

### Öz

Bu çalışmada, Tehlikeli Maddelerin Karayolunda Taşınmasına ilişkin Avrupa Anlaşması (ADR)[1] tabii olan tankerlerde kullanılan 304, 321 ve 316Ti paslanmaz çelikler ve bahsedilen malzemelerin seramik altlı kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonucunda oluşan kaynak bölgelerinin mekanik ve metalürjik özellikleri değerlendirilmiştir. Kaynaklı ve kaynaksız numunelerden çekme testi yapılarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve mikro sertlik yöntemi olan Vickers sertlik yöntemi ile sıra sertlikleri alınmıştır. Son olarak da kaynaklı numunelerin kaynak bölgeleri radyografik (röntgen) muayene yöntemi ile incelenmiştir. Kaynaksız malzemelerde çekme mukavemeti 669 MPa ile en yüksek 304 çeliklerinde görülmüştür. Kaynaklı numunelerde ise en yüksek çekme mukavemeti 643 MPa ile 304 çeliklerinde görülmüştür. Ayrıca kaynaklı numunelerin çekme testlerinde kopma kaynağın olduğu bölgede değil ITAB bölgelerinde meydana gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Paslanmaz Çelik, ADR, Çekme Deneyi

\* Corresponding Author: [furkan.bugan@tirsan.com](mailto:furkan.bugan@tirsan.com)

## 1. Introduction

Tanker is a land vehicle that transports liquid and gas. The majority of liquid and gas transportation on highways is carried out by tankers. These tankers are closely scrutinized from the initial construction stage to the final ultimate product stage. The transported liquids and gases are classified as hazardous substances, if they are flammable or combustible. In case of transportation of hazardous goods on the roads, they must comply with the ADR legislation. ADR legislation is a European agreement that contains rules determining the international road transport of solids, liquids and gases with flammable, explosive and explosive potential. [1]

In this sector, stainless steels have an important place in tanker manufacturing due to their mechanical properties, chemical composition and corrosion resistance.

The usage areas of stainless steels are growing day by day. It is widely used in the food industry, storage tank, kitchen materials, aviation industry, decorative purposes and many different sectors due to its wide advantages. Due to the stable structure of stainless steels, there is no interaction with the product it carries. The wide product range of stainless steels is a significant point for tanker transportation. Thus, it allows the transportation of various liquids. There are about 200 different types of stainless steels. [2] In this article the weldability of multiple austenitic stainless steels was examined. Austenitic stainless steel has very good corrosion resistance, contains high mechanical properties, can be used at low and high temperatures, and is easy to form.

Therefore, it has a wide range of usage area. Among the stainless steels, the most widely used is the austenitic stainless steel. The most commonly used alloy in austenitic stainless steel is 1.4301 austenitic stainless steel[3]. Compared to its price, 1.4301 high quality austenitic stainless steel is preferred due of its chemical composition, mechanical properties, weldability, and corrosion and oxidation resistance. This particular stainless steel is one of the most popular stainless steels due to its quality, availability on the market, and because it is easy to form and weld. Example 1.4301 can be given as the most affordable in terms of cost.

Weld quality is determined by adequate penetration, and a smooth welding profile. These variables are largely affected by the parameters such as, arc voltage, welding progress speed, shielding gas etc.[4],[5].

As a result, connections that provide optimum properties in thin-section parts will be obtained.Until now, many researchers have investigated the effect of selected parameters on penetration in joints made with different welding methods.[6],[7]

In this study, the mechanical properties of welded and unwelded states of different stainless steels were investigated. Welded samples were welded by semi-auto MAG welding method. Destructive and non-destructive methods analysis of the welded areas were made. With this study, it is aimed to minimize the accidents that may occur during transportation of tankers with ADR and the risks that these accidents may pose on human and environmental health.

## 2. Material and Method

### 2.1. Welding and Analysis of Steels by Semi-Auto MAG Method BIOH

In this study, 304 (1.4301), 321 (1.4541) and 316Ti (1.4571) steels were welded by semi-auto MAG method. The welding parameters used in the application are given in Table 1. The chemical compositions of 304,321 and 316Ti steels were obtained using the spectrometer foundry master device and these values are given in Table 2.

The dimensions of the main material used for the welded joint were prepared as 300x150x3 mm, and these prepared samples were joined by using (316LSi) welding wire in the size of 300x300x3 mm.

Table 1. Welding parameters of stainless steels.

Welding parameters	
Welding method	Semi-Auto MAG 125
Welding wire material	316 L Si
Wire diameter	1 mm
Current (I)	180-190
Welding speed (cm/min)	58-68

Table 2. Welding parameters of stainless steels.

Material	Quantity of Elements (%)					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
316LSi	0,011	0,85	1,57	18,5	11,2	2,54
304	0,015	0,556	1,50	17,7	8,27	0,354
321	0,015	0,586	1,45	17	9,30	0,574
316Ti	0,015	0,679	0,909	16,5	10,9	1,99

The schematic representation of the welding of 304, 321 and 316Ti steels is given in Figure 1. In Figure 2, the pre-welding spotting process, the placement of the ceramic substrate, the position of the welding torch and the images of the welded sample are given.

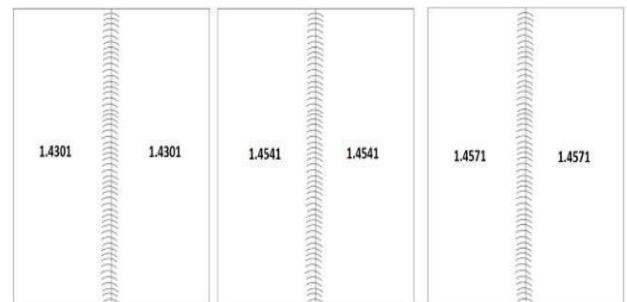


Figure 1. Schematic representation of the welding of stainless steels

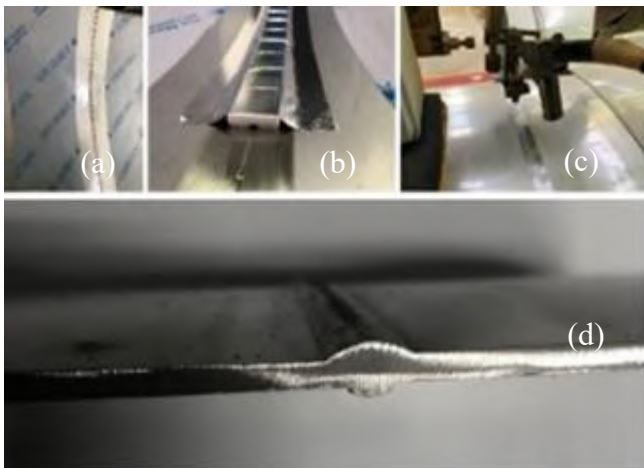


Figure 2. Welding process of Stainless steels; (a) centring, (b) placing of ceramic pad (c) position of welding torch and (d) welded plates.

### 2.2. Characterization of Welded and Non-Welded Steels

After welding different quality steel plates by semi-auto MAG method, the welding regions were examined by radiographic (x-ray) examination method and scanning electron microscope (SEM). In the welded samples, the row hardness was taken starting from the weld center. In Figure 3, the row hardening areas are marked. Hardness measurements were made using the microhardness method (Vickers, HV) by applying 50 grams of load for 10 seconds.

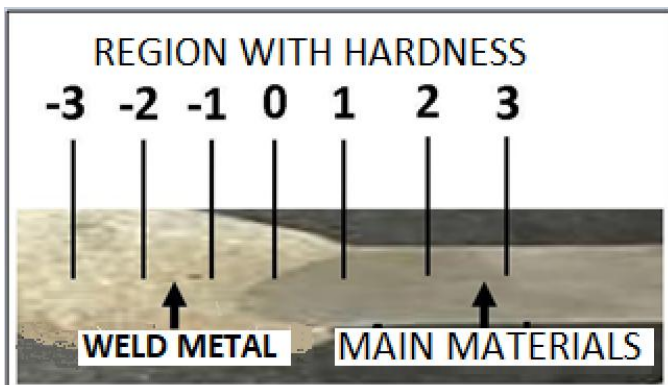


Figure 3. Demonstration of row hardness measurements on welded samples.

Tensile test was applied to both unwelded and welded samples according to EN ISO 4136 standards. It was made by removing samples from 0° and 90° directions to the rolling direction in samples which are not welded. Each experiment was repeated three times and the average was calculated. The schematic representation of the tensile samples extracted from the 0° and 90° directions of the welded and unwelded samples is demonstrated in Figure 4.

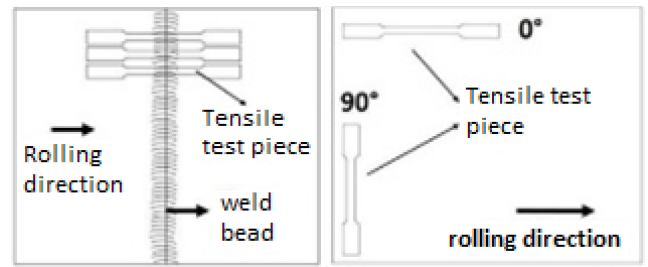


Figure 4. Schematic illustration of the preparation of tensile specimens.

### 3. Results and Discussion

The results of the radiographic examination of the weld seams of 304, 321 and 316Ti steels are given in Figure 5. As seen in the figure, no pores, cracks, slag residues or other welding defects were observed in the weld seams. The melting and penetration occurred during the welding process were sufficient and possible discontinuities were not encountered.

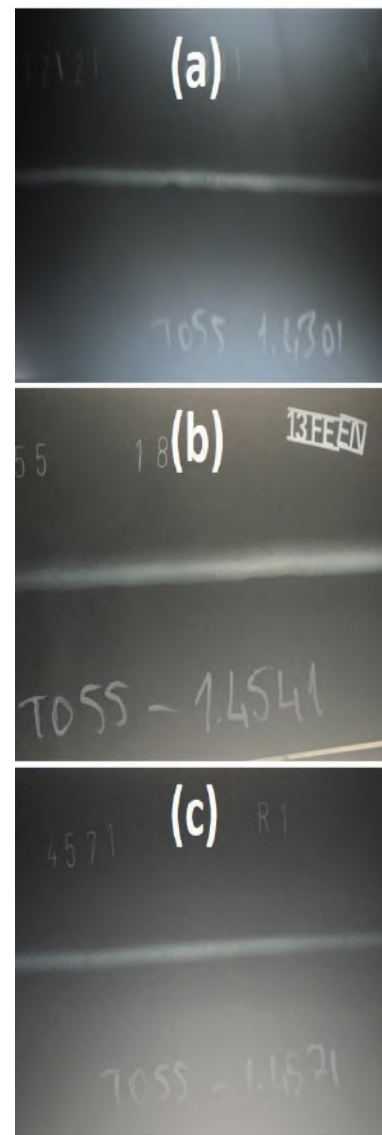


Figure 5. Radiographic inspection of seam welds of stainless steels: (a) 304, (b) 321 ve (c) 316Ti



Microstructure examinations of weld metal, heat affected zone (ITAB) and base material of welded 304, 321 and 316Ti materials were made under SEM and the images are given in Figures 5, 6 and 7. As can be seen from the figures, it is seen that all three areas have different microstructures. When looking at the microstructure in the weld metal region, a coaxial and homogeneous structure is seen. A coarsening is observed in the grains due to the heat input in the HAZ (heat affected zone) area [8] When the SEM images of the unaffected base metal are examined, the grains found here are smaller in size and have homogeneous dimensions.

Controlling the cooling with a ceramic underlay during welding prevented excessively rapid cooling.

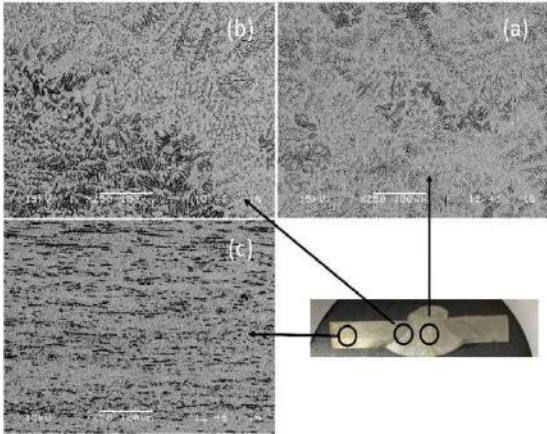


Figure 6. 304 stainless steel (a) Molten zone (b) HAZ (c) Base metal which is unaffected by heat.

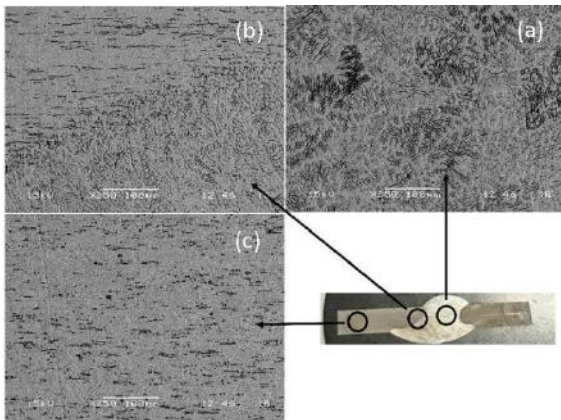
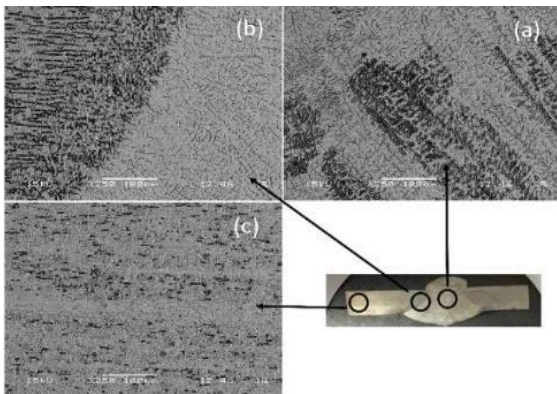


Figure 7. 321 stainless steel (a) Molten zone (b) HAZ (c) Base Metal which is unaffected by heat.



Row hardnesses of Figure 8. 316Ti Stainless Steel (a) Molten zone (b) HAZ (c) Base Metal which is unaffected by heat

If the welded materials are taken as shown in Figure 3 and the values are given in Table 3. In 304, 321 and 316Ti steels, the weld metal area is the stiffest area. The hardness of the weld metal 316LSi was between 210-240 HV, these values are compatible with the literature. [9] The lowest hardnesses were measured in the HAZ (heat affected zone) areas of all three materials. It is known that the heat input and the grain coarsening caused by this heat input cause a serious decrease in hardness in the HAZ area. [9]

Table 3. Row hardness of welded materials

	Zonal hardnesses (Vickers, HV)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
304	247	214	211	206	146	194	202
321	212	215	231	178	191	180	207
316Ti	214	213	198	213	174	185	191

The tensile test results of 304, 321 and 316Ti quality steels in their unwelded condition are given in Figure 9. The yield and tensile strength of 304 quality steel was the highest. The yield strengths of 321 and 316Ti quality steels are very close to each other, while the tensile strength is higher than that of 321 quality. Looking at the elongation percentages, 304 grade has the highest elongation value with approximately 50% elongation. The elongation values of 321 and 316Ti grades are very close to each other. When the yield, tensile strength and percent elongation values of all three grades of steel are compared with other studies, the results are compatible. [10]

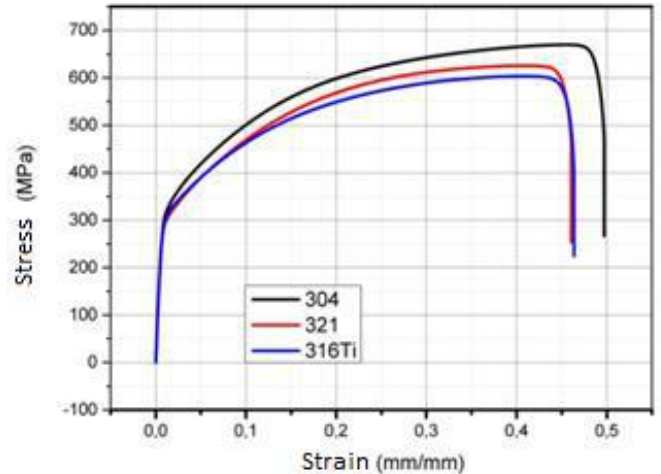


Figure 9. Tensile test results of 304, 321 and 316Ti steels in unwelded condition.

Three different grades of steel were welded with 316LSi and their tensile tests were carried out. The stress-strain plot of all three steels is given in Figure 10. Welded 304 quality steel has the highest yield and tensile stress values. The tensile strength of 321 grade steel was higher than 316Ti grade steel, but the elongation percentage of 316Ti grade steel was higher.

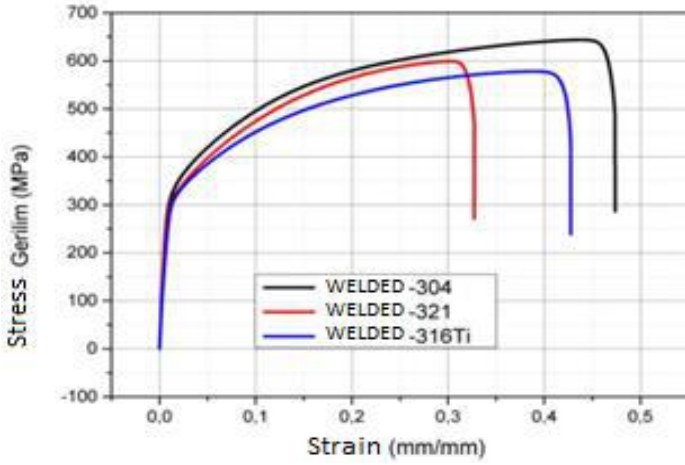


Figure 10. Tensile test results of welded steels 304, 321 and 316Ti.

Tensile test results of welded and non-welded materials are given in Figure 11. The graph shown in Figure 11 was formed by taking the average of 3 different test samples made for the sample types. According to the results obtained from the tensile test, it is observed that the welded samples reach lower stress values and lower elongation values.

Looking at the table, it was observed that the welded samples snapped earlier. The reason why the yield and tensile strengths of welded samples are lower is the grain coarsening in the HAZ(heat affected zone) area. [8] Grain coarsening in the HAZ area diminished both strength and ductility. In the tensile tests of welded samples, the rupture occurred in the HAZ area, not in the weld area. 304 quality steel has the highest tensile strength values, both welded and unwelded. The tensile strength and elongation values obtained after the tensile test of welded and unwelded samples are given in Table 4.

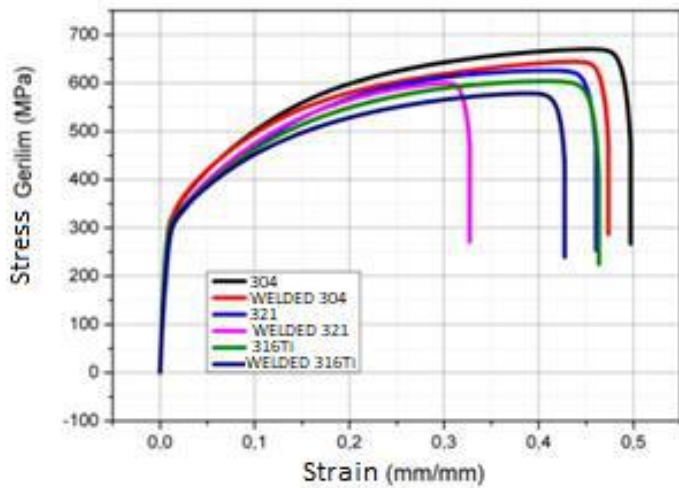


Figure 11. Tensile results of welded and unwelded states of the 304,321 and 316Ti steels.

Table 4. Values obtained after tensile test of welded and unwelded samples.

Material	Tensile strength (Mpa)	Elongation % (mm/mm)
304	669	0,49
304-Welded	643	0,47

321	625	0,46
321-Welded	599	0,32
316Ti	603	0,46
316Ti-Welded	577	0,42

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, the mechanical and metallurgical properties of both welded and unwelded forms of 304, 321 and 316Ti steels were investigated. Obtained results are given below.

All three materials were welded with 316LSi and radiographic examination of the weld seam was performed. No discontinuity was found as a result of radiographic examination.

The weld zone, the HAZ area and the microstructure of the base material were investigated by SEM. Grain coarsening in the HAZ area was visualized by SEM.

Tensile tests were carried out on different qualities of steels. 304 quality steel has the highest tensile and strength values, both welded and unwelded. 316Ti quality steel has the lowest tensile strength values. Tensile strength and elongation percentage decreased in materials after welding process.

#### 5. Acknowledge

The authors give their thanks to Tırsan Trailer INC. for their support during the operations in this study.

#### References

- [1] (2022) The adrbook website. [online] Available: <http://www.adrbook.com>
- [2] Aronsson B., On the origins and early growth of stainless steel: A survey with emphasis on the development in Sweden. Outokumpu Stainless research foundation, 2010.
- [3] Aran, A., Temel, M.A. (2004). Paslanmaz çelikler.
- [4] KIM I.S., SON, J.S., KiM, I.G., KIM, J.Y., KIM, O.S., "A study on relationship between process variabln and bead penetration for robotic CO2 arc welding ", 1. Materials Processing Technology, pp. 139-145, 136 (2003)
- [5] ANIK, S., DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M., “ (1994) Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyum MIG Kaynağı”, Kaynak Tekniği Derneği Yayın No.: 1,
- [6] Kim, I.S., SON, I.G., KIM, J.Y., KIM, O.S. (2003).A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO2 arc welding. Journal of Material Processing Technology, 136, 139-145.
- [7] Aıdun, D.K., Martin, S.A. (1997).Effect of sülfür and oxygen on weld penetration of high-purity austenitic stainless steels. Journal of Materials Engineering and Performance, 6, 496-502.
- [8] ARABACI U., ÇİMEN M.Y, (2019) AISI 1050, 304 Ve 430 Tip Çeliklerin Yakma Alın Kaynak Yöntemiyle Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.
- [9] Tümer, M., Yılmaz, R. (2016). Characterization of microstructure, chemical composition, and toughness of multipass welded joint of austenitic stainless steel AISI316L. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87, 2567-2579
- [10] Kahraman H., GÜVENÇ M. A., MISTIKOĞLU S., (2021) AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Levhaların TIG Kaynağı

ile Birleştirilmesinde Farklı Koruyucu Gaz Tiplerinin  
Mekanik Özelliklerine Etkisi.



# The Comparison of the Properties of Geopolymer Paste and Ordinary Portland Cement Mortar Produced Using Polycarboxylate Based Admixture

Evren Arıöz<sup>1\*</sup>, Gamze Saraç<sup>2</sup>, Ö. Arıöz<sup>3</sup>, Ö. Mete KOÇKAR<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4862-5467), [evrenbayram@eskisehir.edu.tr](mailto:evrenbayram@eskisehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0407-5192), [gamzesarac@eskisehir.edu.tr](mailto:gamzesarac@eskisehir.edu.tr)

<sup>3</sup> Toros University, Mersin, Turkey (ORCID: 0000-0002-4070-514X), [omer.arioz@toros.edu.tr](mailto:omer.arioz@toros.edu.tr)

<sup>4</sup> Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8860-9309), [mkoçkar@eskisehir.edu.tr](mailto:mkoçkar@eskisehir.edu.tr)

(2st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083318)

**ATIF/REFERENCE:** Arıöz, E., Saraç, G., Arıöz, Ö. & Koçkar, Ö. (2022). The Comparison of the Properties of Geopolymer Paste and Ordinary Portland Cement Mortar Produced Using Polycarboxylate Based Admixture. *European Journal of Science and Technology*, (34), 537-540.

## Abstract

Chemical admixtures are generally used in ready mixed concrete production to improve and enhance the concrete properties. Polycarboxylate based superplasticizers are classified as third generation plasticizing admixtures which increase fluidity and workability without decreasing compressive strength. Geopolymers having many superior properties are alternative materials to ordinary Portland cement concrete. Geopolymers are environmentally friendly and sustainable materials because they can be synthesized from waste materials such as fly ash. In this experimental study, geopolymer pastes were produced by using fly ash, 10 M sodium hydroxide, sodium silicate solution and plasticizer. Cement mortars were produced according to TS EN 196-1 standard. Polycarboxylate based plasticizers synthesized at laboratory conditions were used at 1% by weight in both ordinary Portland cement mortar and geopolymer paste. Geopolymer samples were aged for 7 and 28 days at laboratory conditions while cement mortars were aged in water bath. The fluidity values of fresh mixtures were determined. The flexural strength and compressive strength tests were conducted at the ages of 7 and 28 days. The plasticizers had positive effects on cement mortars but unfavorable results on geopolymer. The use of plasticizer increased the fluidity and the strength values in mortars, on the contrary, admixtures caused decrease in the values of geopolymer samples. The highest compressive strength was obtained as 38.3 MPa for mortar sample aged for 28 days and was 15.3 MPa for geopolymer samples.

**Keywords:** Plasticizer, Cement mortar, Geopolymer, Compressive strength, Workability.

## Polikarboksilat Esaslı Katkı Kullanılarak Üretilen Geopolimer Macun ve Normal Portland Çimento Harcının Özelliklerinin Karşılaştırılması

### Öz

Kimyasal katkıları genellikle beton üretiminde beton özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için kullanılmaktadırlar. Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılar, basınç dayanımını düşürmeden akışkanlığı ve işlenebilirliği artıran üçüncü nesil plastikleştirici katkıları olarak sınıflandırılır. Birçok üstün özelliğe sahip olan geopolimerler, geleneksel Portland çimento betonuna alternatif malzemelerdir. Geopolimerler, uçucu kül gibi atık maddelerden sentezlenebildikleri için çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelerdir. Bu deneysel çalışmada uçucu kül, 10 M sodyum hidroksit, sodyum silikat çözeltisi ve plastikleştirici kullanılarak geopolimer hamuru üretilmiştir. Çimento harçları TS EN 196-1 standardına göre üretilmiştir. Laboratuvar koşullarında sentezlenen polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcılar hem geleneksel Portland çimentosu harcında hem de geopolimer macununda ağırlıkça %1 oranında kullanılmıştır.

\* Corresponding Author: [evrenbayram@eskisehir.edu.tr](mailto:evrenbayram@eskisehir.edu.tr)

Geopolimer numuneler laboratuvar koşullarında, çimento harçları ise su banyosunda 7 ve 28 gün yaşlandırılmıştır. Her taze karışımın akışkanlık değerleri belirlenmiştir. Bütün numunelere 7 ve 28. günlerde eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Akışkanlaştırıcıların harçlarının özellikleri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu ancak geopolimer üzerinde olumsuz etkileri olduğu gözlenmiştir. Akışkanlaştırıcı kullanımı çimento harçlarında akışkanlık ve dayanım değerlerini artırmıştır, ancak geopolimer numunelerinin değerlerinde düşüşe neden olmuştur. En yüksek basınç dayanımı 28 gün yaşlandırılmış beton numunesinde 38,3 MPa, geopolimer numunelerinde ise 15,3 MPa olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akışkanlaştırıcı, Çimento harcı, Geopolimer, İşlenebilirlik.

## 1. Introduction

Concrete is a composite material consisting of cement, water, aggregate and if required chemical and mineral admixtures. Approximately 3 tonnes of concrete is consumed per person each year and increasing by 9% annually [1,2]. Concrete and mortar are used twice—about 35 billion tons—of any other industrial building material, including wood, steel, plastic and aluminium [3]. Cement is the binder that holds the aggregates together [1]. However, cement production poses an environmental threat due to CO<sub>2</sub> emissions [2]. An increased awareness on the depletion and conservation of resources and environmental protection has led many researchers to investigate environmentally friendly and innovative materials alternative to building materials [4,5].

The cement industry does not comply with sustainable development because the raw materials used in the production process are not recycled and non-renewable materials. Waste materials or by-products of numerous industries such as fly ash, bottom ash, blast furnace slag, ground granular blast furnace, rice husk ash, silica fume can be used to reduce carbon dioxide emissions [4,6].

Geopolymer concrete is an alternative material for traditional concrete which can be produced by different raw materials/combinations of various waste materials or by-products [4]. Geopolymeric materials are environmentally friendly building materials because they do not need limestone, do not create pollution and consume less energy [7].

Geopolymers have a three-dimensional network structure containing silicon-oxygen and aluminum-oxygen tetrahedra linked by bridging oxygen atoms and formed by alkali activation of silica-alumina containing raw materials [8]. The rheology of geopolymer is different from ordinary concrete due to the high viscosity of the alkali activator solution. Although the increase in the concentration of the alkali activator solution accelerates the geopolymer reactions, it decreases the workability [9].

Chemical admixtures are widely used in the production of cement-based materials to improve their performance [10].

Superplasticizers which are produced from petrochemicals significantly to improve the workability and to produce flowable cement-based materials and play an important role in the production of high-performance cement-based materials [10,11,12]. The polycarboxylate superplasticizers have become increasingly important for the last 30-40 years as they significantly reduce the amount of water required in the production of high-performance concrete [13].

The addition of polycarboxylate superplasticizers improves the workability of cementitious materials through electrostatic and steric repulsion and affects the hardened cement properties by altering hydration processes [14]. The use of polycarboxylates has positive effect on the workability, mechanical strength and durability of concrete. It has been found by some researchers that changing the structure of polycarboxylate based admixtures such

as molecular weight and side chain length affects some properties like workability retention and compressive strength [15].

## 2. Material and Method

Mortars were produced according to TS EN 196-1 standard. Ordinary Portland cement, CEN-Standard Sand, water and plasticizer were used to produce mortar samples. Cement mortars were produced with a laboratory mixer with a capacity of 50 dm<sup>3</sup> as specified in TS EN 196-1. 450 gr cement, 225 gr water, 1350 gr standard sand were used in each batch.

Geopolymer pastes were synthesized by using fly ash. 10 M sodium hydroxide solution was prepared 24 hours before the experiment. Sodium hydroxide was mixed with sodium silicate to get homogeneous activator solution. Activator solution was added into fly ash and mixed for 5 minutes with cement mixer same as used in cement mortar.

Polycarboxylate based superplasticizer admixtures were prepared at laboratory conditions copolymerization of methacrylic acid and methacrylate. The admixtures were synthesized at 60°C for 1 and 3 hours. The admixtures were added into the both mortars and geopolymer pastes at 1% by weight. The polymerization degree on the fluidity and compressive strength values were investigated.

Cement mortar and geopolymer pastes were cast into 40x40x160 mm moulds. Mortars were aged for 7 and 28 days in water bath while geopolymer pastes were aged at laboratory conditions. The flow values of each sample were measured by flow table. The flexural strength and compressive strength values were measured for all hardened samples.

## 3. Results and Discussion

The flow values of each fresh mixture were measured by flow table which was set to 15 seconds. After the funnel was filled, the diameter of the mortar was measured in two different directions. The average values of each measurement for both cement mortar and geopolymer paste were given in Figure 1.

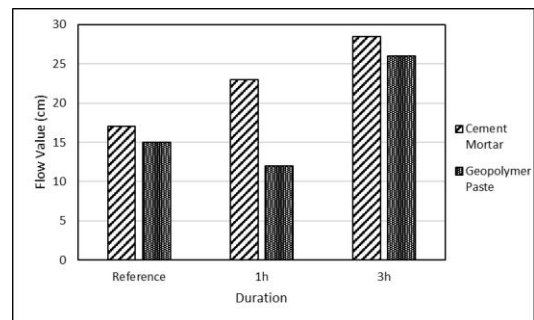


Fig. 1 The flow values of cement mortar and geopolymer paste

The duration of the polymerization of admixtures has positively affected the flow values of cement mortars. The flow values of mortars and geopolymer pastes were increased with the duration. The highest flow value was 28.5 cm for the sample polymerized for 3 hours. The flow value decreased for the geopolymer paste produced with the admixture polymerized for an hour. As the duration of the polymerization of admixtures increased to 3 hours, the flow value increased to about 26 cm that was the highest flow value for geopolymer paste.

The flexural strength of cement mortars aged for 7 days and 28 days are given in Figure 2.

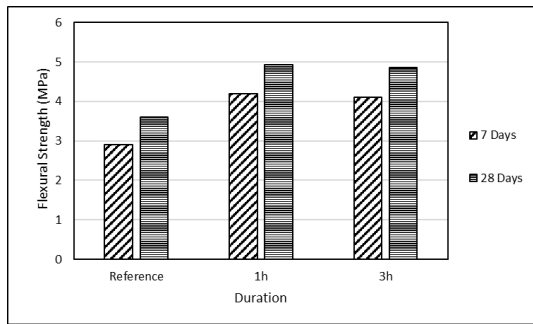


Fig. 2 The flexural strength of cement mortars aged for 7 and 28 days

The flexural strength values of cement mortars produced with admixtures were higher than those of the reference sample. The values of the samples produced with the admixture polymerized for 3 hours were slightly lower than those polymerized for an hour. Test results revealed that the flexural strength values were increased with aging. The highest value was 4.93 MPa for the sample produced with the admixture polymerized an hour and aged for 28 days.

The flexural strength of geopolymer pastes aged for 7 days and 28 days are given in Figure 3.

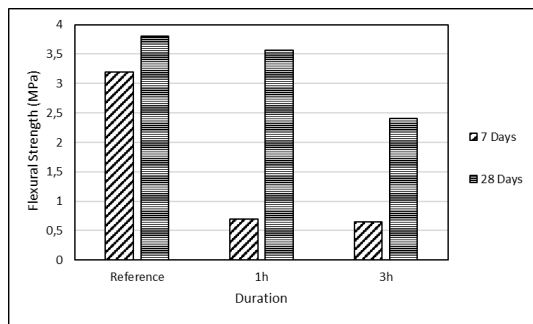


Fig. 3 The flexural strength of geopolymer pastes aged for 7 and 28 days

The flexural strength values of geopolymer pastes for 7 days aging were quite low when compared to those of the reference geopolymer sample. The same decrease was not observed for the samples aged for 28 days. It was observed that the values were decreased with admixture polymerization duration. The highest flexural strengths for the reference sample and geopolymer pastes aged for 28 days were 3.8 MPa and 3.56 MPa, respectively.

The compressive strength of cement mortars aged for 7 days and 28 days are given in Figure 4.

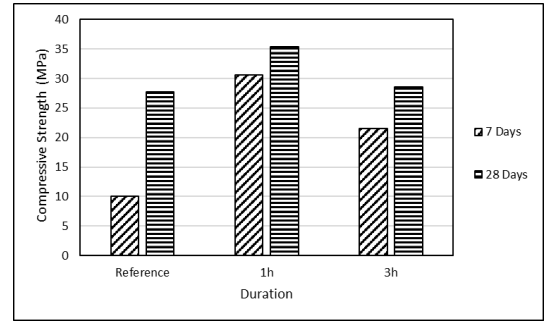


Fig. 4 The compressive strength of cement mortars aged for 7 and 28 days

Test results showed that the compressive strength values of mortars produced with admixtures were higher than those of reference sample. similar to flexural strength values. The highest values were obtained as 30.58 MPa for 7 days and 35.44 MPa for 28 days for samples produced with 1-hour polymerized additive.

The compressive strength of geopolymer pastes aged for 7 days and 28 days are given in Figure 5.

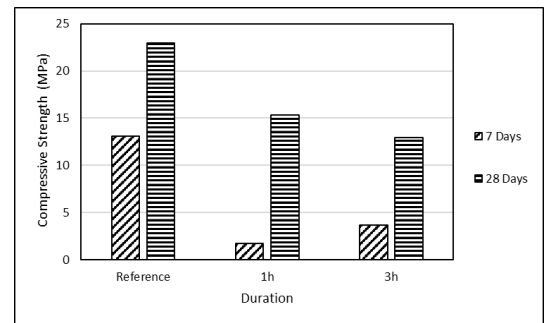


Fig. 5 The compressive strength of geopolymer pastes aged for 7 and 28 days

The compressive strength values of the geopolymer pastes produced with plasticizers were found to be lower than those of the reference sample. The compressive strengths of the reference sample were 13.1 MPa and 22.95 MPa for 7 and 28 days aged samples, respectively. As the polymerization duration of admixtures increased, the compressive strength of the geopolymer pastes aged for 28 days decreased. The compressive strength of the pastes synthesized with the admixture polymerized for 1 hour was 15.3 MPa and 12.96 MPa for the admixture polymerized for 3 hours.

#### 4. Conclusions and Recommendations

The flow value, flexural strength and compressive strength values were compared for cement mortar and geopolymer pastes. The flow values of cement mortars increased with polymerization duration of admixtures. However, the flow values of geopolymer pastes were decreased and increased, respectively with the duration of 1 h and 3h. The flow values of cement mortars were higher than geopolymer pastes. Both flexural strength and compressive strength values of the cement mortar samples were found to be higher than those of the reference sample. However, it was observed that the strength values of the geopolymer samples were lower than those of the reference sample, as opposed to the values of the cement pastes.

The polycarboxylate based admixtures used in this experimental study were synthesized at laboratory conditions. The admixtures affected positively the flowability, flexural

strength and compressive strength of the cement mortars but the same results were not obtained with geopolymer pastes. Test results revealed that polycarboxylate based admixture is compatible with cement mortar and resulted in high values, but is not compatible with geopolymer paste. This may be due to the fact that the formation mechanisms of cement mortars and geopolymers are completely different from each other. The synthesis conditions can be changed to enhance the properties of geopolymer pastes.

## 5. Acknowledge

This experimental study was supported by the Eskisehir Technical University research project No: 19ADP129.

## References

- [1] Cagg, C. R. (2014). Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis*, 40, 114 – 140. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>
- [2] Singh N.B., Kumar M. & Rai S. (2020). Geopolymer cement and concrete: Properties. *Materials Today: Proceedings*, 29, 743-748. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.513>
- [3] Damme, H.V. (2018). Concrete material science: Past, present, and future innovations. *Cement and Concrete Research*, 112, 5-24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.002>
- [4] Thamilselvi, P., Siva A., & D. Oyejobi. (2017). Geopolymer Concrete: Overview. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 8, 10-14.
- [5] Pavithra P., Reddy M.S., Dinakar P., Rao B. H., Satpathy B.K. & Mohanty A.N. (2016). A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 133, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.041>
- [6] Mehta A. & Siddique R. (2016). An overview of geopolymers derived from industrial by-products. *Construction and Building Materials*, 127, 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.136>
- [7] Li F., Chen D., Yang Z., Lu Y., Zhang H. & Li S. (2022). Effect of mixed fibers on fly ash-based geopolymer resistance against carbonation. *Construction and Building Materials*, 322, 126394. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126394>
- [8] Degefu D.M., Liao Z., Berardi U. & Labbe G. (2022). The dependence of thermophysical and hygroscopic properties of macro-porous geopolymers on Si/Al. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 582, 121432. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2022.121432>
- [9] Podolsky Z., Liu J., Doh J.H., Guerrieri M. & Fragomeni S. (2021). State of the art on the application of waste materials in geopolymer concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00687. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00637>
- [10] Li S., Zhang J., Li Z., Gao Y. & Liu C. (2021). Feasibility study of red mud-blast furnace slag based geopolymeric grouting material: Effect of superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 267, 120910. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120910>
- [11] Mardani-Aghabaglou A., Tuyan M., Yilmaz G., Ariöz Ö. & Ramyar K. (2013). Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1020-1025. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.105>
- [12] Wang C., Kayali O. & Liow J. (2021). The effectiveness and mechanisms of superplasticisers in dispersing class F fly ash pastes. *Powder Technology*, 392, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.054>
- [13] Kang S.H., Kwon M., Kwon Y. & Moon J. (2021). Effects of polycarboxylate ether (PCE)-based superplasticizer on the dissolution and subsequent hydration of calcium oxide (CaO). *Cement and Concrete Research*, 146, 106467. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106467>
- [14] Ren J., Wang X., Xu S., Luo Q., Fang Y., Zhu J. & Xing F. (2021). Effects of polycarboxylate superplasticiser on hydration characteristics and hardened properties of cement blended with seawater. *Construction and Building Materials*, 304, 124660. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124660>
- [15] Al-Shwaiter A., Awang H. & Khalaf M. A. (2021). The influence of superplasticiser on mechanical, transport and microstructure properties of foam concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, In Press, Corrected Proof, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.02.010>



## Analyzing of Cyber-Security Concepts on Twitter

Nazmiye Eligüzel<sup>\*1</sup>, Lana Manla Ali<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gaziantep University, Industrial Engineering, 27310 Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6354-8215), [nazmiye@gantep.edu.tr](mailto:nazmiye@gantep.edu.tr)

<sup>1</sup> Gaziantep University, Industrial Engineering, 27310 Gaziantep, Turkey (ORCID: 0000-0002-8456-2638), [manlalana6@gmail.com](mailto:manlalana6@gmail.com)

(2st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083377)

**ATIF/REFERENCE:** Eligüzel, N. & Ali, L. M. (2022). Analyzing of Cyber-Security Concepts on Twitter. *European Journal of Science and Technology*, (34), 541-545.

### Abstract

Today's buzzwords are cyber-security and social media. With the advancement of technology and the increased usage of the internet, these concepts are becoming more prominent and research on this subject is expanding. This paper addresses the issue of cyber-security and which professions in different business sectors discuss the topic of cyber-security on Twitter. Therefore, cyber-security concepts and contributors on Twitter are analyzed separately. In that way, business sectors that contributes to cyber-security are tried to be deduced with respect to different concepts. In addition, focuses of business sectors on cyber-security concepts are analyzed. The proposed paper demonstrates the application of the K-means clustering method to cyber-security concepts on Twitter and experts who posted tweets about these concepts.

**Keywords:** Clustering, Cyber-security, Social media, Twitter.

## Twitter'de Siber Güvenlik Kavramlarının Analizi

### Öz

Günümüzün popüler kelimeleri siber güvenlik ve sosyal medyadır. Teknolojinin ilerlemesi ve internet kullanımının artmasıyla birlikte bu kavramlar daha çok ön plana çıkmakta ve bu konudaki araştırmalar genişlemektedir. Bu makale, siber güvenlik konusunu ve Twitter'de siber güvenlik konusunu ele alan farklı iş sektörlerindeki meslekleri ele almaktadır. Bu nedenle, Twitter'deki siber güvenlik kavramları ve bu kavramlara katkıda bulunan meslekler ayrı ayrı analiz edilmiştir. Böylece siber güvenliğe katkı sağlayan iş sektörleri farklı kavramlara göre çıkarılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, siber güvenlik kavramlarına odaklanan iş sektörleri de analiz edilmiştir. Önerilen makale, Twitter'deki siber güvenlik kavramlarına K-araç kümeleme yönteminin uygulanmasını ve bu kavramlar hakkında tweet'ler gönderen iş uzmanlarını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kümeleme, Siber güvenlik, Sosyal medya, Twitter

\*Corresponding Author: [nazmiye@gantep.edu.tr](mailto:nazmiye@gantep.edu.tr)



# 1. Introduction

Cyber-security is defined as an activity or process, ability or capability, or state whereby information and communications systems and the information contained therein are protected from and/or defended against damage, unauthorized use or modification, or exploitation<sup>†</sup>. Cyber-security techniques are often outlined in published materials that aim to protect a user's or organization's cyber environment. Protecting information and systems against serious cyber threats is part of the scope of cyber-security operations. There are several cyber-security approaches available to combat cyber-security threats. Some of the common threats are cyber espionage, cyber warfare, and cyber terrorism (Seemma et al., 2018). Some of the popular techniques to combat the cyber-attacks are authentication, encryption, digital signatures, antivirus, firewall, and steganography (Pande, 2017). Cyber-security concept is important issue for organizations. There are various ways in which organizations are tackling cyber-security. The topics cover these ways are risk management, cyber insurance, technical controls, training and awareness raising, staffing and outsourcing, and governance approaches and policies (Johns, 2021). Cyber-security is an issue that concerns experts in different business sectors and organizations. According to the report (Johns, 2021) the following business sectors have a higher focus on cyber-security:

- finance and insurance (72% say it is a *very* high priority, vs. 37% of all businesses)
- information and communications (62%)
- health, social work and social care (56%).

In recent years, these three sectors have consistently given cyber-security a greater priority. By contrast, and similarly to previous year, the food and hospitality sector and the construction sector also see cyber-security as a lower business priority (only 62%) (Johns, 2021).

The proposed study aims to analyze cyber-security concepts from the business perspectives on Twitter. In the analysis, cyber-security concepts, its contributors, who are the experts in different business branches and net sentiments scores are considered. In the proposed study, Twitter data is used because Twitter is an important platform where people share their feelings and thoughts. On Twitter, a variety of topics have been discussed and clustered together. Some of these studies are as follows:

Sadasivuni and Zhang (2020) proposed a study that applied Learning Quotient and Text mining methods in order to cluster gathered tweets with specific hashtags such as bombing, depressed, and anti-depressed during the ‘Bomb’ blasts in April 2019. Amati et al. (2021) introduced a massive text document clustering algorithm by using community detection methods on the weighted hashtag graph instead of any traditional clustering algorithm, such as LDA. Following the assignment of hashtags to clusters, the most popular clusters and hashtags were associated with topics of broad interest, such as sports, politics, and health. Yoshida et al. (2021) looked at a network of retweets regarding former Japanese Prime Minister Shinzo Abe to see how conservative and liberal disparities in the extent to which political tweets reach less partisan moderate people in a nonwestern culture. The usage of hashtags did not differ between

conservatives and liberals in the examination of tweet content, but there were variations in the use of emotion terms and linguistic expressions. During the 2018 Brazilian presidential election, Soares and Recuero (2021) looked at how political misinformation disseminated during discursive conflicts on Twitter. These were disputes for the dominant narrative between two storylines based on opposing hashtags: one based on mainstream media content and the other on misinformation, especially from hyper partisan sources. Hassan et al. (2021) proposed a study to see how the #datasaveslives hashtag was used on social media, how often it was used, and by whom; this way, they could have a better idea of the impact of a large social media campaign in the UK health informatics research community and beyond.

As seen above mentioned studies, social media, especially Twitter is the significant platform to analyze various topics under the pre-determined hashtags. In the proposed study, the hashtags related to the cyber-security field are evaluated with together contributors on Twitter.

When we consider academic studies in the field of cyber-security, it can be said that there are too much studies. In recent years, cyber-security has been a popular issue in the academic. By using “cyber-security” search string, publications are evaluated in “Web of Science” database (February 08, 2022). Search is resulted in 11042 publications. The number of publications according to the study areas is given in Fig 1.

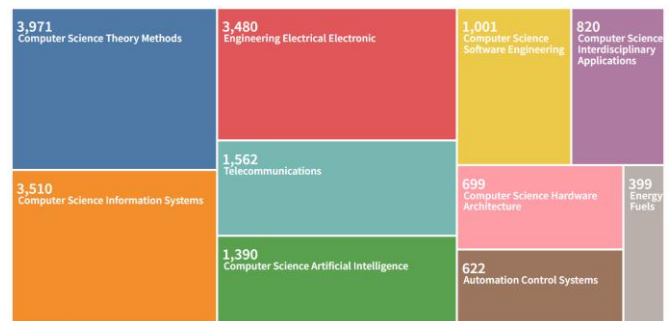
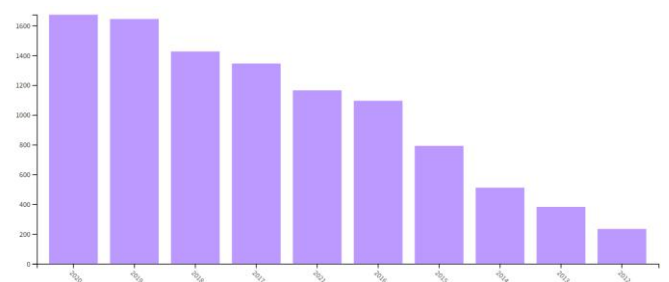


Fig 1. Cyber-security study areas

As seen from Fig. 1, cyber-security concept is handled with mostly in the areas of “computer science theory methods” and “computer science information systems”. After that, the fields of “engineering electrical electronic”, “telecommunications”, “computer science artificial intelligence”, and so on are seen, respectively. When we consider the years of studies, it is seen in Fig 2, the number of studies increases every year except 2021.



<sup>†</sup> NICCS, ‘Explore Terms: A Glossary of Common Cybersecurity Terminology,’ <https://niccs.us-cert.gov/glossary>

Fig 2. The years of cyber-security related publications

Fig. 2 demonstrates that studies in the cyber-security field are on an increasing trend between the years of 2012 and 2020. However, in 2021, a decreasing trend is seen in this field.

The topic of cyber-security is prominent in academia. In addition, cyber-security is an issue that is of interest to experts in different business sectors. The proposed study aims to analyze cyber-security topic on Twitter from the expert perspectives.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 demonstrates the methodology; Section 3 presents results and discussions, and finally the paper is concluded in section 4.

## 2. Methodology

By using two different data-sets, the steps in the implementation of the K-means algorithm are demonstrated. One of them is the contributor type of social media users who post tweets about cyber-security issues, and the other data is about cyber-security concepts. Data is retrieved from GlobalData<sup>‡</sup> between the dates of November 1, 2020 and October 31, 2021. In Appendix 1, cyber-security concepts, the number of total posts of the mentioned concepts, the number of contributors who posted tweet about that concept, and their net sentiments are provided. Net sentiment scores are given at GlobalData platform. It is calculated according to the positive, neutral, and negative mentions. Appendix 2 demonstrates the contributor types of social media users about cyber-security issues with the number of total posts, contributors, and net sentiments.

In the proposed study, K-means algorithm is utilized. The K-means clustering approach is part of a group of techniques known as partitioning-based techniques, which are based on the repeated repositioning of data points between clusters. It is used to divide a data set's events or variables into non-overlapping clusters (Morissette & Chartier, 2013). Namely, it uses similarity matrix. The general process of K-means algorithm is given as follows:

### Algorithm 1 General process of the K-means algorithm

1. **Select** the value of K (number of clusters using Elbow method)
2. **Choose** K random points to act as centroids.
3. **Assign** each data point to the nearest centroid that will build the predetermined clusters depending on their distance from the randomly selected centroid
4. **Place** a each cluster's new centroid
5. **Repeat** step 3 to reassign each data point to the cluster's new nearest centroid.
6. If there is a reassignment, proceed to Step 4; otherwise, proceed to Step 7.
7. **Finish**

As seen from the general process of the K-means algorithm, in order to determine the number of clusters, Elbow method is utilized. Elbow method is the one of the popular cluster optimization methods. This approach compares the difference in

the sum of square error (SSE) of each cluster to assess the consistency of the optimal number of clusters. The best cluster number is formed by the most extreme difference establishing the elbow angle [10]. The major aim is to reduce the distance between the data points and the cluster's centroid. The operation is repeated until the sum of distances reaches a minimal value. These processes are implemented by utilizing Python 3.9 software.

## 3. Results and Discussions

First of all, cyber-security concepts are analyzed. In Fig 3. the optimal number of clusters is demonstrated through Elbow method.

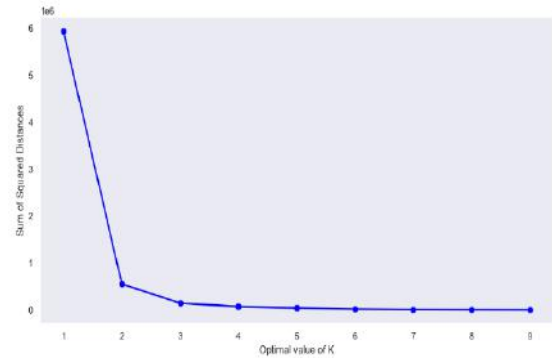


Fig. 3. Elbow method for cyber-security concepts

As seen from the Fig.3 , the elbow point is seen at the optimal value of K equals to 2. Therefore, the number of clusters is chosen as 2. After that, K-means algorithm is applied by considering the number of clusters. All the features, that are concepts, total posts, contributors, and net sentiment, are considered by making clustering. According to the given indexes in Appendix 1, index of points in the clusters are demonstrated in Fig. 4

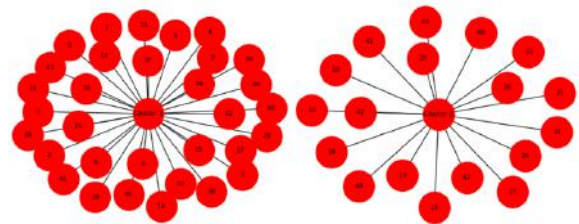


Fig. 4. Indexes of the clusters

In Fig. 4 the relationship between cyber-security concepts and total posts are demonstrated. As seen from the Fig. 5, there are two centroids as follows:

Centroid 1: [[ 27.9375    55.9054375    13.2595    0.9290625 ]

Centroid 2: [ 18.38888889    16.81166667    697.    0.96444444]]

<sup>‡</sup><https://explorer.globaldata.com/ThemesView/DashboardAnalytics/1768?keyword=8627>

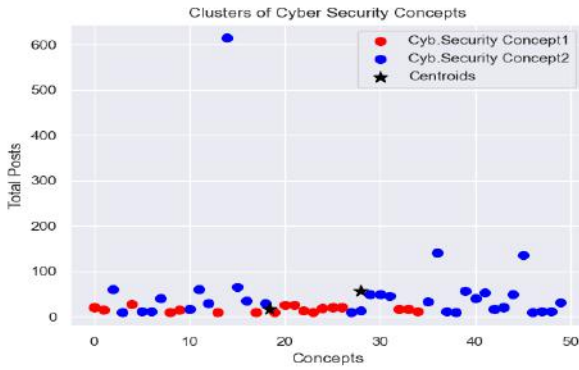


Fig. 5. Representation of the cyber-security concepts

As seen from the Fig. 5, cluster 1 (Cyber-security Concept 1) includes lesser concepts and lesser total posts. However, in cluster 2 (Cyber-security Concept 2), there are much more concepts than cluster 1 and total post about some concepts are quite high.

The concepts which are seen in cluster 1 are “CyberSecurity”, “Information Security”, “Securities”, “Cyberattack”, “Cyber Attack”, “Artificial Intelligence”, “IoT”, “Malware”, “Ransomware”, “Hacker”, “Hackers”, “Hacking”, “Cloud”, “Machine Learning”, “Cybercrime”, “Information Privacy”, “Technologies”, “Data Breach”, “Cyber Crime”, “Phishing”, “Coronavirus Disease 2019”, “Networks”, “Government”, “Breach”, “COVID-19”, “Innovation”, “Startups”, “Startup Company”, “Spyware”, “Automation”, “Firms”, and “Investments”. It is seen that cluster 1 is mostly related to the security issues and investments. It considers information security and privacy, cyber-security, threat-related problems, new investments. In addition, cluster 1 includes pandemic issue which effect the life at recent times.

Cluster 2 covers the concepts of “Big Data”, “Data Protection”, “Data Science”, “5G”, “Fintech”, “Financial Technology”, “Digital Transformation”, “IIoT”, “Industrial Internet Of Things”, “Analytics”, “Cloud Security”, “Deep Learning”, “Infographic”, “Cloud Computing”, “Data Privacy”, “Denial Of Service Attack”, “DDoS”, “Cyber Threat”. It can be concluded that cluster 2 includes data-related, financial, and analytical issues.

In the second part of the study, contributor types, that is, professions who posted about cyber-security subject are analyzed. K-means clustering technique is used by considering all features in Appendix 2, such as contributor type, total posts, the number of the contributors, and net sentiment scores. Firstly, the number of clusters is determined by using Elbow method as in the first part of analysis. In Fig. 6 optimal number of clusters are given.

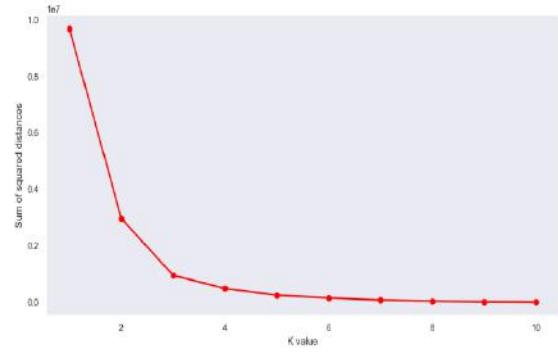


Fig. 6. Elbow method for contributor types

According to the Fig. 6 the number of the clusters are taken as 3. After that, K-means algorithm is applied. According to the given indexes in Appendix 2, index of points in the clusters are demonstrated in Fig. 7.

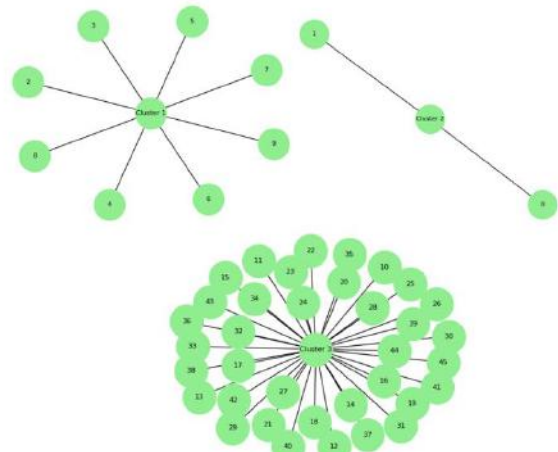


Fig. 7. Indexes of the clusters

In Fig. 7 the relationship between contributor types and total posts are demonstrated. As seen from the Fig. 8, there are three centroids as follows:

Centroid 1: [[1.98750000e+01 9.55895000e+04 3.07875000e+02 9.41250000e-01]

Centroid 2: [2.75000000e+01 3.56295500e+05 1.56300000e+03 9.30000000e-01]

Centroid 3: [2.28055556e+01 5.42333333e+03 1.88361111e+02 9.18888889e-01]]

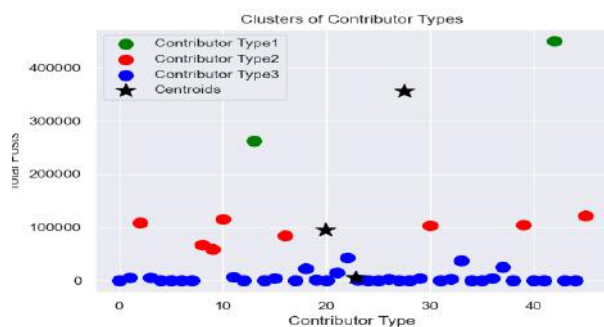


Fig. 8. Representation of the contributor types

As seen from Fig. 8, there three types of clusters. Cluster 1 includes only two elements but much more total posts. Cluster 2, includes 8 elements and total posts for each element looks average. Cluster 3 includes much more elements but total post for each element is low when compared to the other two clusters.

Cluster 1 includes the concepts of “Technology Expert” and “Cybersecurity Expert”. It is said that technology experts, in addition to cyber-security experts, have sent a significant number of posts about cyber-security topic.

Cluster 2 includes the concepts of “WearableTech Expert”, “CXO/Founder”, “AI Expert”, “Robotics Expert”, “IoT Expert”, “EV Expert”, “Big Data Expert”, and “Blockchain Expert”. Namely, Experts operating in the subject of disruptive technologies can be found in cluster 2.

The concepts which are seen in cluster 3 are “Fintech Expert”, “Media and publishing”, “Researchers and Consultants”, “Editor/Journalist”, “Finance Expert”, “Cloud Expert”, “Academician”, “ADS Expert”, “Pharma & Medical Expert”, “EGS Expert”, “Investors/PE VC”, “Marketing Expert”, “Healthtech Expert”, “Energy & Mining Expert”, “Food & Beverage Expert”, “Doctors”, “Automotive Expert”, “Retail & Ecommerce Expert”, “Activists”, “Equity Analyst/Trade Analyst”, “Healthcare Expert”, “Sustainability Expert”, “Legal Expert”, “5G Expert”, “Travel & Tourism Expert”, “Construction Expert”, “Economist”, “Packing Expert”, “Beauty & Fashion Expert”, “Health & wellness Expert”, “Insurtech Expert”, “Online Payments Expert”, “BIM Expert”, “Tobacco Expert”, “Sports Expert”, and “Insurance Expert. In cluster 3, it can be noticed that there is a diverse variety of profession groups. This demonstrates that numerous experts from different fields have sent out tweets about cyber-security.

## 4. Conclusions and Recommendations

This paper takes a look at which experts in various business sectors post tweets about the cyber-security field and what the related concepts are. The proposed study comprehends the utilization of K-means clustering approach to analyze cyber-security concepts on Twitter and the experts who tweeted about them. Firstly, cyber-security concepts are analyzed, and then contributors, namely experts in business sectors, on cyber-security concepts are evaluated from the perspective of cyber-security field. In this method, many business sectors that contribute to cyber-security are attempted to be deduced using various concepts. Furthermore, the focus of business sectors on cyber-security concepts is examined.

In the future study, cyber-security issues on Twitter can be analyzed by considering all contributors from various sectors.

## 5. Acknowledge

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## References

Amati, G., Angelini, S., Cruciani, A., Fusco, G., Gaudino, G., Pasquini, D., & Vocca, P. (2021). Topic Modeling by  
*e-ISSN: 2148-2683*

- Community Detection Algorithms. OASIS 2021 - Proceedings of the 2021 Workshop on Open Challenges in Online Social Networks, 15–20. <https://doi.org/10.1145/3472720.3483622>
- Hassan, L., Nenadic, G., & Tully, M. P. (2021). A social media campaign (#datasaveslives) to promote the benefits of using health data for research purposes: Mixed methods analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2). <https://doi.org/10.2196/16348>
- Johns, E. (2021). Cyber Security Breaches Survey 2021: Statistical Release. Department for Digital, Culture, Media and Sport. <https://assets.publishing.service.gov.uk>
- Morissette, L., & Chartier, S. (2013). The k-means clustering technique: General considerations and implementation in Mathematica. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 9(1), 15–24. <https://doi.org/10.20982/tqmp.09.1.p015>
- Seemaa, P. S., S. Nandhini, and M. Sowmiya. (2018). Overview of Cyber Security. *Ijarcece*, 7(11), 125–128. <https://doi.org/10.17148/ijarcece.2018.71127>
- Pande, J. (2017). Introduction to Cyber Security ( FCS ). <http://uou.ac.in>
- Sadasivuni, S. T., & Zhang, Y. (2020). Clustering Depressed and Anti-Depressed keywords Based on a Twitter Event of Srilanka Bomb Blasts using text mining methods. *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Humanized Computing and Communication with Artificial Intelligence, HCCAI 2020, December 2014*, 51–54. <https://doi.org/10.1109/HCCAI49649.2020.00014>
- Soares, F. B., & Recuero, R. (2021). Hashtag Wars: Political Disinformation and Discursive Struggles on Twitter Conversations During the 2018 Brazilian Presidential Campaign. *Social Media and Society*, 7(2). <https://doi.org/10.1177/20563051211009073>
- Yoshida, M., Sakaki, T., Kobayashi, T., & Toriumi, F. (2021). Japanese conservative messages propagate to moderate users better than their liberal counterparts on Twitter. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98349-2>



## Classification of Imbalanced Cardiac Arrhythmia Data

Cansu Ecemiş<sup>1\*</sup>, Neslihan Avcu<sup>2</sup>, Zekeriya Sarı<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5685-3895), [cansu.ecemis@ogr.deu.edu.tr](mailto:cansu.ecemis@ogr.deu.edu.tr)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8481-2863), [neslihan.avcu@deu.edu.tr](mailto:neslihan.avcu@deu.edu.tr)

<sup>3</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4070-9666) [zekeriya.sari@deu.edu.tr](mailto:zekeriya.sari@deu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083423)

**ATIF/REFERENCE:** Ecemiş, C., Avcu, N. & Sarı, Z. (2022). Classification of Imbalanced Cardiac Arrhythmia Data. *European Journal of Science and Technology*, (34), 546-552.

### Abstract

Arrhythmias are irregularities in the heartbeat and can be life-threatening. Early diagnosis of Cardiac Arrhythmia is quite crucial for saving patient lives. In this study, the main goal is to detect the presence of cardiac arrhythmia and classify it into 16 groups from the ECG recordings. The arrhythmia dataset in the UCI databank is used to apply different network structures for classification. The number of sample of each class are not the same in the dataset. The dataset has a very immoderate class distribution, and moreover, some classes don't exist. The imbalance condition between the classes causes a decrement in the performance of the classifier such as low classification accuracy. Also, in the cross-validation steps, the data is divided into groups each of which includes the same number of samples from the classes to overcome this difficulty in the classification. The samples of each class are divided into five groups to satisfy that condition. The training and test datasets are obtained as a combination of these groups. To deal with the imbalance condition in the dataset, first, some typical classification algorithms as Multilayer Perceptron (MLP), Support Vector Machine (SVM), Radial Basis Function (RBF), and Random Forest (RF) are used to classify the data. According to the precision and accuracy performance measurements of the classifiers for each data class, the nested classifier structures are constructed to improve the overall accuracy. The different structures are tried to obtain a better classifier performance. The results of classical and proposed four new ensemble networks are presented to compare their performance. The result shows that the random forest classifier has the best performance in terms of accuracy and, even with the ensemble network having the highest accuracy can be obtained almost the same performance results. For this reason, it is planned to increase the dataset and apply the different network structures for the enhancement of classifier performance as to future work.

**Keywords:** Classification, Cardiac Arrhythmia, Imbalanced Data, MLP, SVM, RBF, RF, Ensemble Learning.

## Dengesiz Kardiyak Aritmi Verilerinin Sınıflandırılması

### Öz

Aritmiler kalp atışındaki düzensizliklerdir ve hayati tehlike yaratabilir. Kardiyak Aritminin erken teşhisi, hastaların hayatlarını kurtarmak için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, asıl amaç EKG kayıtlarından kardiyak aritmi varlığının saptanması ve 16 gruba sınıflandırılmasıdır. UCI veri bankasındaki aritmi veri seti, sınıflandırma amacıyla farklı ağ yapılarını uygulamak için kullanılmıştır. Veri setinde her sınıfın örnek sayısı aynı değildir. Veri seti oldukça düzensiz bir sınıf dağılımına sahiptir. Ayrıca, veri setinde bazı sınıflar mevcut değildir. Sınıflar arasındaki dengesiz dağılım, sınıflandırıcının performansında düşük sınıflandırma doğruluğu gibi azalmalara neden olur. Ayrıca çapraz geçerlilik sınaması (cross-validation) adımlarında, sınıflandırmadaki zorluğun üstesinden gelmek için veriler, her bir sınıftan aynı sayıda örnek içeren gruplara ayrılmıştır. Her sınıfın örnekleri, bu koşulu sağlamak için beş gruba bölünmüştür. Eğitim ve test veri setleri bu grupların bir kombinasyonu olarak elde edilmiştir. Veri kümesindeki dengesizlik durumuyla başa çıkmak

\*Corresponding Author: [cansu.ecemis@ogr.deu.edu.tr](mailto:cansu.ecemis@ogr.deu.edu.tr)

amacıyla, ilk olarak, verileri sınıflandırmak için Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Destek Vektör Makinesi (SVM), Radyal Temel Fonksiyon (RBF) ve Rastgele Orman (RF) gibi bazı tipik sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Sınıflandırıcıların kesinlik ve doğruluk performans ölçümlerine göre, genel doğruluğu artırmak için, her bir veri sınıfı için iç içe sınıflandırıcı yapıları oluşturulmuştur. Daha iyi bir sınıflandırıcı performansı elde etmek için farklı yapılar denenmiştir. Klasik ve önerilen dört yeni topluluk ağının (ensemble network) performansları karşılaştırma için sunulmuştur. Karşılaştırma sonuçları, rastgele orman sınıflandırıcısının doğruluk açısından en iyi performansa sahip olduğunu ve en yüksek doğruluğa sahip topluluk ağıyla bile hemen hemen aynı performans sonuçlarının alınabileceğini göstermiştir. Bu nedenle ilerideki çalışmalarda sınıflandırıcı performansının iyileştirilmesi için veri setinin artırılması ve farklı ağ yapılarının uygulanması planlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Sınıflandırma, Kardiyak Aritmi, Dengesiz Veri, MLP, SVM, RBF, RF, Topluluk Öğrenmesi..

## 1. Introduction

An early detection and accurate medical assistance is quite important for heart disease patients and can save human lives for heart diseases that can be life-threatening causing sudden death. The most widely used tool for diagnosing the heart disease is the electrocardiogram (ECG) [1]. However, sometimes it may be difficult for a doctor to look at these long duration ECG recordings and detect little irregularities in the wave. Therefore, using neural networks and machine learning algorithms for automating arrhythmia diagnosis can be very beneficial for doctors [2]. For this reason, the main aim is to detect the presence of cardiac arrhythmia and classify it into 16 groups from the ECG recordings. The name of 16 groups can be found in the Table (1) with class codes and number of instances.

## 2. Material and Method

### 2.1. Dataset

For this study, the dataset has been taken from the UCI Machine Learning Repository <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Arrhythmia>. The data set contains 452 instances representing the medical record of different patients and 279 features representing age, weight, height, and patient's ECG-related data. The last column represents the label of the classes. There are 16 different classes. Class 01 refers to the absence of disease, ECG classes from 02 to 15 refer to different arrhythmia classes. Class 16 refers to the rest of the unclassified ones. In the dataset, about 0.33% of the feature values are missing and missing attribute values are distinguished with a question mark (?) [3]. In this study, the missing attribute values are exchanged with '0'. In Table (1), the class names of the dataset and corresponding class numbers can be found, and the distribution of the classes for the number of samples is in the Figure (1). This figure shows that the data is distributed in imbalanced way, and samples of classes 11, 12, and 13 are absent in the dataset. It can be a massive problem for multiclass classification. Furthermore, ECG data belonging to some patients have the properties of more than one arrhythmia class [3]. For this reason, it makes the classification harder. A stratified K-Folds cross-validation was used to deal with imbalanced data. The data was split into five chunks to be used in train and test by preserving the same percentage of samples for each class. Overall accuracy and confusion matrices were calculated by using the average of these chunks. In this paper, the data is normalized to obtain better performance at results and reduce the computational cost.

Table 1. Class table of dataset [3].

Class Code	Class	Number of Instances
01	Normal	245
02	Ischemic changes (Coronary Artery Disease)	44
03	Old Anterior Myocardial Infarction	15
04	Old Inferior Myocardial Infarction	15
05	Sinus Tachycardia	13
06	Sinus Bradycardia	25
07	Ventricular Premature Contraction (PVC)	3
08	Supraventricular Premature Contraction	2
09	Left Bundle Branch Block	9
10	Right Bundle Branch Block	50
11	First Degree Atrio Ventricular Block	0
12	Second Degree AV Block	0
13	Third Degree AV Block	0
14	Left Ventricle Hypertrophy	4
15	Atrial Fibrillation or Flutter	5
16	Others	22

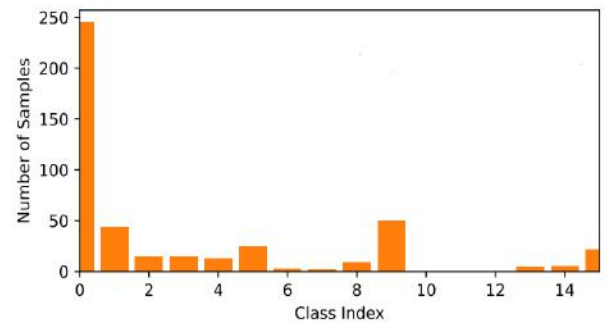


Figure 1. Distribution of dataset classes

## 3. Results and Discussion

In this section, the classification algorithms used and performance results of the algorithms will be discussed.

### 3.1. Multilayer Perceptron (MLP)

MLP is a kind of artificial neural network used as a classifier in this study. MLP was modelled as four hidden layers with 128, 32, 32 and 16 neurons by using the rectifier linear unit (ReLU) activation function. In the output layer, there are 16 neurons with

softmax activation function in order to obtain 16 classes. Categorical cross-entropy was used as a loss function. Furthermore, Adam optimizer was used with a learning rate of 0.001. By using this method, accuracy was obtained as 62%. The confusion matrix is as shown in Figure (2). It is obvious that MLP succeeded at determining classes of 0, 1, 2, 3, 8 and 9.

### 3.2. Support Vector Machine (SVM)

SVM is a supervised machine learning method used for classification and regression. In this study, SVM is used to classify the class of arrhythmias with normalization and the stratified K-Folds cross-validation method to increase the classifier's performance. The type of SVM kernel used is 'linear'. It can be seen in the Figure (3) that 0, 2, 3, 8, 9, and 14 classes can be determined correctly by using SVM. The accuracy is obtained as 70% in that case.

### 3.3. Radial Basis Function (RBF)

Radial Basis Function (RBF) is a special case of SVM with a 'RBF' kernel. The same methods used in SVM are applied to RBF to obtain better results. The accuracy in that case is 60%. The successful classes can be seen in confusion matrix in Figure (4) as 0, 2, and 8.

### 3.4. Random Forest (RF)

Random forests (RF) classifier is one of the most accomplished ensemble learning techniques that have been proven to be very popular and powerful techniques in machine learning for multi-dimensional classification [4]. By using the RF method, the accuracy is increased up to 73%. Furthermore, the overall confusion matrix in Figure (5) depicts that the RF method was successful in detecting the classes of 0, 1, 2, 3, 8, and 9.

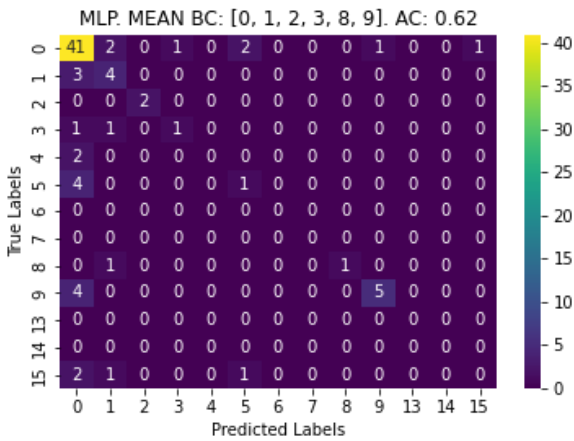


Figure 2. Overall Confusion Matrix of MLP

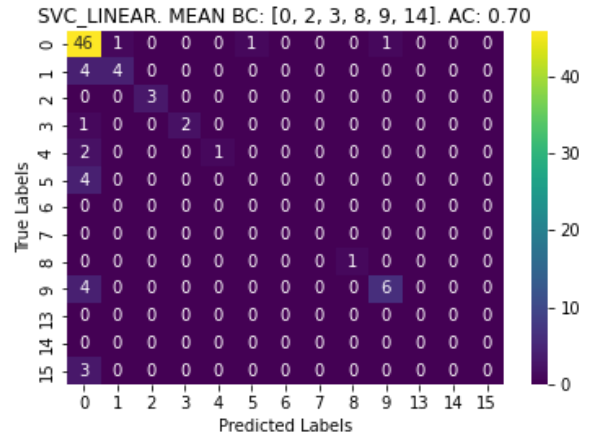


Figure 3. Overall Confusion Matrix of Linear SVM.

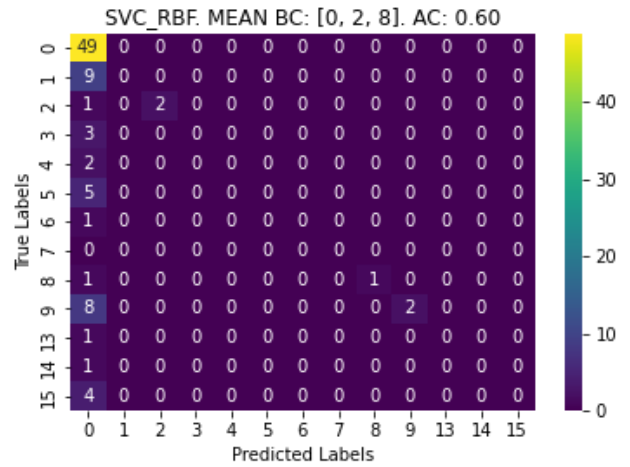


Figure 4. Overall Confusion Matrix of RBF

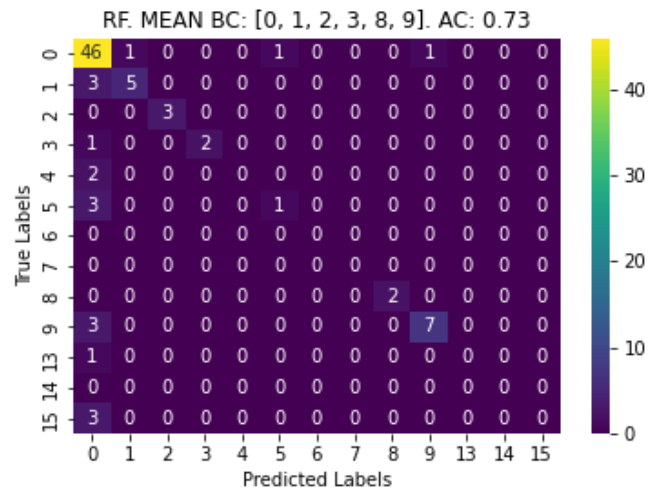


Figure 5. Overall Confusion Matrix of RBF

### 3.5. Ensemble Networks

Because of the unfair distribution of classes and inclusion of more than one arrhythmia type for some patient's ECG data, some ensemble network types are proposed. In Figure (6), (7), (8) and (9), proposed ensemble networks are illustrated.

In Figure (6), ensemble network consists of RF, SVM, MLP, and RBF. After obtaining the overall confusion matrices of MLP, SVM, RBF, and RF separately, the prediction results of classes are

compared. According to the performance of predictions on confusion matrices of classical network structures, the structure of ensemble network was designed. For each class, the classifier having the best performance for it was chosen and the priority of the classifier of each class was defined according to the number of the samples of the class. For instance, class 0 has its best performance on RBF, with the number of predicted true positive classes as 49 in the confusion matrix. The rest of the class outputs were decided by looking at the best value of true positive corresponding classes. In the nested structure, class 9 has the second priority level. In Appendix 1, the algorithm of the network can be found in detail.

The ensemble network in Figure (7) has the same logic as the network previously, but this network is constituted from only MLP and RF.

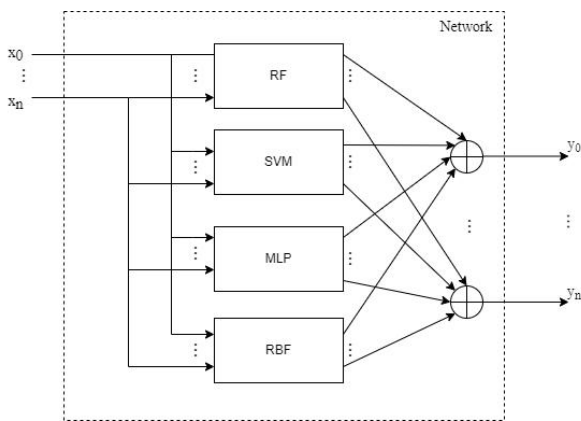


Figure 6. Proposed Ensemble Network Block Diagram of MLP, SVM, RBF and RF

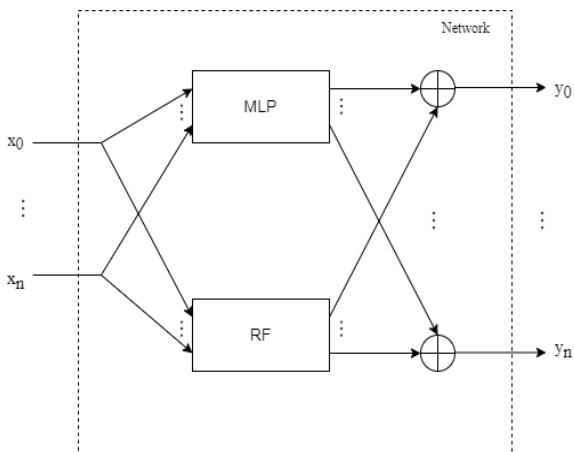


Figure 7. Proposed Ensemble Network Block Diagram of RF and MLP

In the previous confusion matrices, class 0 was predicted a lot instead of true ones. That means methods are not good at distinguishing between class 0 and others. In that case, an RF classifier is used to decide whether the class is 0 or not. If not, the class will be decided by another classifier block. In Figure (8), the other classifier block is RF, and an ensemble of MLP, SVM, RBF, and RF in Figure (9). In the second step, the classifiers are trained without class 0. The algorithm of the network in Figure (8) can be found in Appendix 2.

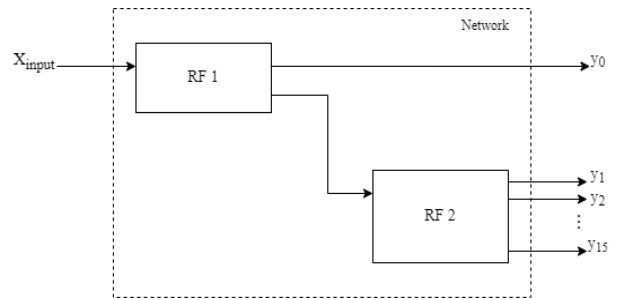


Figure 8. Proposed Ensemble Network Block Diagram of RF 1 and RF 2

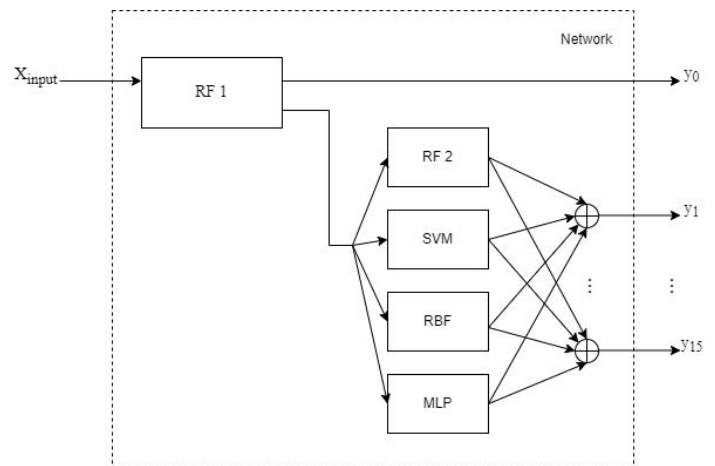


Figure 9. Proposed Ensemble Network Block Diagram of RF 1, RF 2, SVM, RBF and MLP

### 3.6. Performance Measures

In this subsection, the performance metrics have been used to analyse the results of classification will be discussed.

- Confusion Matrix: Confusion matrix represents how many elements were correctly predicted and how many were wrongly classified. For this scope, scientists invented several confusion matrix rates in the past [6] and they are given below.
- Accuracy:

$$\frac{TP + TN}{FP + FN + TP + TN}$$

- Precision:

$$\frac{TP}{TP + FP}$$

where true positive (TP) is the correct classification of positive class, False-negative (FN) is the incorrect prediction of the positive case, True negative (TN) is the correct classification of the samples in the negative class, and False-positive (FP) is the incorrect prediction of the negative case [5].

### 3.7. Performance Results

In this subsection, performance results of classification methods are given. In Table (2), the methods and corresponding



accuracy results are presented for MLP, SVM, RBF, and RF cases. In this case, the data was used without normalization. Training and testing data was split to 80% - 20%, and 5-folds cross-validation was applied. The best and worse results were obtained in the RF case as 72% and in the MLP case as 57.8%, respectively.

The methods and corresponding accuracies with normalized dataset are given in Table (3). Apart from MLP, SVM, RBF, and RF, proposed ensemble networks are investigated. In Table (3), all datasets were normalized, and stratified 5-folds cross-validation was applied in order to suppress the effects of imbalanced data. It seems that the methods used in the dataset have answered the purpose. The accuracies were increased for MLP from 57.8% up to 62%, for RF from 72% to 73%. Proposed ensemble networks accuracies also can be found in Table (3). The best result was attained as 72% from the proposed ensemble networks. Overall, the best accuracy result of 73% can be achieved by using only an RF classifier. The ensemble network variations that consist of RF, MLP, RBF, and SVM are not enough to increase the accuracy enough for such problematic data that is used in that study.

not limited to. In future work, other classification techniques can be used in an ensemble network; also, Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) can be used to overcome the imbalance of data.

**References**

Mustaqeem, A., Anwar, S. M., & Majid, M. (2018). Multiclass Classification of Cardiac Arrhythmia Using Improved Feature Selection and SVM Invariants. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2018, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/7310496>

Gupta, A., Banerjee, A., Babaria, D., Lotlikar, K., & Raut, H. (2021). Prediction and Classification of Cardiac Arrhythmia. *Advances in Intelligent Systems and Computing*.

Guvener, H., Acar, B., Demiroz, G., & Cekin, A. (1997). A supervised machine learning algorithm for arrhythmia analysis. *Computers in Cardiology 1997*. <https://doi.org/10.1109/cic.1997.647926>

Azar, A. T., Elshazly, H. I., Hassani, A. E., & Elkorany, A. M. (2014). A random forest classifier for lymph diseases. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(2), 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.11.004>

Sharifrazi, D., Alizadehsani, R., Roshanzamir, M., Joloudari, J. H., Shoeibi, A., Jafari, M., Hussain, S., Sani, Z. A., Hasanzadeh, F., Khozimeh, F., Khosravi, A., Nahavandi, S., Panahiazar, M., Zare, A., Islam, S. M. S., & Acharya, U. R. (2021). Fusion of convolution neural network, support vector machine and Sobel filter for accurate detection of COVID-19 patients using X-ray images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 68, 102622. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102622>

Chicco, D., Tötsch, N., & Jurman, G. (2021b). The Matthews correlation coefficient (MCC) is more reliable than balanced accuracy, bookmaker informedness, and markedness in two-class confusion matrix evaluation. *BioData Mining*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s13040-021-00244-z>

Table 2. Performance of Classification Methods without Cross-validation and Normalization.

Methodology	Accuracy(%)
MLP	57.8
SVM	65.7
RBF	59.8
RF	72

Table 3. Performance of Classification Methods

Methodology	Accuracy(%)
MLP	62
SVM	70
RBF	60
RF	73
Ensemble Network of MLP, SVM, RBF and RF	71
Ensemble Network of MLP, RF	66
Ensemble Network of RF 1 and RF 2	72
Ensemble Network of RF 1, RF 2, MLP, SVM and RBF	71

**4. Conclusions and Recommendations**

This study aimed to increase classification accuracy for the cardiac arrhythmia dataset with an unfair class distribution. The inclusion of more than one arrhythmia type for some patients' ECG data makes the dataset problematic. For this reason, some classification methods such as MLP, RBF, SVM, and RF and the different variations of ensemble networks of these methods have been used to classify cardiac arrhythmia. These classification methods' accuracy was enhanced using stratified K-fold cross-validation and data normalization. The classification methods have been compared, and the best accuracy was attained as 73% with RF. With proposed ensemble networks, the overall accuracy was enhanced to 72%. Still, the different ensemble network variations that consist of RF, MLP, RBF, and SVM are not good enough as RF classification for such problematic data used in that study. These techniques have increased accuracy overall but are

## Appendix 1

The algorithm of the ensemble network in Figure (6) is presented below.

### Inputs:

- The dataset  $\mathbf{X} = \{(\mathbf{x}_i, y_i) \mid \mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^{279}, y_i \in \{0, 1, \dots, 15\}, i = 1, 2, \dots, N\}$

### Initialize:

- Let  $m_0 \geq m_9 \geq m_1 \geq m_5 \geq m_{15} \geq m_2 \geq m_3 \geq m_4 \geq m_8 \geq m_{14} \geq m_{13} \geq m_6 \geq m_7$  where  $m_i$  be the number of samples in  $i^{th}$  class.
- Construct the networks *RF*, *SVM*, *MLP*, *RBF*.
- Train and test *RF*, *SVM*, *MLP*, *RBF*. Define the best classified labels,
  - $y_{RF} \leftarrow \{1, 3, 9\}$
  - $y_{RBF} \leftarrow \{0, 8\}$
  - $y_{SVC} \leftarrow \{2, 4, 5, 13, 14, 15\}$
  - $y_{MLP} \leftarrow \{6, 7\}$

for  $j \in \{1, 2, \dots, 5\}$  do

$\mathbf{X}_j^{test} \leftarrow \{(x_{j,i}, y_{j,i}) \mid (x_{j,i}, x_{j,i}) \in \mathbf{X} \text{ where } j = 1, 2, \dots, 5 \text{ and } i = 1, 2, \dots, 1/5N\}$

$\mathbf{X}_j^{train} \leftarrow \{(x_{j,i}, y_{j,i}) \mid (x_{j,i}, x_{j,i}) \in \mathbf{X} \text{ where } j = 1, 2, \dots, 5 \text{ and } i = 1/5N + 1, 1/5N + 2, \dots, N\}$

Using  $\mathbf{X}_j^{train}$ , fit *RF*, *SVM*, *MLP*, *RBF*.

Using  $\mathbf{X}_j^{test}$ , compute predictions *rf*, *svm*, *mlp*, *rbf* of *RF*, *SVM*, *MLP*, *RBF*, respectively.

for  $i \in \{1, 2, \dots, N/5\}$  do

if *rbf*[*i*] = 0 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *rbf*[*i*]

else if *rf*[*i*] = 9 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *rf*[*i*]

else if *rf*[*i*] = 1 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *rf*[*i*]

else if *svc*[*i*] = 5 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *svc*[*i*]

else if *svc*[*i*] = 15 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *svc*[*i*]

else if *svc*[*i*] = 2 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *svc*[*i*]

else if *rf*[*i*] = 3 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *rf*[*i*]

else if *svc*[*i*] = 4 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *svc*[*i*]

else if *rbf*[*i*] = 8 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *rbf*[*i*]

else if *svc*[*i*] = 14 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *svc*[*i*]

else if *svc*[*i*] = 13 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *svc*[*i*]

else if *mlp*[*i*] = 6 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *mlp*[*i*]

else if *mlp*[*i*] = 7 then

ensemble[*i*]  $\leftarrow$  *mlp*[*i*]

end if

end for

end for

return ensemble

## Appendix 2

The below algorithm belongs to the ensemble network depicted in Figure (8).

### Inputs:

- The dataset  $\mathbf{X} = \{(\mathbf{x}_i, y_i) \mid \mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^{279}, y_i \in \{0, 1, \dots, 15\}, i = 1, 2, \dots, N\}$

### Initialize:

- Let  $m_i$  be the number of samples in  $i^{th}$  class.
- The dataset  $\tilde{\mathbf{X}} = \{(\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{y}_i) \mid (\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{y}_i) \in \mathbf{X}, \tilde{y}_i \in \{1, \dots, 15\}, i = 1, 2, \dots, \tilde{N}\}$  where  $\tilde{N} = N - m_0$
- Construct the networks  $RF$  1,  $RF$  2.
- Train and test  $RF$  1 and  $RF$  2 with  $\mathbf{X}$  and  $\tilde{\mathbf{X}}$ , respectively.

for  $j \in \{1, 2, \dots, 5\}$  do

$\mathbf{X}_j^{test} \leftarrow \{(\mathbf{x}_{j,i}, y_{j,i}) \mid (\mathbf{x}_{j,i}, y_{j,i}) \in \mathbf{X} \text{ where } j = 1, 2, \dots, 5 \text{ and } i = 1, 2, \dots, 1/5N\}$

$\mathbf{X}_j^{train} \leftarrow \{(\mathbf{x}_{j,i}, y_{j,i}) \mid (\mathbf{x}_{j,i}, y_{j,i}) \in \mathbf{X} \text{ where } j = 1, 2, \dots, 5 \text{ and } i = 1/5N + 1, 1/5N + 2, \dots, N\}$

$\tilde{\mathbf{X}}_j^{test} \leftarrow \{(\tilde{\mathbf{x}}_{j,i}, \tilde{y}_{j,i}) \mid (\tilde{\mathbf{x}}_{j,i}, \tilde{y}_{j,i}) \in \tilde{\mathbf{X}} \text{ where } j = 1, 2, \dots, 5 \text{ and } i = 1, 2, \dots, 1/5\tilde{N}\}$

$\tilde{\mathbf{X}}_j^{train} \leftarrow \{(\tilde{\mathbf{x}}_{j,i}, \tilde{y}_{j,i}) \mid (\tilde{\mathbf{x}}_{j,i}, \tilde{y}_{j,i}) \in \tilde{\mathbf{X}} \text{ where } j = 1, 2, \dots, 5 \text{ and } i = 1/5\tilde{N} + 1, 1/5\tilde{N} + 2, \dots, \tilde{N}\}$

Using  $\mathbf{X}_j^{train}$  and  $\mathbf{X}_j^{test}$ , fit  $RF$  1 and compute predictions  $rf1$ , respectively.

Using  $\tilde{\mathbf{X}}_j^{train}$  and  $\tilde{\mathbf{X}}_j^{test}$ , fit  $RF$  2 and compute predictions  $rf2$ , respectively.

for  $i \in \{1, 2, \dots, N/5\}$  do

if  $rf1[i] = 0$  then

$ensemble[i] \leftarrow rf1[i]$

else

$ensemble[i] \leftarrow rf2[i]$

end if

end for

end for

return  $ensemble$



## Fasulye Genotiplerinde Tuz ve Kuraklık Stresleri Altında VPE Gen Ailesinin Genom Çapında Analizi ve Karakterizasyonu

Ahmed Sidar Aygören<sup>1\*</sup>, Selman Muslu<sup>1</sup>, Murat Isıyiel<sup>1</sup>, Burak Muhammed Öner<sup>1</sup>, Ayşe Gül Kasapoğlu<sup>1</sup>, Recep Aydın<sup>2</sup>, Esra Yaprak<sup>1</sup>, Sümeyra Uçar<sup>1</sup>, Emre İlhan<sup>1</sup>, Murat Aydın<sup>2</sup>

<sup>1\*\*</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6264-9935), [ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr](mailto:ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4777-0726), [selman.muslu25@erzurum.edu.tr](mailto:selman.muslu25@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4157-2729), [murat.isiyel13@erzurum.edu.tr](mailto:murat.isiyel13@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2785-2089), [burakmuhammed.oner3@erzurum.edu.tr](mailto:burakmuhammed.oner3@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6447-4921), [aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr](mailto:aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3743-1835), [recep.aydinyurt62@erzurum.edu.tr](mailto:recep.aydinyurt62@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8753-494X), [esra.yaprak2@erzurum.edu.tr](mailto:esra.yaprak2@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7629-0206), [sumeyra.ucar61@erzurum.edu.tr](mailto:sumeyra.ucar61@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8404-7900), [emre.ilhan@erzurum.edu.tr](mailto:emre.ilhan@erzurum.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1091-0609), [maydin@atauni.edu.tr](mailto:maydin@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083440)

**ATIF/REFERENCE:** Aygören, A. S., Muslu, S., Isıyiel, M., Öner, B. M., Kasapoğlu, A. G., Aydın, R., Yaprak, E., Uçar, S., İlhan, E., & Aydın, M., (2022). Fasulye Genotiplerinde Tuz ve Kuraklık Stresleri Altında VPE Gen Ailesinin Genom Çapında Analizi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 553-560.

### Öz

Vakuolar işleme enzimleri (Vacoular Processing Enzymes; VPE'ler) önemli sistein proteazlarıdır ve protein öncüllerinin işlenmesi ve olgunlaşmasında, bitki gelişiminde, yaşlanmasında ve bağışıklığında, programlanmış hücre ölümünün yanı sıra şeker birikiminde işlev görür. Ayrıca biyotik ve abiyotik streslere karşı yanıt vermede önemli roller oynarlar. Çalışmanın amacı *Phaseolus vulgaris* bitkisinde in siliko olarak gerçekleştirilen VPE gen ailesi üyelerinin genom çaplı analizini ve karakterizasyonu sağlamak ve belirlenen gen ailesi üyelerinin abiyotik stresler (tuz ve kuraklık) altında vermiş olduğu yanıtın değerlendirilmesidir. Çeşitli in siliko yöntemler kullanılarak *P. vulgaris* genomunda 5 adet *Pvul-VPE* gen ailesi üyesi tespit edildi. Bu gen ailesi üyeleri 13,97 kDa ile 55,11 kDa arasında değişen moleküler ağırlığa sahipken, 123 ile 493 arasında değişen aminoasit sayısına sahip olduğu tespit edildi. İzoelektirik noktaları 5,48 (*Pvul-VPE-4*) ile 9,16 (*Pvul-VPE-3*) arasındadır. Ayrıca *Pvul-VPE* genleri fasulye genomunun 1, 3, 9 ve 11. kromozomları üzerinde konumlandığı tespit edilmiştir. *Pvul-VPE* gen ailesi üyeleri arasında yapılan ekzon ve intron analizleri sonucunda, toplam 40 ekzon ve 35 intron içerdikleri tespit edildi. Yapılan filogenetik analizler sonucunda *Pvul-VPE* proteinleri *Arabidopsis thaliana* ve *Glycine max* türleri ile 4 ana grupta kümelenemiştir. *Pvul-VPE-1* ve *Pvul-VPE-3* genleri arasında segmental duplikasyon olduğu tespit edildi. *Pvul-VPE* genlerinin ifade profilleri ile yapılan analizlerde farklı ifade seviyelerine sahip oldukları tespit edildi ve bitkinin büyümesinde, gelişiminde ve olgunlaşmasında, protein öncüllerinin işlenmesinde ve bitkide şeker birikimi gibi görevlerin yanı sıra abiyotik ve biyotik streslere karşı yanıt oluşturmada önemli görevler üstlendiği tespit edildi. Yapılan çalışmanın sonuçları, *VPE* gen ailesinin *P. vulgaris* türünde kuraklık ve tuz streslerine karşı yanıtta ilk defa gerçekleştirilmiş olup, bitki ve tarımsal biyoteknoloji ve moleküler biyoloji alanlarında literatür bakımından kaynak ve ilave bilgiler sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** VPE, Genom Çaplı Analiz, Fasulye, Biyoinformatik, Abiyotik Stres

\* Sorumlu Yazar: [ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr](mailto:ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr)

# Genome-Wide Analysis and Characterization of the VPE Gene Family under Salt and Drought Stress in Common Bean Genotypes

## Abstract

Vacuolar processing enzymes (VPEs) are cysteine proteases which are involved in the processing and maturation of protein precursors, as well as plant growth, senescence, and immunity, programmed cell death, and sugar accumulation. They also play a key role in biotic and abiotic stress responses. The goal of this study is to perform genome-wide analysis and characterization of VPE gene family members in *Phaseolus vulgaris* in silico, as well as to assess the reactions of the determined gene family members to abiotic stimuli (salt and drought). 5 members of the *Pvul-VPE* gene family was discovered in the *P. vulgaris* genome using a variety of in silico approaches. Members of this gene family have molecular weights ranging from 13.97 kDa to 55.11 kDa, and amino acid lengths ranging from 123 to 493 have been discovered. Its isoelectric points range from 5.48 (*Pvul-VPE-4*) to 9.16 (*Pvul-VPE-3*). Additionally, the *Pvul-VPE* genes were discovered on chromosomes 1, 3, 9, and 11 of the common bean genome. Exon and intron analysis of members of the *Pvul-VPE* gene family revealed that they have a total of 40 exons and 35 introns. *Pvul-VPE* proteins have been found to be clustered in four main groups with *Arabidopsis thaliana* and *Glycine max* species as a result of the phylogenetic analysis. Between the *Pvul-VPE-1* and *Pvul-VPE-3* genes, segmental duplication was discovered. The results of this study, which was performed for the first time in the response to drought and salt stresses in the VPE gene family's *P. vulgaris* species, will be a valuable source of information in the disciplines of plant breeding, agricultural biotechnology and molecular biology.

**Keywords:** VPE, Genome Wide Analysis, Common Bean, Bioinformatics, Abiotic Stress

## 1. Giriş

Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) dünya çapında tüketimi en fazla yapılan baklagil bitkisidir. Fasulye, özellikle gelişmekte olan ülkelerde insan beslenmesi için önemli protein (~%22), vitaminler (folat) ve mineraller (Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn) sağladığı bilinmektedir (Broughton et al., 2003). Fasulyenin kullanılması ile obezite, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser gibi çok çeşitli kronik ve dejeneratif hastalıkların önlenmesi ve kontrolünde faydalı fizyolojik etkiler sağladığı tespit edilmiştir (Díaz-Batalla et al., 2006; Jenkins, 2007; Chung et al., 2008). Bu sağlık yararları, önemli lif ve nişasta içeriğine, glisemi ve gastrointestinal fonksiyonu düzenleme yeteneği ve ayrıca fenolik bileşikler ve proteinlerin varlığı ile sağlanan antioksidan özelliklerine bağlanabilir (De Ron et al., 2015).

Bitkiler, büyüme ve gelişmeleri bakımından biyotik ve abiyotik stres olaylarına karşı en az zarar görecektir şekilde reaksiyonları fizyolojik ve metabolik olarak vermektedirler (Kalefetoğlu & Ekmekçi, 2005). Biyotik ve abiyotik stres koşullarında olan bu değişimler, yıllardan beri çalışılmasına rağmen, henüz tam anlamıyla çalışma mekanizmaları anlaşılabilmiştir. Bitkilerin kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere karşı toleransını arttırmak için yapılan çalışmalara yeni yaklaşımlar geliştirilmelidir (Selda & Ekinci, 2015).

Ökaryotların gelişimsel süreçlerinde ve stres direncinde önemli rol oynayan programlanmış hücre ölümü (PHÖ), genetik olarak düzenlenen fizyolojik bir süreçtir (Hatsugai et al., 2015). Hayvanlarda, PHÖ'nün gerçekleştirilmesi, sistein bağımlı aspartil proteaz aktivitesine sahip kaspaz enzimlerini gerektirir (Fagundes et al., 2015) ve kaspaz enzimleri, substratları spesifik aspartik asit kalıntıları ile hidrolize edebilir (; Lamkanfi et al., 2002; De Pinto et al., 2012). Hayvanlarda bulunan benzer yapıdaki kaspaz-1 aktivitesine sahip bir sistein proteazı olan bitki vakuolar işleme enziminin (VPE), başlangıçta tohumlarda depolama proteini olgunlaşmasında yer aldığı gösterilmiş ve bu özel fonksiyondan sonra adlandırılmıştır (Hara-Nishimura et al., 1998). Bitkilerdeki  $\beta$ -VPE (embriyo tipi),  $\gamma/\alpha$ -VPE (bitkisel organ tipi) ve  $\delta$ -VPE (tohum kabuğu tipi) olan üç tip VPE, sınıflandırılmıştır (Hara-Nishimura et al., 1998; Kinoshita et al., 1999; Nakaune et al., 2005). Biyotik ve abiyotik streslere karşı üretilen yanıtlar üzerine

bitkiler, VPE'ler aracılığıyla bir dizi adaptif mekanizma üretebildiği keşfedilmiştir (Nakaune et al., 2005). VPE gen ailesinin bitki büyümesi ve gelişmesi, protein öncüllerinin işlenmesi, programlanmış hücre ölümü ve abiyotik streslere karşı vermiş olduğu cevapta kritik roller oynamasına rağmen şimdiye kadar fasulye bitkisinde VPE'nin tuz ve kuraklık stresleri altındaki rolü işlevsel ve fonksiyonel olarak karakterizasyonu ve tanımlası yapılmamıştır. Bu çalışmada, fasulyenin tuz ve kuraklık gibi abiyotik stresler altında VPE gen ailesinin kapsamlı bir araştırmasını yaptık.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Fasulye Genomunda VPE Proteinlerinin Tanımlanması, Dizi Hizalaması ve Filogenetik Analiz

Fasulye genomundaki VPE gen ailesinin PF01650 (<http://pfam.xfam.org/family/PF01650>) erişim kodu ile Phytozome v13 veritabanı (<https://phytozome-next.jgi.doe.gov/>) kullanarak protein dizilerine ulaşıldı. Tüm muhtemel VPE proteinlerini belirlemek için *Phaseolus vulgaris* (Schmutz et al., 2014), *Arabidopsis thaliana* (Lamesch et al., 2012) ve *Glycine max* (Valliyodan et al., 2019) hem Phytozome veritabanı v13'teki blastp hem de gizli Markov model (HMM) (<http://www.ebi.ac.uk>) araması varsayılan parametrelerle taranmıştır. InterProScan (<http://www.ebi.ac.uk/interpro>) veritabanı kullanılarak ve KEGG Motif Search (<https://www.genome.jp/tools/motif>) araması yapılarak elde edilen protein verilerinin içerdiği domainler tespit edildi. Elde edilen VPE proteinlerinin moleküler ağırlığı (mW, Da), amino asit sayısı, kararsızlık indeksi, teorik izoelektrik noktası (pI) ve stabilite durumu "ProtParam aracı" (<https://web.expasy.org/protparam/>) kullanılarak belirlenmiştir.

Filogenetik ağaç, *Pvul-VPE* protein dizileri ClustalW kullanılarak hizalandıktan sonra Neighbor-Joining tree (1000 tekrarlı bootstrap değeri ve Poisson model) MEGA v11 programı kullanılarak elde edilmiştir (Tamura et al., 2011; Thompson et al., 1997). Filogenetik ağaç, iTOL (<https://itol.embl.de/>) arayüzü kullanılarak şekillendirilmiştir (Letunic & Bork, 2011).

## 2.2. *Pvul-VPE* Genlerinin Yapısı, Fiziksel Konumları, Gen Duplikasyonları, Türler Arası Karşılaştırmalı Haritalama ve Korunmuş Motiflerin Belirlenmesi

Gene Structure Display Server v2.0 kullanılarak *Pvul-VPE* proteinlerinin ekzon-intron bölgeleri hakkında bilgi edinilmiştir (<http://gsds.gao-lab.org/>) (Hu et al., 2015).

VPE genlerinin kromozomal lokasyonları Phytozome veritabanı v13'ten elde edilmiştir (<https://phytozome-next.jgi.doe.gov/>). *Pvul-VPE* genleri konumlandığı tüm fasulye kromozomlarına işaretlenmiş ve MapChart programı kullanılarak çizilmiştir (Voorrips, 2002). Varsayılan parametreler MCSanX (The Multiple Collinearity Scan Toolkit) (Wang et al., 2012) veritabanı kullanılarak, *P. vulgaris*, *A. thaliana* ve *G. max* arasındaki gen duplikasyon olayları belirlenmiştir. *Pvul-VPE* genlerinin PAL2NAL (Suyama et al., 2006) web arayüzü kullanılarak duplikasyon olayı içeren çiftleri arasında homolog özellikte olanlar için (Ks), homolog özellikte olmayanlar için (Ka) ve homolog olmayanın homolog olana bölümünü ifade eden (Ka/Ks) değişim oranları PAML arayüzü ile saptanmıştır (Yang, 2007). *P. vulgaris* ile *G. max* ve *A. thaliana*'da bulunan VPE genlerinin karşılaştırmalı haritası TBtools programı kullanılarak çizilmiştir (Chen et al., 2020). Her bir VPE gen ailesinin kopyalanma ve milyon yıl önce ayrılma süresi (MYÖ)  $T = Ks/2\lambda$  ( $\lambda = 6.56E - 9$ ) formülü kullanılarak tahmin edilmiştir (Lynch and Conery, 2003).

MEME Suite aracı kullanılarak (<https://meme-suite.org/meme/index.html>) (Bailey et al., 2006) *Pvul-VPE* proteinlerinin korunmuş motifleri belirlenmiştir. MEME Suite aracında 6-50 genişlik, maksimum motif sayısı 10, min:2-max:600 bölge olacak şekilde ve bölge bağımlı ise tekrarların herhangi bir sayısı olacak şekilde ayarlanmıştır. Belirlenen motifler InterPro veritabanının varsayılan ayarları kullanılarak taranmıştır (Quevillon et al., 2005). Ayrıca korunmuş bölge dizi analizleri için VPE domainlerinin dizi logo analizleri WEBLOGO online web aracı kullanılarak çizilmiştir (Crooks et al., 2004).

## 2.3. *Pvul-VPE* Gen Ailesinin Promotor Analizi

*Pvul-VPE* genlerini 2000 bp (baz çifti) yukarı akış bölgelerine Phytozome v13 veritabanı aracılığı ile ulaşıldıktan sonra her bir proteini için ayrı olacak şekilde PlantCARE (Lescot et al., 2002) web arayüzü kullanılarak cis acting element analizi gerçekleştirilmiştir. Fenogram, TBtools programı kullanılarak çizilmiştir (Chen et al., 2020). Hücre içi lokalizasyonları ise WoLF PSORT (Horton et al., 2007) kullanılarak tahmin edilmiştir.

## 2.4 *Pvul-VPE* Proteinlerinin Homoloji Modellemesi

Tespiti sağlanan VPE protein dizileri Phyre2 veritabanına girilerek tahmini 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır (Kelley et al., 2015). Protein modellerinin güvenilirlik oranları (confidence level) dikkate alınarak %95'ten büyük olanlar görselleştirilmiştir.

## 2.5 *Pvul-VPE* Proteinlerin Protein-Protein Etkileşimleri

Protein-protein etkileşimlerinin (PPI) fiziksel, fonksiyonel ve deneysel olarak belirlenmesi amacıyla STRING (<https://string-db.org/>) veritabanı kullanılmıştır. Alınan veriler sınıflandırılmış ve Cytoscape programı kullanarak görselleştirilmiştir.

## 2.6 İn Siliko Gen İfade Analizi

Illumina RNA-seq veri seti kullanılarak *Pvul-VPE* genlerinin *P. vulgaris* bitkisinin farklı dokularda ifade profilleri belirlenmiştir. İlgili RNA-seq verileri SRR957668 (tuz stresiyle muamele edilmiş yaprak), SRR958469 (yaprak tuz kontrol) (Hiz et al., 2014), SRR8284481 (kuraklık stresiyle muamele edilmiş yaprak) ve SRR8284480 (yaprak kuraklık kontrol) erişim numaraları kullanılmış ve in siliko ifade profilleri RPKM (Reads per Kilobase: Kilobaz başına transkript, transkript ifadesinin normalleştirilmiş biçimi) (Mortavazi et al., 2008) değerlerinin log<sub>2</sub> dönüşümü hesaplandı ve CIMMiner (<https://discover.nci.nih.gov/cimminer/>) algoritması ile ısı grafiği (heatmap) elde edildi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Araştırma Sonuçları

#### 3.1.1. *P. vulgaris* Genomunda Keşfedilen VPE Gen ailesi Özellikleri

PFAM erişim numarası (PF01650) ile Phytozome veritabanı v13'te bulunan fasulye genomunda VPE gen ailesi üyeleri tarandı. Elde edilen sonuçlarda *P. vulgaris* genomunun 5 adet VPE gen ailesi üyesi içerdiği keşfedildi. Tablo 1, *Pvul-VPE* genlerinin kromozomal lokasyonlarını ve bu kromozomların başlangıç ve bitiş konumlarını, amino asit sayıları, izoelektrik noktaları, moleküler ağırlıkları, kararsızlık indeksleri ve hücre içi lokalizasyonunu göstermektedir.

Tanımlanan *Pvul-VPE* genlerinin *P. vulgaris* genomunda 1, 3, 9 ve 11. kromozomlar üzerinde konumlandığı tespit edildi (Şekil 1). Elde edilen veriler sonucunda VPE gen ailesi üyeleri 123 (*Pvul-VPE-3*) ile 493 (*Pvul-VPE-2*) arasında değişen aminoasit sayısına sahipken, 13.97 kDa (*Pvul-VPE-3*) ile 55.11 kDa (*Pvul-VPE-2*) arasında değişen moleküler ağırlığa sahip olduğu tespit edildi. İzoelektrik noktaları *Pvul-VPE-3* hariç diğer genlerin asidik bölgede olduğu ve 5,48 ile 9,16 arasında değişen değerler aldığı gözlemlendi. WoLF PSORT (Horton et al., 2007) veri tabanından elde edilen veriler sonucunda *P. vulgaris* genomundaki VPE genlerine ait hücre içi lokalizasyon Tablo 1'de verilmiştir.

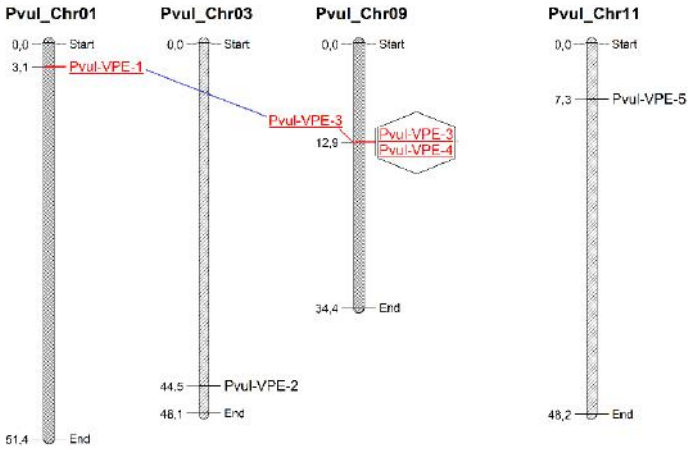
Gen duplikasyon analizleri sonucunda *Pvul-VPE-1* ile *Pvul-VPE-3* arasında segmental, Ka/Ks değerinin 0,26 ve 88,78 milyon yıl önce ayrıştığı (MYÖ), *Pvul-VPE-3* ile *Pvul-VPE-4* arasında ise tandem duplikasyon olayı, Ka/Ks oranı 0,33 ve 60,46 milyon yıl önce ayrıştığı tespit edildi ve Ka, Ks ve Ka/Ks oranları Tablo 2'de gösterilmiştir. Ayrıca *Pvul-VPE-1* ve *Pvul-VPE-3*, *Pvul-VPE-3* ve *Pvul-VPE-4* arasında arındırıcı seleksiyon gözlemlenmiştir.

Tablo 1. *Phaseolus vulgaris* L. genomunda tanımlanan VPE proteinleri ve dizi bilgileri

Gen Adı	AA sayısı	MW (kDa)	pI	Kararsızlık indeksi	Hücre içi lokalizasyon
<i>Pvul-VPE-1</i>	484	53.37	5.59	41.17	chlo: 7,
<i>Pvul-VPE-2</i>	493	55.11	6.19	37.83	chlo: 8,
<i>Pvul-VPE-3</i>	123	13.97	9.16	55.97	nucl: 8.5,
<i>Pvul-VPE-4</i>	483	53.28	5.48	49.94	E.R.: 5.5,
<i>Pvul-VPE-5</i>	393	45.09	6.32	37.41	plas: 8,

Tablo 2. *Pvul-VPE* genlerinin duplikasyon olayları

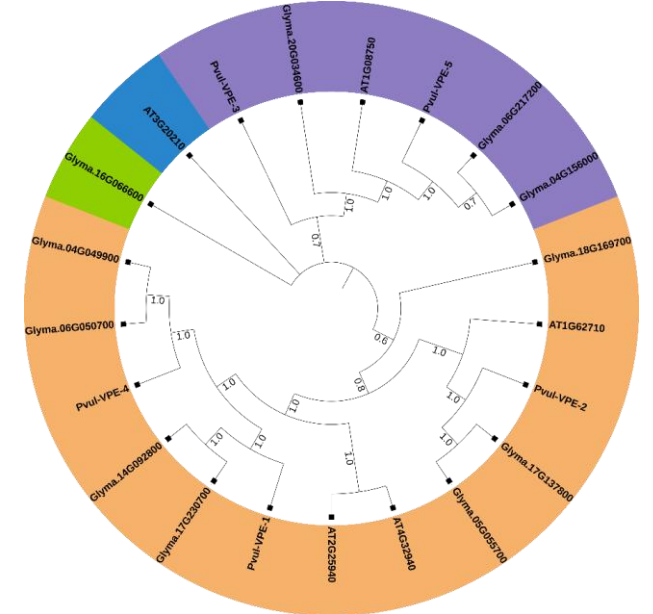
Gen 1	Gen 2	Ka	Ks	Ka/Ks	Duplikasyon
<i>Pvul-VPE-1</i>	<i>Pvul-VPE-3</i>	0,31	1,16	0,26	Segmental
<i>Pvul-VPE-3</i>	<i>Pvul-VPE-4</i>	0,26	0,79	0,33	Tandem



Şekil 1. *Pvul-VPE* genlerinin kromozomal dağılımları (Mavi çizgi ile belirtilen iki gen arasında segmental duplike gen çiftlerini belirtir. Şekil içerisinde bulunan iki gen tandem duplike gen çiftlerini belirtir)

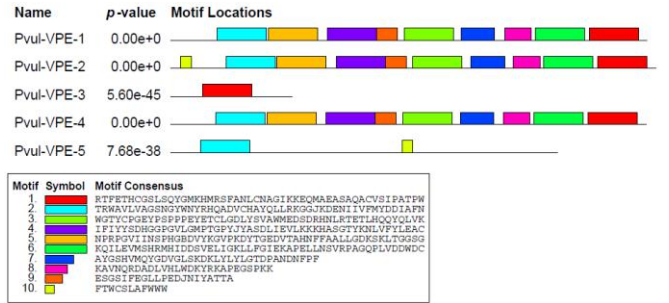
### 3.1.2. *Pvul-VPE* Proteinlerinin Türler Arası Filogenetik Analizi, Korunmuş Motif ve Gene Yapısı

Filogenetik analizler için *P. vulgaris*, *A. thaliana* ve *G. max* türlerinin VPE ile ilişkili proteinleri kullanılarak filogenetik ağaç iTOL web ara yüzü kullanılarak görselleştirildi. Üç bitki türünden toplamda 21 adet VPE proteinin filogenetik ağaç analizi MEGA v11 programı ile Neighbor Joining: NJ metodu kullanılarak yapıldı. Şekil 2’de gösterildiği gibi VPE proteinleri 4 ana gruba ayrıldıği tespit edildi.



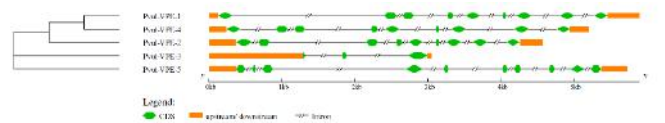
Şekil 2. 3 bitki türünden VPE proteinleri ile çizilmiş filogenetik ağaç. *P. vulgaris* ve diğer türlerden VPE tam uzunluktaki amino asit dizileri, amino asit dizileri, ClustalW ile hizalanmış ve filogenetik ağaç 1000 bootstrap ile komşu-katılım (NJ) yöntemi ile MEGA v11 programı kullanılarak oluşturulmuştur. *Pvul-VPE* alt familyaları, A, B, C ve D grupları sırasıyla yeşil, mavi, mor ve turuncu ile işaretlenmiştir.

MEME Suite (v5.4.1) (Bailey et al., 2006) web arayüzü kullanılarak, *Pvul-VPE* genlerinde 10 korunmuş motif tespit edilmiştir (Şekil 3). *Pvul-VPE-3* geni en az motif (1) içerirken *Pvul-VPE-2* geni en fazla motif (10) içerdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca *Pvul-VPE-3* ve *Pvul-VPE-5* hariç diğer tüm genlerin 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. motifleri içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. *Pvul-VPE* genlerinde tahmin edilen motif dağılımı

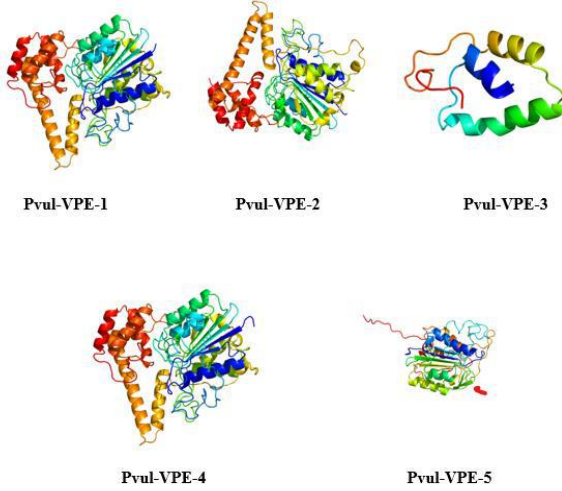
Gene Structure Display Server v2.0 veritabanı kullanılarak *Pvul-VPE* genlerinde yapılan yapısal analizler sonucunda ekzon ve intron sayıları tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, *Pvul-VPE* genlerinde toplam 35 intron ve 40 ekzon tespit edilmiştir (Şekil 4). Ekzon sayıları bakımından en yüksek *Pvul-VPE-5*’de 10 ekzon olurken, en düşük *Pvul-VPE-3*’te 3 ekzon olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. *Pvul-VPE* genlerindeki ekzon ve intron sayısı uzunluğu ve pozisyonları.

### 3.1.3. *Pvul-VPE Gen Ailesinin 3 Boyutlu Homoloji Modellemesi*

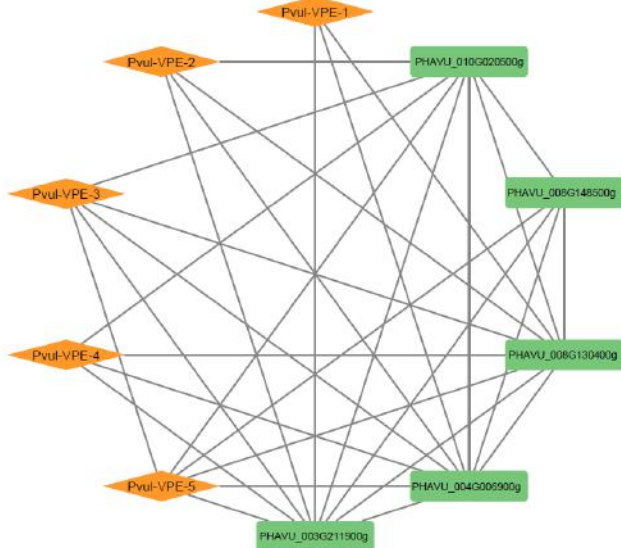
Protein Veri Bankasından (PDB) elde edilen VPE proteinleri BLASTP ile taraması yapıp, VPE proteinlerinin yapı ve fonksiyonları hakkında bilgi edinmek için kullanılan Phyre2 veri tabanı bu proteinlerin 3 boyutlu homoloji modellemesi görselleştirmiştir. Şekil 5, bu çalışmada tanımlana VPE proteinlerini 3D homoloji modellerini göstermektedir.



Şekli 5. *Pvul-VPE* proteinlerinin 3 boyutlu homoloji modellemesi

### 3.1.4. *Pvul-VPE Proteinlerinin Protein-Protein Etkileşimleri (PPI)*

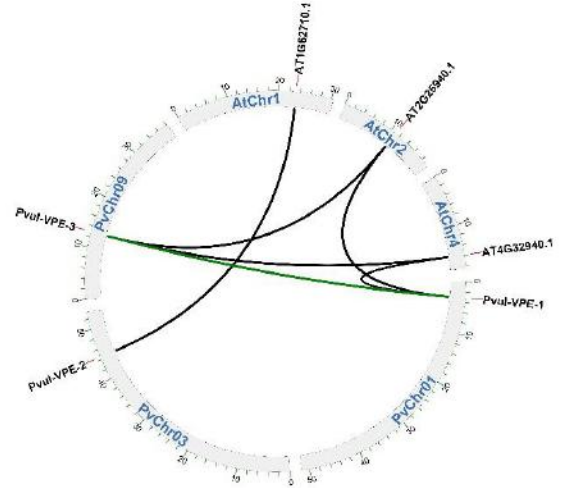
*Pvul-VPE* proteinlerinin protein-protein etkileşimleri, STRING veri tabanı kullanılarak görsel açıdan anlaşılır olması için Cytoscape programı yardımıyla çizilmiştir. (Şekil 6.)



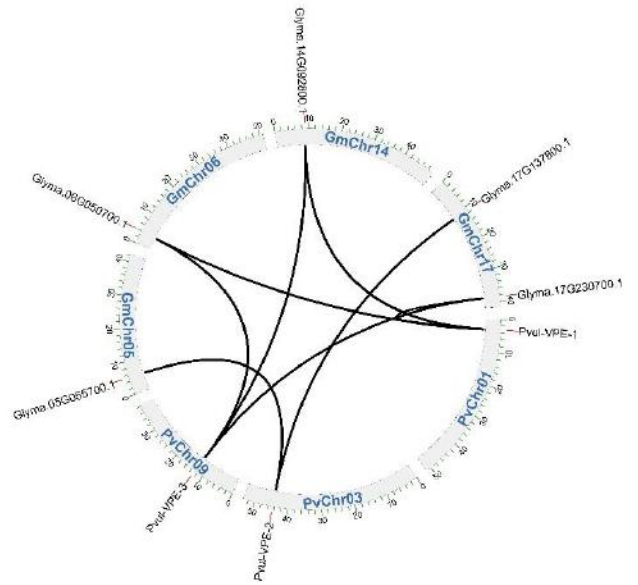
Şekil 6. *VPE* proteinlerini protein-protein etkileşimleri

### 3.1.5. *Pvul-VPE Gen Ailesinin Karşılaştırmalı Gen Haritalaması*

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, *P. vulgaris* ile *A. thaliana* ve *P. vulgaris* ile *G. max* türleri arasında bulunan ortolog genlerin sintenik ilişkisi Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterildi.



Şekil 7. *P. vulgaris* ile *A. thaliana* arasındaki sintenik ilişki (Yeşil çizgi *Pvul-VPE* genleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir, Siyah çizgiler *Pvul-VPE* ve *A. thaliana* arasındaki ilişkiyi göstermektedir.)

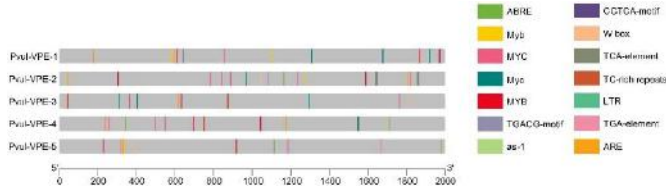


Şekil 8. *P. vulgaris* ile *G. max* arasındaki sintenik ilişki (Siyah çizgiler *Pvul-VPE* ve *G. max* arasındaki ilişkiyi göstermektedir.)

### 3.1.6. *Pvul-VPE Genlerinin Promotor Analizi*

VPE genlerinin 2000 bç yukarı akış bölgesinden elde edilen sekanslar incelenmiş ve VPE genlerinde bulunan promotor bölgelerin bitki gelişimi, abiyotik streslere karşı verilen moleküler yanıtta ve çevresel etmenlere uyum sağlamada etkili olduğu belirlendi. *Pvul-VPE* genlerine ait dizilerde bulunan cis acting elementler PlantCARE veri tabanında gerçekleştirilen analizler sonucunda tespit edilmiş ve TBTools programı ile görselleştirilmiştir (Şekil 9). *Pvul-VPE* genlerinde toplamda 58 adet cis-acting element tespit edildi. Abiyotik ve biyotik streslerle ilişkili olan MYB (*Pvul-VPE*-1, -2, -4, -5), TC-rich repeats (*Pvul-VPE*-3 ve *Pvul-VPE*-4), LTR (*Pvul-VPE*-4), W box (*Pvul-VPE*-2, -3, -4, -5) gibi elemanlar *Pvul-VPE* genlerinde bulunduğu gözlemlenmiştir.

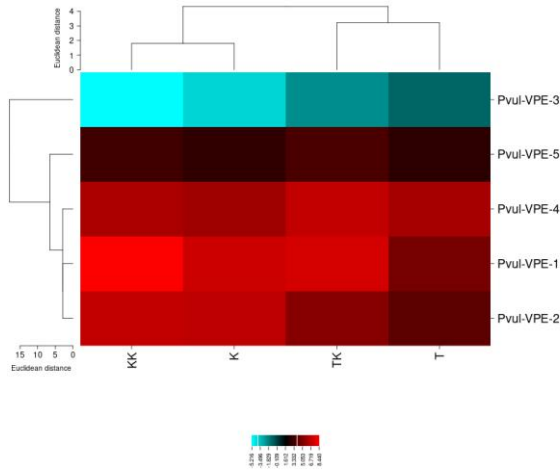




Şekil 9. Pvul-VPE genlerinin promotor bölgeleri. PlantCARE veritabanı yardımı ile 5 Pvul-VPE genini promotor sekansları (-2000 bp) analiz edildi. Ölçek, translasyon kodonu boyunca yukarı akış (up stream) uzunluğunu gösterir. Farklı renkteki kutular, farklı cis-acting elementlerini gösterir.

### 3.1.7 Pvul-VPE Genlerinin Tuz ve Kuraklık Stresleri ile İlişkili İn Silico Ekspresyon Analizi

Fasulye VPE genleri tuz ve kuraklık stresi için SRR957668 (tuz stresi uygulanmış yaprak), SRR958469 (yaprak tuzu kontrolü), SRR8284481 (kuraklık stresi ile işlenmiş yaprak) ve SRR8284480 (yaprak kuraklığı kontrolü) NCBI SRA veri tabanından (Sekans Okuma Arşivi) RNAseq verileri ile in silico ifade analizi yapılmıştır. RNAseq verilerinden elde edilen sonuçlar RPKM değerlerinin log<sub>2</sub> dönüşümü ile oluşturulan ısı haritası (heatmap) grafiğine göre Pvul-VPE genlerinin tuz ve kuraklık stresleri altında göstermiş olduğu ifade seviyeleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu bağlamda, Pvul-VPE-1, -2 ve -4 genleri tuz ve kuraklık stresi altında gruba karşı yapılan analizlerde ifade seviyesinde ciddi farklılıklar görülmemiştir. Fakat bu genlerin tuz ve kuraklık stresleri altında aşırı ifade edildiği grafikte açıkça gösterilmiştir.



Şekil 9. Pvul-VPE genlerinin in silico heatmap grafiği (KK: kuraklık kontrol, K: kuraklık, TK: tuz kontrol, T: tuz)

### 3.2 Tartışma

*P. vulgaris* bitki türünde VPE gen ailesini biyoinformatik analizi, tanımlanması ve karakterizasyonu çeşitli veri tabanları ve programlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *P. vulgaris* genomundaki VPE gen ailesi ile in silico olarak yürütülen bu çalışmada 5 adet Pvul-VPE üyesi tanımlanmıştır. Pvul-VPE genlerinin 4 farklı fasulye kromozomunda yerleşik olduğu belirlenmiştir. Bu genlerin 123 ile 493 arasında değişen amino asit sayısına ve 13,97 kDa ile 55,11 kDa arasında değişen moleküler ağırlığa, toplamda 40 ekzon ve 35 introna sahip olduğu tespit edilmiştir. Song vd. (Song et al., 2020) yaptıkları çalışmada 20 MdVPEs geninin 118 ile 780 arasında değişen aminoasit sayısına, 18,9 kDa ile 85,5 kDa moleküler ağırlığa ve 6 farklı Malus x Domestic kromozomunda yerleşik olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca tüm MdVPEs genlerinin toplamda 165 ekzon ve 149 introna sahip olduğu keşfedilmiştir.

VPE gen ailesi farklı türlerde yapılan genom çapında analizi ve karakterizasyonu sonucunda, armutta (*Pyrus*) 8 adet (Zhang et al., e-ISSN: 2148-2683

2021), *Gossypium hirsutum*, *Gossypium barbadense*, *Gossypium arboreum* ve *Gossypium raimondii* sırasıyla 13, 12, 7 ve 7 adet gen (Zhu et al., 2022), *Vitis vinifera* 3 adet (Tang et al., 2016), *Malus x Domestic* türünde 20 adet (Song et al., 2020) VPE gen ailesi üyesini tanımlamışlardır.

Gen duplikasyon olaylarının çoğu, tandem, segmental ve tam genom duplikasyon olaylarından meydana gelir (Adams & Wendel, 2005). Ka/Ks değeri 1'den büyük olduğunda evrimsel süreçte pozitif seleksiyonu, 1'den küçük olması durumunda arındırıcı seleksiyonu ve 1'e eşit olması halinde ise duplikasyon olaylarında doğal seleksiyonu göstermektedir (Juretic et al., 2005). Bu bağlamda Pvul-VPE-1 ve Pvul-VPE-3 arasında segmental duplikasyon olayı görülürken, Pvul-VPE-3 ve Pvul-VPE-4 arasında ise tandem duplikasyon olayı görülmüştür.

Song vd. (Song et al., 2020) yaptıkları çalışmada *Malus x domestic* türüne ait filogenetik ağaç sınıflandırmasında belirledikleri 20 MdVPE geninin 4 gruba ayrıldığı ve bütün VPE genlerinin bu 4 grup içinde dağıldığını gözlemlemiştir. Bu bilgiler ışığında VPE genleri evrimsel açıdan çoğunlukla 4 gruba ayrıldığı ve bu genlerin *A. thaliana* türü ile yakın ilişki içerisinde olduğu bilgisine erişilmiştir. Yine bu çalışmada yapılan cis-acting promotor analizinde MdVPE genlerinin W box, ABRE, LTR ve TC-rich repeats elementlerini içerdiğini ve sırasıyla MdVPE genlerinden 10 tanesinin W box, 14 tanesi ABRE, 11 tanesinin LTR ve 2 tanesinin TC-rich repeats elemanları içerdiği tespit edilmiştir.

Pvul-VPE genleri arasında yapılan in silico gen ekspresyon analizinden elde edilen veriler sonucunda Pvul-VPE genlerinin ifade seviyesinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Zhu vd (Zhu et al., 2022) *G. hirsutum* türünde yapmış olduğu çalışmada doku spesifik in silico ifade analizleri sonucunda GhVPE genlerinin ifade seviyelerinde herhangi bir değişikliğin olmadığını gözlenmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmada ek olarak aynı alt gruplarda bulunan VPE genlerinin ekzon ve intron yapısının, örn., alt grup I ve grup II ailelerinde bulunan VPE genleri, sırasıyla 9 ve 8 ekzondan oluşan yapıya sahip olduğunu, grup III'teki dört VPE gen ailesinin ise 8 ekzon bulunduğu ve geri kalan üyelerin 9 ekzondan oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Tüm VPE genleri PHAVU\_003G211900g, PHAVU\_008G130400g ve PHAVU\_010G020500g gibi glikan biyosentezi ve metabolizmasında görevli diğer proteinler ile etkileşim halinde olduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda N-glikan biyosentezi ve metabolizmasında görevli proteinlerin tuz ve kuraklık stresine karşı yanıtta, selüloz biyosentezinde ve hücre bölünmesinde önemli işlevlere sahip olduğu rapor edilmiştir (Nagashima et al., 2018).

## 4. Sonuç

Bitkilerin gelişmesi, büyümesi ve olgunlaşması, programlı hücre ölümü, abiyotik ve biyotik stres etmenlerine karşı vermiş olduğu cevaplar için önemli olan VPE gen ailesi bu çalışmada kapsamlı bir şekilde araştırıldı. Ayrıca belirlenen gen ailesi üyelerinin tuz ve kuraklık stres tepkileri ile bu streslere karşı vermiş oldukları cevaplar incelenmiştir. *P. vulgaris* bitki türünde ilk kez yapılan bu çalışmanın ıslah çalışmaları, bitki ve tarımsal biyoteknoloji alanlarında araştırma yapan bilim insanları için değerli bir kaynak ve ilave bilgiler sunacağına inanıyoruz.

## Kaynakça

- Adams, K. L., & Wendel, J. F. (2005). Polyploidy and genome evolution in plants. *Current opinion in plant biology*, 8(2), 135-141.
- Bailey, T. L., Williams, N., Misleh, C., & Li, W. W. (2006). MEME: discovering and analyzing DNA and protein sequence motifs. *Nucleic acids research*, 34(suppl\_2), W369-W373.
- Broughton, W. J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., & Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.)—model food legumes. *Plant and soil*, 252(1), 55-128.
- Chen, C., Chen, H., Zhang, Y., Thomas, H. R., Frank, M. H., He, Y., & Xia, R. (2020). TBtools: an integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data. *Molecular plant*, 13(8), 1194-1202.
- Chung, H.-J., Liu, Q., Pauls, K. P., Fan, M. Z., & Yada, R. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Canada. *Food Research International*, 41(9), 869-875.
- Crooks, G. E., Hon, G., Chandonia, J.-M., & Brenner, S. E. (2004). WebLogo: a sequence logo generator. *Genome research*, 14(6), 1188-1190.
- De Pinto, M. C., Locato, V., & De Gara, L. (2012). Redox regulation in plant programmed cell death. *Plant, cell & environment*, 35(2), 234-244.
- De Ron, A. M., Papa, R., Bitocchi, E., González, A. M., Debouck, D. G., Brick, M. A., . . . Geffroy, V. (2015). Common bean. In *Grain legumes* (pp. 1-36). Springer.
- Díaz-Batalla, L., Widholm, J. M., Fahey, G. C., Castaño-Tostado, E., & Paredes-López, O. (2006). Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(6), 2045-2052.
- Fagundes, D., Bohn, B., Cabreira, C., Leipelt, F., Dias, N., Bodanese-Zanettini, M. H., & Cagliari, A. (2015). Caspases in plants: metacaspase gene family in plant stress responses. *Functional & integrative genomics*, 15(6), 639-649.
- Hara-Nishimura, I., Kinoshita, T., Hiraiwa, N., & Nishimura, M. (1998). Vacuolar processing enzymes in protein-storage vacuoles and lytic vacuoles. *Journal of plant physiology*, 152(6), 668-674.
- Hatsugai, N., Yamada, K., Goto-Yamada, S., & Hara-Nishimura, I. (2015). Vacuolar processing enzyme in plant programmed cell death. *Frontiers in plant science*, 6, 234.
- Hiz, M. C., Canher, B., Niron, H., & Turet, M. (2014). Transcriptome analysis of salt tolerant common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under saline conditions. *PloS one*, 9(3), e92598.
- Horton, P., Park, K.-J., Obayashi, T., Fujita, N., Harada, H., Adams-Collier, C. J., & Nakai, K. (2007). WoLF PSORT: protein localization predictor. *Nucleic acids research*, 35(suppl\_2), W585-W587.
- Hu, B., Jin, J., Guo, A.-Y., Zhang, H., Luo, J., & Gao, G. (2015). GSDS 2.0: an upgraded gene feature visualization server. *Bioinformatics*, 31(8), 1296-1297.
- Jenkins, A. L. (2007). The glycemic index: Looking back 25 years. *Cereal foods world*, 52(2), 50.
- Juretic, N., Hoen, D. R., Huynh, M. L., Harrison, P. M., & Bureau, T. E. (2005). The evolutionary fate of MULE-mediated duplications of host gene fragments in rice. *Genome research*, 15(9), 1292-1297.
- Kalefetoğlu, T., & Ekmekçi, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 723-740.
- Kelley, L. A., Mezulis, S., Yates, C. M., Wass, M. N., & Sternberg, M. J. E. (2015). The Phyre2 web portal for protein modeling, prediction and analysis. *Nature protocols*, 10(6), 845-858.
- Kinoshita, T., Yamada, K., Hiraiwa, N., Kondo, M., Nishimura, M., & Hara-Nishimura, I. (1999). Vacuolar processing enzyme is up-regulated in the lytic vacuoles of vegetative tissues during senescence and under various stressed conditions. *The Plant Journal*, 19(1), 43-53.
- Lamesch, P., Berardini, T. Z., Li, D., Swarbreck, D., Wilks, C., Sасidharan, R., . . . Garcia-Hernandez, M. (2012). The Arabidopsis Information Resource (TAIR): improved gene annotation and new tools. *Nucleic acids research*, 40(D1), D1202-D1210.
- Lamkanfi, M., Declercq, W., Kalai, M., Saelens, X., & Vandenaebelle, P. (2002). Alice in caspase land. *A phylogenetic analysis of caspases from worm to man. Cell death and differentiation*, 9(4), 358-361.
- Lescot, M., Déhais, P., Thijs, G., Marchal, K., Moreau, Y., Van de Peer, Y., . . . Rombauts, S. (2002). PlantCARE, a database of plant cis-acting regulatory elements and a portal to tools for in silico analysis of promoter sequences. *Nucleic acids research*, 30(1), 325-327.
- Letunic, I., & Bork, P. (2011). Interactive Tree Of Life v2: online annotation and display of phylogenetic trees made easy. *Nucleic acids research*, 39(suppl\_2), W475-W478.
- Lynch M, Conery JS (2003) The evolutionary demography of duplicate genes. *Genome Evolution*:35-44.
- Nagashima, Y., von Schaewen, A., & Koiwa, H. (2018). Function of N-glycosylation in plants. *Plant Science*, 274, 70-79.
- Nakaune, S., Yamada, K., Kondo, M., Kato, T., Tabata, S., Nishimura, M., & Hara-Nishimura, I. (2005). A vacuolar processing enzyme,  $\delta$ VPE, is involved in seed coat formation at the early stage of seed development. *The Plant Cell*, 17(3), 876-887.
- Mortazavi A, Williams BA, Mccue K, Schaeffer L, Wold B (2008) Mapping and quantifying mammalian transcriptomes by RNA-Seq. *Nat Methods* 5(7):621-628. <https://doi.org/10.1038/nmeth.1226>
- Quevillon, E., Silventoinen, V., Pillai, S., Harte, N., Mulder, N., Apweiler, R., & Lopez, R. (2005). InterProScan: protein domains identifier. *Nucleic acids research*, 33(suppl\_2), W116-W120.
- Schmutz, J., McClean, P. E., Mamidi, S., Wu, G. A., Cannon, S. B., Grimwood, J., . . . Chavarro, C. (2014). A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nature genetics*, 46(7), 707-713.
- Selda, Ö., & Ekinci, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32(2), 237-250.
- Song, J., Yang, F., Xun, M., Xu, L., Tian, X., Zhang, W., & Yang, H. (2020). Genome-wide identification and characterization of vacuolar processing enzyme gene family and diverse expression under stress in apple (*Malus* × domestic). *Frontiers in plant science*, 11, 626.
- Suyama, M., Torrents, D., & Bork, P. (2006). PAL2NAL: robust conversion of protein sequence alignments into the corresponding codon alignments. *Nucleic acids research*, 34(suppl\_2), W609-W612.
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., & Kumar, S. (2011). MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance,

- and maximum parsimony methods. *Molecular biology and evolution*, 28(10), 2731-2739.
- Tang, Y., Wang, R., Gong, P., Li, S., Wang, Y., & Zhang, C. (2016). Gene cloning, expression and enzyme activity of *Vitis vinifera* vacuolar processing enzymes (VvVPEs). *PloS one*, 11(8), e0160945.
- Thompson, J. D., Gibson, T. J., Plewniak, F., Jeanmougin, F., & Higgins, D. G. (1997). The CLUSTAL\_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic acids research*, 25(24), 4876-4882.
- Valliyodan, B., Cannon, S. B., Bayer, P. E., Shu, S., Brown, A. V., Ren, L., . . . Daum, C. G. (2019). Construction and comparison of three reference-quality genome assemblies for soybean. *The Plant Journal*, 100(5), 1066-1082.
- Voorrips, R. E. (2002). MapChart: software for the graphical presentation of linkage maps and QTLs. *Journal of heredity*, 93(1), 77-78.
- Wang, Y., Tang, H., DeBarry, J. D., Tan, X., Li, J., Wang, X., . . . Guo, H. (2012). MCScanX: a toolkit for detection and evolutionary analysis of gene synteny and collinearity. *Nucleic acids research*, 40(7), e49-e49.
- Yang, Z. (2007). PAML 4: phylogenetic analysis by maximum likelihood. *Molecular biology and evolution*, 24(8), 1586-1591.
- Zhang, H., Tao, X., & Zhang, F. (2021). Genome-wide identification and expression analysis of the vacuolar processing enzyme (VPE) family genes in pear. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(4), 469-478.
- Zhu, L., Wang, X., Tian, J., Zhang, X., Yu, T., Li, Y., & Li, D. (2022). Genome-wide analysis of VPE family in four *Gossypium* species and transcriptional expression of VPEs in the upland cotton seedlings under abiotic stresses. *Functional & Integrative Genomics*, 1-14.



# Fuzzy Controller for Optimization of Operation Time in Washing in Machine

Muhammed Ali Çalmaz<sup>1\*</sup>, Neslihan Avcu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2777-2612), [m.alicalmaz@gmail.com](mailto:m.alicalmaz@gmail.com)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8481-2863), [neslihan.avcu@deu.edu.tr](mailto:neslihan.avcu@deu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083443)

**ATIF/REFERENCE:** Çalmaz, M.A. & Avcu, N. (2022). Fuzzy Controller for Optimization of Operation Time in Washing Machine. *European Journal of Science and Technology*, (34), 561-567.

## Abstract

The washing machine is one of the important home appliance. Most of today's common washing machines do not yet have smart features. Smart white goods have some decision-making functions instead of users. Smart washing machines can collect some data through their different sensors and use this data in appropriate actions. In this paper, it is aimed to suggest the most suitable program duration to the user and save energy, water and time by using a fuzzy controller system with three inputs and one output. Three different inputs are used; the dirt level of the laundry, the amount of oil and the amount of load. These input values can be obtained through related sensors. Washing time will be obtained as a single output. It is aimed to obtain optimum washing time by trying different methods in fuzzy controller. Two different types of fuzzification methods, triangular and trapezoidal, are applied as membership functions. As the fuzzy inference engine methods, product and minimum inference engine are used comparatively. This study also analyze the effects of the application of different defuzzification methods. We deployed five defuzzification methods: center of gravity, bisector, largest of maximum, smallest of maximum, and mean of maximum. The codes are written using Python programming language. For the evaluation, the results obtained from different methods were compared with each other. According to results, most suitable washing time can be obtained by using the methods of trapezoidal membership function for fuzzification, minimum inference engine and center of gravity for defuzzification.

**Keywords:** Fuzzy Controller, Inference Engine, Membership Function, Defuzzifier, Smart White Goods.

## Çamaşır Makinesinde Çalışma Süresinin Optimizasyonu için Bulanık Kontrolör

### Öz

Çamaşır makinesi önemli ev aletlerinden biridir. Günümüzün yaygın çamaşır makinelerinin çoğu henüz akıllı özelliklere sahip değildir. Akıllı beyaz eşyalar, kullanıcılar yerine bazı karar verme işlevlerine sahiptir. Akıllı çamaşır makineleri, farklı sensörleri aracılığıyla bazı veriler toplayabilir ve bu verileri uygun eylemlerde kullanabilir. Bu bildiride, üç girişli ve bir çıkışlı bir bulanık kontrol sistemi kullanılarak kullanıcıya en uygun program süresinin önerilmesi ve enerji, su ve zamandan tasarruf edilmesi amaçlanmaktadır. Çamaşırın kir seviyesi, yağ miktarı ve yük miktarı olacak şekilde üç farklı giriş kullanılmaktadır. Bu giriş değerleri ilgili sensörler aracılığıyla elde edilir. Yıkama süresi tek çıkış olarak elde edilecektir. Bulanık denetleyicide farklı yöntemler deneyerek optimum yıkama süresinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen ve yamuk olmak üzere iki farklı bulanıklaştırma yöntemi uygulanmaktadır. Bulanık çıkarım motoru yöntemleri olarak çarpım ve minimum çıkarım motoru karşılaştırılmalı olarak kullanılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda farklı durulaştırma yöntemlerinin uygulanmasının etkilerini de analiz etmektedir. Ağırlık merkezi, açıortay, maksimumun en büyüğü, maksimumun en küçüğü ve maksimumun ortalaması olmak üzere beş farklı durulaştırma yöntemi kullanılmıştır. Kodlar Python programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Değerlendirme için farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, bulanıklaştırma için yamuk üyelik fonksiyonu, çıkarım motoru için minimum çıkarım motoru ve durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemleri kullanılarak en uygun yıkama süresi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Kontrolör, Çıkarım Motoru, Üyelik Fonksiyonu, Durulaştırıcı, Akıllı Beyaz Eşyalar.

\* Corresponding Author: [m.alicalmaz@gmail.com](mailto:m.alicalmaz@gmail.com)

## 1. Introduction

The washing machine saves people from the hassle of washing laundry and creates time for people to use it more efficiently. In a conventional washing machine, the user has to make settings such as program selection, time, spin and temperature [1].

On the smart washing machines, smart features enable users to think and make decisions instead. Smart machines collect some data through different sensors and use this information in some operations. These machines offer many different features that make the user's job easier. Some of these features provide the user with a suitable program time by performing the necessary operations on the processor with the data collected by sensors such as turbidity sensor and load sensor [2].

Washing machine manufacturers produce machines with sensors that detect the type of laundry and the amount of dirt in order to better ensure the cleanliness of the laundry. The turbidity sensor used in washing machines may be a simple optical sensor that measures the amount of light that passes through a glass tube and can then be converted into electrical signals to estimate the amount of dirt [3].

The turbidity sensor sends a beam of light through the water and measures how much of it reaches the other side. The dirtier the water, the less light crosses. The turbidity sensor can also tell how oily the dirt is. The oily the laundry, the slower it will dissolve. If the light readings quickly reach a minimum, the dirt is low on oil. If the decline is slow, laundry has high oil. The machine may have also a load sensor that registers the volume of clothes. The more volume of the clothes, the more washing time is needed [4].

Washing machine users choose different programs and options on the machine while determining the washing time. These selections may not automatically adjust the washing time in the most accurate way according to the type of laundry, the type of soiling, the dirtiness of the laundry and the amount of laundry. This problem can be overcome with fully automatic washing machines based on fuzzy logic. It also offers performance, simplicity and less cost advantages [5].

Fuzzy Logic is the evaluation of mathematics as any input is converted into output for any problem based on the degree of truth. In the fuzzy control system, degree of truth differs from the classical method. While there are only true or false in the classical method; fuzzy logic gives the shades of truth and false in the same statement. Thus, more convenient results are offered to the user in the control system. This ensures that the controlled machine works at optimum values [2].

Fuzzy logic is a concept that allows computers to make decisions in a similar way to humans. It provides a simple way to arrive at a definitive conclusion based on input information such as vague, noisy, or incomplete [6].

In control systems there are two main types which are widely applied in the fields of engineering activities; these are proportional-integrated-derivative (PID) and fuzzy logic control systems (FLCSs) [20]. PID controllers are universally used in the control operations mechanism. However, it may show poor performance for nonlinear systems due to insufficient information about the parameters. The FLCS is an efficient model with several

attributes such as reduced oscillations, better stability, smaller overshoot and faster settling time [7].

Fuzzy control is a control method based on fuzzy logic. Fuzzy logic can be defined as calculation with words instead of numbers, fuzzy control can be defined as control with sentences instead of equations. The Mamdani (linguistic) controller, which is usually used as a direct closed-loop controller, and the Takagi-Sugeno controller, which is typically used as a supervisory controller, are the most commonly used fuzzy logic controllers. Fuzzy controllers are used in consumer products such as washing machines, video cameras and rice cookers. It is also used to control industrial processes, including cement kilns, underground trains and robots [8].

Fuzzy control can be used for different purposes in washing machines. Different manufacturers collect data from the machine through different sensors and give the desired results without tiring the user. In these machines, more appropriate choices can be made than the choices made by the user. Systems that suggest the most suitable washing time for the laundry to be washed in the machine can be given as an example [9].

Making the washing time control of washing machines with fuzzy logic saves electricity and water resources. At the same time, it will also provide financial savings to the user in the commercial solutions offered in the market. The application areas of fuzzy logic controllers are more dynamic compared to traditional PID controllers [6].

Fuzzy Logic controllers are capable of solving problems in complex systems which can not be done by traditional PID controllers [10]. The structure of the Fuzzy Controller structure is shown in Figure (1).

The concept of fuzzy logic was first introduced by Professor Lotfi A. Zadeh University of California Berkeley in 1965 [11]. Fuzzy control did not receive much attention for a long time after it was first introduced. It was only in the 1990s that interest in fuzzy control increased due to the advertisements and successes of applications in Japanese consumer products such as washing machines and video cameras. After this increase in interest, contributions were made in conferences and control literature on fuzzy logic [12].

Fuzzy logic is a powerful design technology used to develop the control system and facilitate the implementation of complex systems [19]. Fuzzy Logic accepts input with varying degrees of accuracy and allows the system to be further developed over classical logic [13].

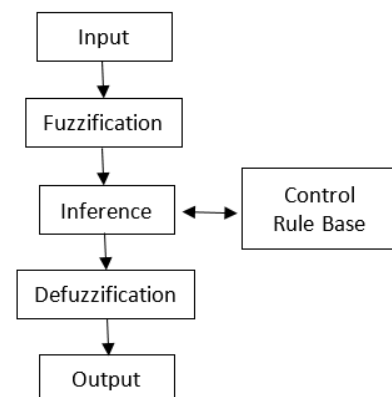


Figure 1. Fuzzy Controller structure [10]

A controller “Developed Control Microchip for Washing Machine” is proposed. FLC is created as 25 rules. There are three inputs as soil type, clothing type and soil level, and an output as washing time [14]. A fuzzy logic control for a two-input and one-output washing machine with a 9-rule fuzzy inference engine is presented in [15]. A Sugeno type FLC structure to achieve the controller output is provided in [16]. A FLC washing machine with two inputs which are the type of soiling and the degree of contamination, and the output of the system is the washing time is proposed in [17]. A fuzzy logic controller with three input and one output system in the washing machine is constructed in [18]. In the system there are 21 rules for FLC. The inputs are the type of soil, the type of clothing and the degree of soiling, and the output is the washing time [18].

In this study, it is aimed to find the most suitable program duration in the washing machine by comparing different methods of fuzzy control. Two different membership functions, triangular and trapezoidal, were compared. Two different inference engines, minimum and product, were compared. In addition, five different defuzzification methods were used; center of gravity, bisector, largest of maximum, smallest of maximum, and mean of maximum.

It has been observed that the combination of trapezoidal fuzzification, minimum inference engine and center of gravity defuzzification method gives the most suitable results for the washing time. By these methods, the system can provide the optimum value in the calculation of washing time. For this reason, it was decided to conduct a washing machine study that optimizes the fuzzy controlled washing time by using these methods.

This paper aims to design and simulate cycle time control system of a washing machine using fuzzy logic. It provides a fuzzy controller for a washing machine that processes the sensor inputs and produces optimized washing time.

Section 2 of the paper includes the design of the fuzzy controller and its parameters. The results obtained for different fuzzifiers, inference engines and defuzzifiers are presented in Section 3. The obtained results are discussed in Section 4 and Section 5 presents the best combination for design of the controller and future works.

## 2. Material and Method

The proposed Fuzzy Logic Controller for washing machine consists of three Linguistic Inputs i.e.

- Dirt level
- Oil Level
- Load Size

and one Linguistic output i.e.

- Washing Time.

In the fuzzy controller, different methods are used comparatively. Triangular and trapezoidal fuzzification methods are applied to obtain fuzzy values of crisp inputs. Minimum and product fuzzy inference engine methods are applied to obtain fuzzy output. Centroid, bisector, largest of maximum, smallest of maximum, and mean of maximum methods are used for defuzzification to obtain crisp value of fuzzy output. In Figure (2), the schematic of fuzzy logic controller for washing machine is represented.

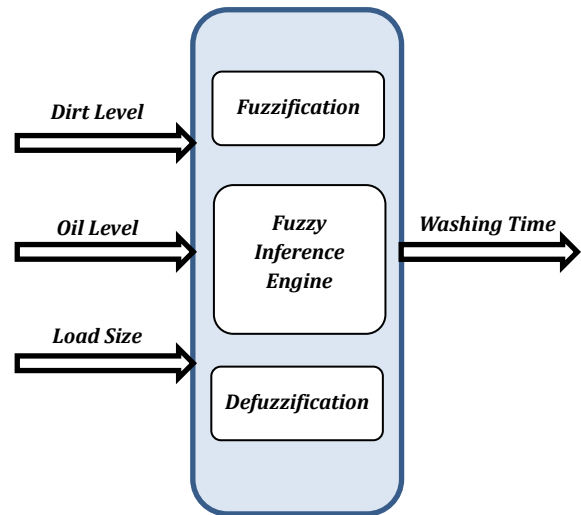


Figure 2. Fuzzy logic controller for washing machine

The process which converts crisp value in fuzzy value is known as fuzzification. Triangular and trapezoidal methods are used for the fuzzification. The triangular and trapezoidal forms were used to obtain the membership values from the input data. According to simulation results it is observed that better washing time can be obtained in the use of a trapezoidal membership function, compared to the use of a triangular membership function.

In Figure (3), the dirt levels of membership functions are represented in trapezoidal form. The dirt level is defined in the range of 0 to 100 percentage and has been classified into three sub levels (Low, Medium and High).

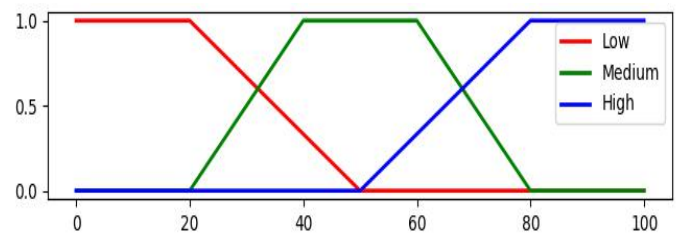


Figure 3. Dirt levels membership functions

In Figure (4), the oil levels of membership function graphs are shown. The oil dissolving time is defined in the range of 0 to 60 minutes and has been classified into three sub levels (Low, Medium and High).

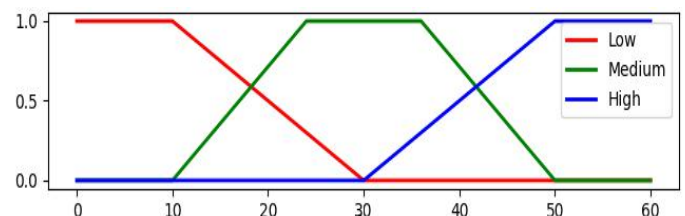


Figure 4. Oil levels membership functions

In Figure (5), the load size membership function graphs are shown. The load size level is defined in the range of 0 to 100 percentage and has been classified into two sub levels (Low and High).

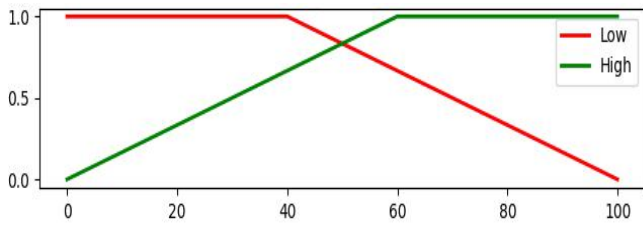


Figure 5. Load Sizes membership functions

The washing time is defined in the range from 0 to 120 minutes, based on the fuzzification of above mentioned inputs (dirt level, oil level, load size). Further, scaling has been done into five sub levels (Very Small, Small, Medium, Large, Very Large). The output is defined by the fuzzy subsets as shown in Figure (6).

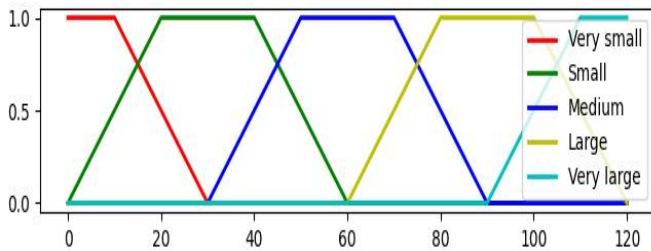


Figure 6. Washing time membership functions

Minimum and product fuzzy inference engine methods are applied for fuzzy control of the system. In minimum inference engine, individual-rule based inference with union combination, Mamdani's minimum implication and minimum for all the t-norm operators and maximum for all the s-norm operators are used. In product inference engine, individual-rule based inference with union combination, Mamdani's product implication and algebraic product for all the t-norm operators and maximum for all the s-norm operators are used. It has been observed that when the minimum inference engine is used, more suitable and advantageous washing times are obtained than the product inference engine

In order to find crisp output value from the fuzzy output; centroid, bisector, largest of maximum, smallest of maximum, and mean of maximum methods are used for defuzzification. When the defuzzification methods are compared, it is seen that the center of gravity defuzzification method gives values closer to the optimum than other methods. The order of the other defuzzification methods from better to worse is as follows: bisector, mean of maximum, smallest of maximum, largest of maximum.

### 3. Results and Discussion

To simulate the system, codes are written in Python programming language. By using minimum inference engine, the minimum value of the membership degrees of fuzzy propositions for each rule is determined. Then, the maximum values of the washing time outputs will give us the fuzzy outputs.

The decisions made by fuzzy logic controller are derived from the fuzzy rules. The 18 rules are formed using dirt level, oil level, and load size inputs and washing time output is discussed in terms of IF and THEN statements. Fuzzy linguistic input and output variables are shown in Table (1)

Table 1. Fuzzy linguistic input and output variables

Rule No:	IF			THEN
	Dirty	Oil	Load	Washing Time
1	LOW	LOW	LOW	VSMALL
2	LOW	LOW	HIGH	SMALL
3	LOW	MEDIUM	LOW	VSMALL
4	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM
5	LOW	HIGH	LOW	SMALL
6	LOW	HIGH	HIGH	LARGE
7	MEDIUM	LOW	LOW	SMALL
8	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM
9	MEDIUM	MEDIUM	LOW	SMALL
10	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM
11	MEDIUM	HIGH	LOW	LARGE
12	MEDIUM	HIGH	HIGH	VLARGE
13	HIGH	LOW	LOW	LARGE
14	HIGH	LOW	HIGH	VLARGE
15	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM
16	HIGH	MEDIUM	HIGH	VLARGE
17	HIGH	HIGH	LOW	LARGE
18	HIGH	HIGH	HIGH	VLARGE

On the developed system, it is assumed that the crisp inputs are;

- Dirt level = 65%
- Oil dissolving time = 25 minutes
- Load Size = 50%

By using trapezoidal fuzzification formulas, the membership degrees of each level of inputs can be calculated. For our assumption, these values are shown in the Table (2).

Table 2. membership degrees of each level of inputs

Dirt level membership functions	Oil level membership functions	Load Size membership functions
$\mu'_{LD}(x) = 0$	$\mu'_{LO}(x) = 0.25$	$\mu'_{LL}(x) = 0.83$
$\mu'_{MD}(x) = 0.75$	$\mu'_{MO}(x) = 1.0$	$\mu'_{HL}(x) = 0.83$
$\mu'_{HD}(x) = 0.5$	$\mu'_{HO}(x) = 0$	

Table 3. Comparison of fuzzification methods

Inputs	Dirt level [0-100]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		Oil level [0-60]	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54

	Load size [0-100]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Output	Using Trapezoidal Fuzzification Method	11	16	25	36	41	45	60	69	95	104	109
	Using Triangular Fuzzification Method	10	27	34	38	42	45	56	64	70	81	110

Fuzzy linguistic input and output variables and their membership degrees are shown in Table (2). As indicated in the table, except Very Small linguistic variable, all other variables have nonzero washing time membership value. The nonzero values for Medium, Large, and Very Large Washing Times shown in Table (3) are obtained from these comparison.

When the trapezoidal and triangular fuzzification methods are compared, it has been observed that trapezoid fuzzification results are more suitable for washing time output. In the Table (3), different output values are shown for each methods.

Table 4. Fuzzy linguistic input and output variables and their membership degrees

Rule No:	Dirt Level Membership Value:	Oil Level Membership Value:	Load Size Membership Value:	Washing Time Membership Value (Min of the Inputs):
1	Low: 0	Low: 0.25	Low: 0.83	V.small: 0
2	Low: 0	Low: 0.25	High: 0.83	Small: 0
3	Low: 0	Mid: 1.0	Low: 0.83	V.small: 0
4	Low: 0	Mid: 1.0	High: 0.83	Medium: 0
5	Low: 0	High: 0	Low: 0.83	Small: 0
6	Low: 0	High: 0	High: 0.83	Large: 0
7	Mid: 0.75	Low: 0.25	Low: 0.83	Small: 0.25
8	Mid: 0.75	Low: 0.25	High: 0.83	Medium: 0.25
9	Mid: 0.75	Mid: 1.0	Low: 0.83	Small: 0.75
10	Mid: 0.75	Mid: 1.0	High: 0.83	Medium: 0.75
11	Mid: 0.75	High: 0	Low: 0.83	Large: 0
12	Mid: 0.75	High: 0	High: 0.83	V. Large: 0
13	High: 0.5	Low: 0.25	Low: 0.83	Large: 0.25
14	High: 0.5	Low: 0.25	High: 0.83	V. Large: 0.25
15	High: 0.5	Mid: 1.0	Low: 0.83	Medium: 0.5
16	High: 0.5	Mid: 1.0	High: 0.83	V. Large: 0.5
17	High: 0.5	High: 0	Low: 0.83	Large: 0
18	High: 0.5	High: 0	High: 0.83	V. Large: 0

By finding maximum of each values of linguistic variable we obtain membership values of the fuzzy output as following;

$$\mu_{VS}(x) = 0, \mu_S(x) = 0.75, \mu_M(x) = 0.75, \mu_L(x) = 0.25, \mu_{VL}(x) = 0.5.$$

Table (4) shows the membership degrees of the linguistic variables for inputs and output in each rule. Table (5) includes the degrees of membership functions for output obtained from the rules.

Table 5. Nonzero values of fuzzy output variables

Rule no:	THEN	Washing Time Membership Value:
7	Small	0.25
8	Medium	0.25
9	Small	0.75
10	Medium	0.75
13	Large	0.25
14	Very Large	0.25
15	Medium	0.5
16	Very Large	0.5

When the minimum and product inference engine methods are compared, it has been observed that minimum inference engine results are more suitable for washing time output. In the Table (6), different output values are shown for each methods.

The combination of membership functions for fuzzy output linguistic variables is shown in the Figure (7).

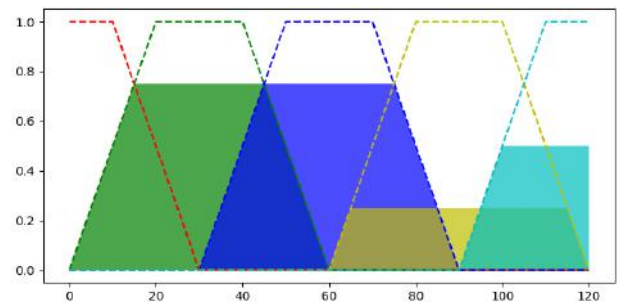


Figure 7. Gravity of each fuzzy outputs

By finding center of gravity of the output membership functions, we obtain crisp output value of washing time. The center of gravity graph is shown in Figure (8).

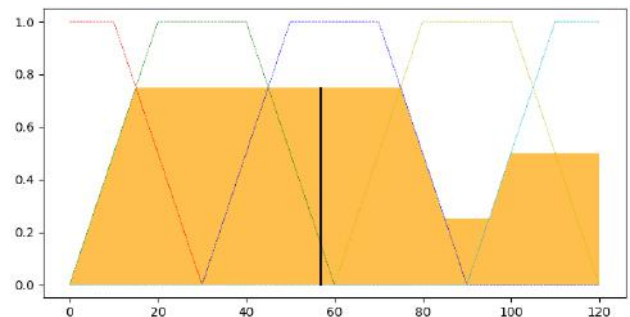


Figure 8. Center of gravity for defuzzification of fuzzy outputs

Table 6. Comparison of Inference Engine Methods



Inputs	Dirt Level [0-100]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Oil Level [0-60]	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	Load Size [0-100]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Output	Using Minimum Inference Engine Method	11	16	25	36	41	45	60	69	95	104	109
	Using Product Inference Engine Method	11	13	17	27	39	45	61	87	103	107	109

Table 7. Comparison of Defuzzification Methods

Inputs	Dirt Level [0-100]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Oil Level [0-60]	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	Load Size [0-100]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Output	Using Center of Gravity Defuzzification	11	16	25	36	41	45	60	69	95	104	109
	Using Mean of Maximum Defuzzification	5	6	7	9	30	45	60	111	113	114	115
	Using Bisector Defuzzification	10	12	17	33	39	45	59	71	103	108	110
	Using smallest of maximum Defuzzification	0	0	0	0	18	15	48	102	106	108	110
	Using largest of maximum Defuzzification	10	12	14	18	42	75	72	120	120	120	120

By using center of gravity defuzzification method the crisp output value is found 56 minutes as optimized washing time for fuzzy controlled washing machine.

In order to compare the defuzzification methods, we calculate the crisp output washing time value for different input values. The results are shown for each defuzzification method in the Table (7).

When the defuzzification methods are compared, it is seen that the center of gravity method gives more suitable output value than other methods.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In order to reach the optimum time in the washing machine, it has been seen that designing a fuzzy controller with trapezoidal membership function, minimum inference engine and center of gravity defuzzification can reach the most optimum time compared to other methods.

Fuzzy logic applications have become popular because they provide unlimited processing possibilities. This paper provides a fuzzy control method, allowing users to spend less time in the washing machine and use it more efficiently.

Using trapezoidal fuzzification, minimum fuzzy inference engine, center of gravity (CoG) defuzzification methods, it has been developed successfully a fuzzy washing machine with optimum washing time. Based on the successful conclusion of this study, it would be appropriate to use these methods in the fuzzy control of washing time calculations.

The number of input and out parameters and the number of rules can be increased to obtain a better performance in controller design as a future work.

#### References

Alhanjouri, M. A., & Alhaddad, A. (2013). Optimize wash time of washing machine using fuzzy logic. In *The 7th International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS 2013)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo, Surabaya, Indonesia.

Masood, R. F. (2017). Application of fuzzy logic in design of smart washing machine. arXiv preprint arXiv:1701.01654.

Soparkar, M. B. (2015). Defuzzification in a Fuzzy Logic Controller: Automatic Washing Machine. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.

Wang, L. X. (1999). A course in fuzzy systems. Prentice Hall.

Ahmed, T., & Toki, A. (2016). A Review on Washing Machine Using Fuzzy Logic Controller. *International Journal*, 4(7).

Raja, K., & Ramathilagam, S. (2021). Washing machine using fuzzy logic controller to provide wash quality. *Soft Computing*, 1-9.

Nagarajan, D., Lathamaheswari, M., Kavikumar, J., & Deenadayalan, E. (2019). Interval type-2 fuzzy logic washing machine. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 19(4), 223-233.

Akram, M., Habib, S., & Javed, I. (2014). Intuitionistic fuzzy logic control for washing machines. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(5), 654.

Ahmed, T., Ahmad, A., & Toki, A. (2016). Fuzzy logic controller for washing machine with five input & three output. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 7(2), 136-143.

Wulandari, N., & Abdullah, A. G. (2018, July). Design and simulation of washing machine using fuzzy logic controller (flc). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 384, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, vol. 8. Google Scholar Google Scholar Digital Library Digital Library, 338-353.

Hatagar, S., & Halase, S. V. (2015). Three input–one output fuzzy logic control of washing machine. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 4(1), 2278-882.

Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (Vol. 4). New Jersey: Prentice hall.

Lohani, P., & Hasan, S. R. (2009). Design of an improved controller microchip for washing machine. In *16th Annual Electronics New Zealand Conference* (pp. 20-26).

- Agarwal, M. (2011). Fuzzy logic control of washing machines. Roll Number 00ME1011, Department of Mechanical Engineering, India Institute of Technology, Kharagpur, 1-5.
- Anand, M. S., & Tyagi, B. (2012). Design and implementation of fuzzy controller on FPGA. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 4(10), 35-42.
- Alhanjouri, M. A., & Alhaddad, A. (2013). Optimize wash time of washing machine using fuzzy logic. In The 7th International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS 2013). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo, Surabaya, Indonesia.
- Hatagar, S., & Halase, S. V. (2015). Three input–one output fuzzy logic control of washing machine. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 4(1), 2278-882.
- Workman, M. E. (1996). Hardware requirements for fuzzy logic control systems (Doctoral dissertation, Texas Tech University).
- Yadav, A. K., Reza, A., & Srivastava, S. (2014). A comparative study for ranking the efficiency of washing machines based on fuzzy set theory. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(4).



# Analyzing the Impacts of European Green Deal on Logistics through CIMO-Logic

Mehmet Ali Taş<sup>1\*</sup> Batin Latif Aylak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3333-7972), [mehmetali.tas@tau.edu.tr](mailto:mehmetali.tas@tau.edu.tr)

<sup>2</sup> Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0067-1835), [batin.latif@tau.edu.tr](mailto:batin.latif@tau.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082778)

**ATIF/REFERENCE:** Taş, B. L., & Aylak, B. L. (2022). Analyzing the Impacts of European Green Deal on Logistics through CIMO-Logic. *European Journal of Science and Technology*, (34), 568-572

## Abstract

The European Green Deal (EGD) is a set of legislation and policy guidelines aimed at making Europe the first continent to become carbon neutral by 2050. According to this agreement, changes and transformations are foreseen in various fields in order to achieve the sustainable development goal. The focus of the logistics industry has shifted to green logistics, also known as eco-logistics, in compliance with this deal. This concept describes the sustainable approaches implemented by the wider logistics industry on the continent to minimize the environmental impact of warehousing and transporting goods as well as other logistical activities. The effects of EGD on logistics should be examined and practices that can give better results should be developed. In this study, CIMO-Logic, which is one of the design science research approaches that enable the evaluation of processes and the presentation of scientific evidence, is promoted. The findings of the study are intended to help reveal the effects of this deal on logistics practices.

**Keywords:** European Green Deal (EGD), Logistics, Eco-logistics, CIMO-Logic.

## Avrupa Yeşil Mutabakatının Lojistik üzerindeki Etkilerini CIMO-Logic ile Analizi

### Öz

Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), Avrupa'yı 2050 yılına kadar karbon-nötr haline gelen ilk kıta haline getirmeyi amaçlayan bir dizi mevzuat ve politika kılavuzudur. AYM'ye göre, sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşmak için çeşitli alanlarda değişiklik ve dönüşümler öngörülmektedir. Lojistik sektörünün de odak noktası, bu mutabakata uygun olarak eko-lojistik olarak da bilinen yeşil lojistiğe kaymıştır. Söz konusu kavram, depolama, nakliye ve diğer lojistik faaliyetlerin çevresel etkisini en aza indirmek için lojistik endüstrisi tarafından uygulanan sürdürülebilir yaklaşımları tanımlamaktadır. AYM'nin lojistik üzerindeki etkileri incelenmeli ve daha iyi sonuçlar verebilecek uygulamalar geliştirilmelidir. Bu çalışmada, süreçlerin incelenmesini ve bilimsel kanıt sunulmasını sağlayan tasarım bilimi araştırma yaklaşımlarından biri olan CIMO-Logic'ten yararlanılmıştır. Çalışma bulgularının, mutabakatın lojistik uygulamaları üzerindeki etkilerini ortaya koymaya yardımcı olması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), Lojistik, Eko-lojistik, CIMO-Logic.

\* Corresponding Author: [mehmetali.tas@tau.edu.tr](mailto:mehmetali.tas@tau.edu.tr)

# 1. Introduction

The production speed and volume enabled by the industrial revolutions have rapidly changed the way people live (Schwab, 2017). Increasing population and prosperity have caused consumption to increase tremendously and jeopardized the continuity of resources for future generations (Basiago, 1998). In view of the fact that resources are running out over time, and the extent of environmental damage, governments are prompted to take measures to preserve the environment (Sneddon et al., 2006). Thus, the concept of sustainable development has been emerged and defined as "the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" (Borowy, 2013). Sustainable development examines the relationship between sustainability in the environment, community, and life support and the development of people's life, societies, and economies (Robert et al., 2005). Through sustainable development, it is aimed to reconcile the goals of economic activity and environmental protection (Waas et al., 2011).

Over time, various government agencies, interstate organizations, and non-governmental organizations have come together and put forward legal environmental regulations and action plans. European Green Deal (EGD), announced by the European Commission in the last month of 2019, is one of the most inclusive and up-to-date green deal (Hainsch et al., 2020). The strongest goal of the deal is to be the first climate-neutral continent by 2050 (European Commission, 2019). A shorter-term goal is to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by at least 55% by 2030 compared to 1990 (Wolf et al., 2021). For this purpose, road maps and action plans are prepared in many fields such as agriculture, health, finance, industry, and energy (Eckert & Kovalevska, 2021). The elements of the EGD are shown in Figure 1.

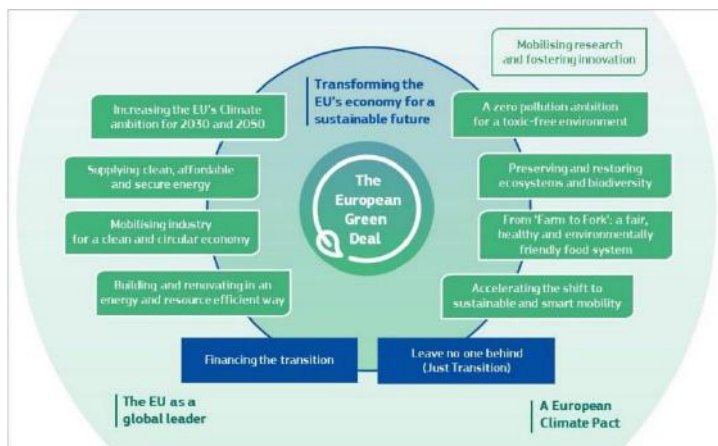


Figure 1. The elements of the EGD (European Commission, 2019)

The actors in the sectors should adopt the strategies determined by the countries within the framework of compliance with the EGD and contribute to the management of the climate crisis (Jäger-Waldau et al., 2020). One of the sectors where revolutionary changes is expected to be experienced are transportation, more specifically logistics activities.

The concept of logistics includes the entire process in which goods and other resources are obtained, stored, and ultimately

transported to their intended destination in order to develop a flow plan (Christopher, 2016). Supply chain management that contributes to cost advantage and customer satisfaction can be created with logistics applications (Yu et al., 2013). Until recently, cost minimization and the desire to increase market share were the major motivations of logistic implementation strategies (Mentzer et al., 2004). Increasing environmental concerns over time have changed the focus of supply chain management of enterprises and the success criteria of logistic activities. Thus, green supply chain management and green logistic (eco-logistics) have become conspicuous concepts (Walton et al., 1998). Green logistic inherently denotes prioritizing the environment in logistics activities (Thiell et al., 2011). Green logistic is part of the broader shift towards Green Supply Chain Management (GSCM). GSCM includes various aspects of the organization's production processes, including green product design, the process of sourcing raw materials, manufacturing, purchasing, and delivery of products and services to consumers (Sarkis, 2003). As green supply chain management becomes widely popular with time, some organizations have already recognized and appreciated the importance of global supply chain management in boosting their profitability while also creating a positive impact on the environment simultaneously.

Making transportation and mobilization ecological is one of the targets of the EGD. Demonstrating the effects of EGD can increase green success in logistic applications. Various tools can be proposed to investigate the interaction between EGD and logistics. In this study, there is a methodological examination of the effects of EGD on the logistic sector and its applications. CIMO-Logic, design science research, is used for analysis. There are numerous studies in the literature using the CIMO-Logic approach. CIMO-Logic was applied to examine internal communication in SMEs (Eskelinen et al., 2017). Nurmala et al. (2017) implemented the approach to collect the literature on partnerships between humanitarian organizations and business enterprises in humanitarian logistics. Similarly, Bălan (2018), Kochan and Nowicki (2018) and de Sousa Junior et al. (2019) used CIMO-Logic for systematic literature review in their studies. In another study, Costa et al. (2018) used CIMO-Logic to a study case including transforming an association in a digital network.

CIMO-Logic is preferred since it is easy to implement, offers decision makers simplicity in evaluation and has a holistic view. It is aimed that the results of the study contribute to the determination and implementation of logistics activities in accordance with the content and objectives of the agreement.

The remainder of the study is structured as follows: The CIMO-Logic approach is introduced in Section 2. The application is included in Section 3. The study ends with discussion and conclusion in Section 4.

## 2. Methodology

Design science research approaches can be used to analyze the current situation, reveal problems, observe solutions and results (Costa et al., 2020). CIMO-Logic was presented in 2008 as design science research (Denyer et al., 2008). CIMO-Logic aims to "template for the creation of solutions for a particular class of field problems" (Denyer et al., 2008). Hence, it allows bringing together different results, appraising causality, and designing propositions (Kajanus et al., 2019). This approach is formed by

combining the initials of the words “Context, Intervention, Mechanism, and Outcome” with the word “logic”. These four components form the basis of the CIMO-Logic approach. Context (C) refers to the first component in which the problem or change occurs. Intervention (I) includes suggested actions. Mechanism (M) reveals the relationship between Intervention and Outcome. Outcomes (O) are those obtained as a result of this analysis (Halminen et al., 2021). These components of CIMO-Logic are presented in Figure 2.

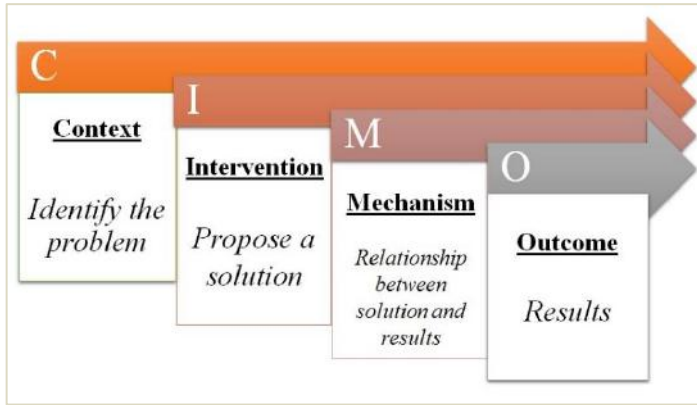


Figure 2. The components of CIMO-Logic

### 3. Application

In this case, the initial context is the problem of climate change, which deeply affects the life and future of all living things in the world. The European continent has witnessed significant consequences of climate change in recent years. The transport sector is one of the biggest contributors to environmental degradation through carbon emissions. The logistic sector relies heavily on road transport to move goods from one place to the other. The transportation sector is one of the most damaging to the environment (Pucher et al., 2005). 29% of total greenhouse gas emissions in the USA come from transportation activities (EPA, 2019). Road vehicles are one of the main causes of greenhouse gas emissions in the transport sector due to fossil fuel consumption and the gases they produce (La Notte et al., 2018). Prior to the enactment of the European Green Deal (EGD), road transportation formed the largest part of managing logistic and general supply chain management in Europe (Hafner & Raimondi, 2020). The context is including the implementation of European Green Deal (EGD), which is comprehensive legislation aimed at reducing the environmental impact of various sectors, including the transport and logistic sector.

The intervention that can be used under the EGD is focusing on railway transport through the TEN-T network that seeks to connect more than 424 cities in Europe (European Commission, 2013). TEN-T is a smart and sustainable network that brings together rail, inland waterways, roads, and short sea shipping routes (Panagakos, 2016). The links connecting the key nodes in this network and the comprehensive network covering all European regions are expected to be completed by 2030 and 2050, respectively (Stoilova et al., 2020). It is anticipated that the TEN-T system drastically reduces travel time for both passengers and freight between the interconnected cities. The TEN-T proposal comes with a draft of action plans and strategies that focus on encouraging more people to rely on trains for cross-border transport and other long-distance journeys (Öberg et al., 2018).

The triggered mechanism in the analysis is to reduce greenhouse gas emissions from transportation by road, air, and sea. It is necessary to reduce and reset the traditional energy consumption consumed. Carbon pollution in human and freight transportation can be prevented with technological vehicles that use renewable fuels and consume low fuel (EPA, 2021). The TEN-T project can contribute to overcoming challenges such as ensuring energy efficiency, reducing environmental impact, and ensuring high-security transportation. Improving the use of existing infrastructure in the project and adapting new technology developments are also within the scope of the project (European Commission, 2013).

Ideally, the intended outcome of the intervention is to have transportation vehicles and networks that reduce carbon emissions to zero and use sustainable energy sources. Thus, it can contribute to making the continent carbon neutral by 2050 and minimizing the adverse consequences of climate change. This increases the importance of the output since the damage to the ecological balance is higher than all other sectors. In a similar vein, the EGD also encourages the production of lithium-ion batteries, which are key components of electric vehicles. This is also seen as one way of making road transportation more eco-friendly.

The CIMO-Logic approach analysis is summarized in Table 1.

Table 1. The CIMO-Logic approach analysis

Abbreviation	Component	Application
<b>C</b>	Context	The transport and logistic sector accounts for 29% of carbon emissions. The EGD legislation offers valuable options for making the sector eco-friendly.
<b>I</b>	Intervention	TEN-T system reduces travel time for both passengers and freight between the major cities.
<b>M</b>	Mechanism	Reducing greenhouse gas emissions and energy consumption.
<b>O</b>	Outcome	Making the continent carbon-neutral by 2050.

### 4. Discussion and Conclusion

With the recently enacted European Green Deal (EGD), it is expected to go a long way in renewing the industry by focusing on green solutions to make the logistic industry environmentally friendly. The concepts, such as green supply chain management and green logistics are likely to be influential in the design and overall management of freight movement across European borders. There are several proposed measures and policies to sensitize European cities to the environmental needs of the day. For instance, focusing on rail transport can help to reduce energy consumption and also increase the safety of people and goods transported over longer distances.

Moreover, another area that needs to be planned is the transportation sector. The targets that can be set by the EU in relation to the transportation sector, which can be considered an integral part of foreign trade, will reflect on both the production and transportation sectors. For this reason, it may be necessary to shift the freight mostly transported by road to environmentally friendly transportation types such as rail and intermodal transportation. As a result, this can ensure that correct design is implemented in logistic centers where freight transfers between types of transportation are facilitated, and on the basis of the sustainability principle, legislation and implementation changes can be made. Investing in environmentally friendly technologies, encouraging these investments, developing and facilitating the physical and legislative infrastructure of transit transportation can be considered as other measures to be taken.

This study uses CIMO-Logic that analyzes context, intervention, mechanism, and outcomes to develop a set of design propositions within each of the themes identified in the research. The findings of the study serve to observe the effects of EGD on transportation and to offer solutions. It was revealed that TEN-T, which is a project compatible with the entry into force of EGD applications, is expected to contribute to creating a zero-carbon continent by preventing carbon pollution caused by transportation. In future studies, using CIMO-Logic, the effects of EGD in different sectors can be evaluated, results can be compared, and more comprehensive results can be obtained.

## References

- Bălan, C. (2018). The disruptive impact of future advanced ICTs on maritime transport: a systematic review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 157-175. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0133>
- Basiago, A. D. (1998). Economic, social, and environmental sustainability in development theory and urban planning practice. *Environmentalist*, 19(2), 145-161. <https://doi.org/10.1023/A:1006697118620>
- Borowy, I. (2013). *Defining sustainable development for our common future: A history of the World Commission on Environment and Development (Brundtland Commission)*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203383797>
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson Uk.
- Costa, E., Soares, A. L., & Sousa, J. P. D. (2018, September). Exploring the CIMO-logic in the design of collaborative networks mediated by digital platforms. In *Working Conference on Virtual Enterprises* (pp. 266-277). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99127-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99127-6_23)
- Costa, E., Soares, A. L., & de Sousa, J. P. (2020). Industrial business associations improving the internationalisation of SMEs with digital platforms: A design science research approach. *International Journal of Information Management*, 53, 102070. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102070>
- de Sousa Junior, W. T., Montevechi, J. A. B., de Carvalho Miranda, R., & Campos, A. T. (2019). Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 526-540. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.073>
- Denyer, D., Tranfield, D., & Van Aken, J. E. (2008). Developing design propositions through research synthesis. *Organization studies*, 29(3), 393-413. <https://doi.org/10.1177/0170840607088020>
- Eckert, E., & Kovalevska, O. (2021). Sustainability in the European Union: analyzing the discourse of the European green deal. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(2), 80. <https://doi.org/10.3390/jrfm14020080>
- Eskelinen, T., Rajahonka, M., Villman, K., & Santti, U. (2017). Improving internal communication management in SMEs: Two case studies in service design. *Technology Innovation Management Review*, 7(6), 16-24.
- European Commission. (2013). *Trans-European Transport Network (TEN-T)*. [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en)
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication_en.pdf)
- Hafner, M., & Raimondi, P. P. (2020). Priorities and challenges of the EU energy transition: From the European Green Package to the new Green Deal. *Russian Journal of Economics*, 6, 374. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.6.55375>
- Hainsch, K., Brauers, H., Burandt, T., Goeke, L., von Hirschhausen, C. R., Kemfert, C., ... & Wealer, B. (2020). *Make the European Green Deal real: Combining climate neutrality and economic recovery* (No. 153). DIW Berlin: Politikberatung kompakt.
- Halminen, O., Chen, A., Tenhunen, H., & Lillrank, P. (2021). Demonstrating the value of digital health: Guidance on contextual evidence gathering for companies in different stages of maturity. *Health Services Management Research*, 34(1), 13-20. <https://doi.org/10.1177/0951484820971447>
- Jäger-Waldau, A., Kougias, I., Taylor, N., & Thiel, C. (2020). How photovoltaics can contribute to GHG emission reductions of 55% in the EU by 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 126, 109836. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109836>
- Kajanus, M., Leban, V., Glavonjić, P., Krč, J., Nedeljković, J., Nonić, D., ... & Eskelinen, T. (2019). What can we learn from business models in the European forest sector: Exploring the key elements of new business model designs. *Forest Policy and Economics*, 99, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.04.005>
- Kochan, C. G., & Nowicki, D. R. (2018). Supply chain resilience: a systematic literature review and typological framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(8), 842-865. <https://doi.org/10.1016/10.1108/IJPDLM-02-2017-0099>
- La Notte, A., Tonin, S., & Lucaroni, G. (2018). Assessing direct and indirect emissions of greenhouse gases in road transportation, taking into account the role of uncertainty in the emissions inventory. *Environmental Impact Assessment Review*, 69, 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.11.008>
- Mentzer, J. T., Min, S., & Bobbitt, L. M. (2004). Toward a unified theory of logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, (34)8, 606-627. <https://doi.org/10.1108/09600030410557758>
- Nurmala, N., de Leeuw, S., & Dullaert, W. (2017). Humanitarian-business partnerships in managing humanitarian logistics. *Supply Chain Management: An International*

- Journal*, 22(1), 82-94. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0262>
- Öberg, M., Nilsson, K. L., & Johansson, C. M. (2018). Complementary governance for sustainable development in transport: The European TEN-T Core network corridors. *Case Studies on Transport Policy*, 6(4), 674-682. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.08.006>
- Panagakos, G. (2016). Green corridors and network design. In *Green transportation logistics* (pp. 123-160). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-17175-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-17175-3_4)
- Pucher, J., Korattyswaropam, N., Mittal, N., & Ittyerah, N. (2005). Urban transport crisis in India. *Transport Policy*, 12(3), 185-198. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.02.008>
- Robert, K. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. A. (2005). What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice. *Environment: science and policy for sustainable development*, 47(3), 8-21. <https://doi.org/10.1080/00139157.2005.10524444>
- Sarkis, J. (2003). A strategic decision framework for green supply chain management. *Journal of cleaner production*, 11(4), 397-409. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00062-8)
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Sneddon, C., Howarth, R. B., & Norgaard, R. B. (2006). Sustainable development in a post-Brundtland world. *Ecological economics*, 57(2), 253-268. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.013>
- Stoilova, S., Munier, N., Kendra, M., & Skrúčaný, T. (2020). Multi-criteria evaluation of railway network performance in countries of the TEN-T orient–east med corridor. *Sustainability*, 12(4), 1482. <https://doi.org/10.3390/su12041482>
- Thiell, M., Zuluaga, J. P. S., Montañez, J. P. M., & van Hoof, B. (2011). Green logistics: Global practices and their implementation in emerging markets. In *Green finance and sustainability: Environmentally-aware business models and technologies* (pp. 334-357). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-531-5.ch018>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2019). *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2021). *Routes to Lower Greenhouse Gas Emissions Transportation Future*. <https://www.epa.gov/greenvehicles/routes-lower-greenhouse-gas-emissions-transportation-future>
- Waas, T., Hugé, J., Verbruggen, A., & Wright, T. (2011). Sustainable development: A bird's eye view. *Sustainability*, 3(10), 1637-1661. <https://doi.org/10.3390/su3101637>
- Walton, S. V., Handfield, R. B., & Melnyk, S. A. (1998). The green supply chain: integrating suppliers into environmental management processes. *International journal of purchasing and materials management*, 34(1), 2-11. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1998.tb00042.x>
- Wolf, S., Teitge, J., Mielke, J., Schütze, F., & Jaeger, C. (2021). The European Green Deal—more than climate neutrality. *Intereconomics*, 56(2), 99-107. <https://doi.org/10.1007/s10272-021-0963-z>
- Yu, W., Jacobs, M. A., Salisbury, W. D., & Enns, H. (2013). The effects of supply chain integration on customer satisfaction and financial performance: An organizational learning perspective. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.023>



# Ni-B-CeO<sub>2</sub> Kompozit Akımsız Kaplamanın Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Isıl İşlem ve Yükün Etkisi

Deniz Gültekin<sup>1\*</sup>, Erhan Duru<sup>2</sup>, Hatem Akbulut<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6941-7539), [dkurt@sakarya.edu.tr](mailto:dkurt@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6205-6566), [erhanduru@sakarya.edu.tr](mailto:erhanduru@sakarya.edu.tr)

<sup>3</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6299-136x), [akbulut@sakarya.edu.tr](mailto:akbulut@sakarya.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083546)

**ATIF/REFERENCE:** Gültekin, D., Duru, E. & Akbulut, H. (2022). Ni-B-CeO<sub>2</sub> Kompozit Akımsız Kaplamanın Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Isıl İşlem ve Yükün Etkisi . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 573-578.

## Öz

Seryum oksit (CeO<sub>2</sub>) partikül takviyeli Ni-B kompozit kaplama CeO<sub>2</sub> partikülleri içeren bir Ni-B kaplama banyosundan akımsız kaplama yöntemi ile üretilmiştir. Akımsız kaplama banyosunda nikel kaynağı olarak nikel sülfat heksahidrat ((NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O)), indirgeyici ajan olarak dimetilamin boran ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NHBH<sub>3</sub>), stabilizatör olarak tiyüre (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>S) ve kompleks oluşturucu olarak da sodyum asetat (CH<sub>3</sub>COONa) kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, CeO<sub>2</sub> partikül takviyeli kaplamanın yapısal karakterizasyonu ve aşınma deney şartlarının tribolojik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Kaplamanın yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı, faz yapısı analizi ise X-ışını kırınımı (XRD) cihazı ile yapılmıştır. Nanosertlik ölçümleri nanoindenter cihazı ve aşınma testleri disk üzerinde bilye test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 3D profilometre kullanılarak aşınmış yüzey analizleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, kaplamanın sertliğinin ısı işlem ile arttığını, bununla birlikte farklı yüklere bağlı olarak tribolojik davranışının değişim gösterdiği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akımsız kaplama, Ni-B kaplama, Kompozit, Aşınma, Triboloji.

## Effect of Heat Treatment and Applied Load on Mechanical and Tribological Properties of Ni-B-CeO<sub>2</sub> Composite Electroless Coating

### Abstract

Cerium oxide (CeO<sub>2</sub>) particle reinforced Ni-B composite coating was produced by electroless coating method from a Ni-B coating bath containing CeO<sub>2</sub> particles. In the electroless plating bath, nickel sulfate hexahydrate ((NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O)) was used as nickel source, dimethylamine borane ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NHBH<sub>3</sub>) as reducing agent, thiourea (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>S) as stabilizer and sodium acetate (CH<sub>3</sub>COONa) as complexing agent. The aim of the study is to investigate the structural characterization of CeO<sub>2</sub> particle reinforced coating and the effects of wear test conditions on its tribological properties. The surface morphology of the coating was performed by scanning electron microscope (SEM), and phase structure analysis was performed by X-ray diffraction (XRD). Nanohardness measurements were carried out with a nanoindenter device, and wear tests were done with a ball-on-disk test device. Worn surface analyzes were made using a 3D profilometer. Experimental results showed that the hardness of the coating increased with heat treatment; however, its tribological behavior changed depending on different loads.

**Keywords:** Electroless coating, Ni-B coating, Composite, Wear, Tribology.

Sorumlu Yazar. [dkurt@sakarya.edu.tr](mailto:dkurt@sakarya.edu.tr)



## 1. Giriş

Akımsız kaplamalar ilk olarak Brenner ve Riddell'in çalışmalarından ortaya çıkmış ve on yıllar boyunca çok daha fazla geliştirme fırsatı bulmuştur (V. Å. Vitry & Delaunois, 2015). Akımsız nikel kaplama yöntemi yüksek sertlik, aşınma ve korozyon direncine sahip kaplamalar üretmek için uygun bir tekniktir ve süneklik, yağlama, lehimleme ve elektriksel özellikler gibi üstün özellikleri nedeniyle mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur (Krishnaveni et al., 2005; Sudagar et al., 2013a). Akımsız Ni-B kaplamalar ise üstün tribolojik özellikleri ve sertliği ile sert krom kaplamalara umut verici alternatiflerdir (Barati & Hadavi, 2020). Ni-B kaplamalar mekanik özellikleri ve kimyasal kararlılığı saf nikel kaplamalardan daha iyidir. Malzemelerin sertliği ve aşınma direnci birbirleriyle önemli ölçüde ilişkilidir. Saf nikel kaplamaların sertliği 450 HV iken Ni-B kaplamaların sertliği özellikle ısıtılardan sonra yaklaşık 1100 HV'ye ulaşabilmektedir.

Kullanılan kimyasallara göre kaplamaların mekanik özelliklerinde bazı farklılıklar olsa da akımsız Ni-B kaplamaların yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve yüksek korozyon direnci gibi özellikleri iyileştirmek için parçacık takviyeleri kullanılarak güçlendirilmiş nikel kompozit kaplamalar geliştirilmektedir (Qu et al., 2006; V. Å. Vitry & Delaunois, 2015). Bu takviye parçacıklı kaplamada bir bariyer görevi görür ve Ni-B matrisinde plastik bir deformasyona neden olarak kaplama sertliğinin artmasına neden olur (Barati & Hadavi, 2020). Georgiza ve diğerleri (Georgiza et al., 2017), nikel-bor akımsız kaplamaların mikrosertliğini iyileştirmek için SiC takviye kullanmış, kaplamanın artan sertliğinin, SiC partiküllerinin ilave edilmesinden dolayı morfoloji değişikliğine sebep olmasından dolayı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Eraslan ve diğerleri (Eraslan & Ürgen, 2015), TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin akımsız kaplamanın sertliği üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında tane modifikasyonu nedeniyle kaplamanın sertliğinin takviye parçacıklara bağlı olarak arttığını bulmuşlardır.

Takviye partikülleri arasında en çekici nadir toprak oksitlerinden biri olan CeO<sub>2</sub>, metalik kaplamaları güçlendirmek, sertlik, aşınma direnci ve korozyon direnci özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. CeO<sub>2</sub> partikül takviyesi kullanan çoğu araştırmacının, akımsız kaplama yerine akımlı kaplama (elektrodepozisyon) yöntemini kullandıkları görülmüştür (Radu et al., 2015; Shakoore et al., 2016). Qu ve diğerleri (Qu et al., 2006), elektrodepozisyon ile ürettikleri Ni-CeO<sub>2</sub> kompozitlerinin daha yüksek mikrosertlik, daha iyi aşınma direnci, gelişmiş korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direnci sağladığını bildirmişlerdir.

Ni-B akımsız kaplamaların yapısal özelliklerini etkileyen bir diğer önemli parametre kaplamaya uygulanan ısıtıl işlemidir (Delaunois et al., 2000). 250-400 °C'de uygulanan ısıtıl işlem prosesi, yarı kararlı nikel boridlerin oluşumu ve ardından kristalleşmesi nedeniyle Ni-B kaplamaların sertliğini önemli ölçüde artırır (Mindivan et al., 2017; Sudagar et al., 2013a). Maksimum sertlik genellikle 400 °C'de yapılan ısıtıl işlemden sonra elde edilir. Bununla birlikte 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda Ni<sub>3</sub>B partikül kümelenmesi nedeniyle sertlikte azalma gözlenir (Delaunois & Lienard, 2002; Mindivan et al., 2017).

Bu çalışmada, akımsız kaplama banyosu kullanılarak üretilen Ni-B-CeO<sub>2</sub> kompozit kaplamanın yapısal ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Kaplamaların üretiminde nikel sülfat heksahidrat, DMAB, sodyum asetat ve tiyoüre bileşimi içeren kurşunsuz banyo kullanılmıştır. Bu banyolar ile üretilen kaplamalar, yüksek sertlik gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Shakoore et al., 2016). Daha da önemlisi kurşun ve talyum gibi ağır metaller içeren stabilizatörler tercih edilmemiş, kaplamalar çevre dostu bir kaplama banyosunda üretilmiştir. CeO<sub>2</sub>, nispeten düşük maliyeti, kimyasal kararlılığı, iyi mekanik özellikleri, yüksek teknoloji uygulamalarında kullanım potansiyeli nedeniyle takviye olarak seçilmiştir. Literatür analizleri dikkate alınarak kristalizasyon ve sertlikteki değişimleri değerlendirmek için kaplamaya 400 °C'de 2 saat ısıtıl işlem uygulanmıştır. Kaplamaya uygulanan ısıtıl işlemin mekanik özelliklere etkisinin yanı sıra aşınma testinde uygulanan yükün tribolojik özelliklere etkileri de incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Altlık Hazırlama

Kaplama işleminde altlık malzeme olarak kullanılmak üzere düşük karbonlu St 42 çelik tercih edilmiştir. Altlıklar kaplama banyosuna daldırılmadan önce sırasıyla mekanik temizleme, alkali temizleme ve asit banyosuna daldırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Mekanik temizleme işleminde yüzey SiC zımpara kâğıdı ile temizlenmiştir. Daha sonra alkali banyoda 10 dakika durulanmış ve son olarak 10 sn %50 HCl içeren asidik bir çözelti içinde daldırılarak yüzey aktif hale getirilmiştir.

### 2.2. Kaplama Banyosunun Hazırlanması

Kaplama banyosunda nikel kaynağı olarak nikel sülfat heksahidrat (NiSO<sub>4</sub>.(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>) kullanılmıştır. İndirgeyici ajan olarak dimetilamin boran ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NHBH<sub>3</sub>), stabilizatör olarak tiyoüre (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>S) ve kompleks yapıcı ajan olarak sodyum asetat (CH<sub>3</sub>COONa) kullanılmıştır. CeO<sub>2</sub> partikülleri (12 g/l) akımsız kaplama banyosuna eklenmeden önce 0,15 g/l sodyum dodesil sülfat (SDS) ile 100 ml distile su içinde ultrasonik bir karıştırıcı ile karıştırılmış, ardından kaplama banyosuna ilave edilmiştir. Yüzey aktif maddeler ikinci faz partiküllerinin ilave edilmesinde önemli bir rol oynadığından, takviye partiküllerinin homojen dağılımını arttırmak için SDS kullanılmıştır. Toplam banyo miktarı 250 ml, pH'ı 6, kaplama süresi 1 saat ve banyo sıcaklığı 70 °C olarak belirlenmiştir.

### 2.3. Isıtıl İşlem

Kaplamanın mekanik özelliklerini geliştirmek için numune bir tüp fırında 5 °C/dk hızında oda sıcaklığından 400 °C'ye ısıtıldıktan sonra 2 saat Argon atmosferi altında ısıtıl işleme tabi tutulmuş ve sonra kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.

### 2.4. Karakterizasyon İşlemleri

Ni-B-CeO<sub>2</sub> kompozit kaplamanın yüzey morfolojisi ve kesit incelemeleri Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDS) donanımlı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı (Jeol JSM 6060LV) ile yapılmıştır. Isıtıl işlem önce ve sonrası kaplamada oluşabilecek kristal yapı değişikliklerini incelemek ve tanımlamak için XRD (Rigaku D / Max 2200 / PC) (Cu Ka radyasyonu ile 10° ila 90° (2θ açısı) aralığında) cihazı kullanılmıştır. Kaplamanın ısıtıl işlem öncesi ve sonrası sertlik ölçümleri nanoindenter (Anton Paar Nanoindentasyon Test Cihazı: NHT3) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler, 10

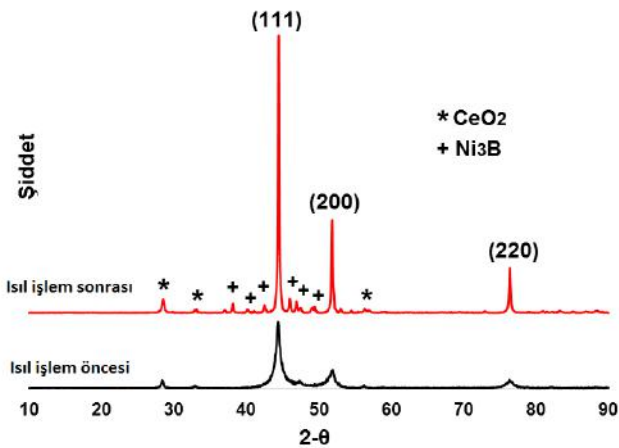
saniye boyunca 50 mN yükte, girintili derinlik kontrollü Berkovitch uç kullanılarak ısıtılma işlem öncesi ve sonrası kaplama kesitinden elde edilmiştir. Ayrıca aşınmış yüzey analizleri, 3D yüzey profilometresi (KLA Tencor P6) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2.4. Aşınma Testi

Kaplamanın tribolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla disk üzeri bilye tribometre (CSM Instruments Tribometer) cihazı kullanılmıştır. Tribolojik testlerde kimyasal ve termal kararlılığı nedeniyle 6 mm çapında alümina karşı bilye malzemesi kullanılmıştır. Kayma mesafesi 400 m, kayma hızı 0,4 m/s ve genlik 20 mm olarak belirlenmiştir. Uygulanan yükün etkisinin incelenmesi amacıyla 2, 5 ve 7 N yükler kullanılmıştır. Testler tamamlandıktan sonra SEM ve EDS ile aşınmış yüzeylerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

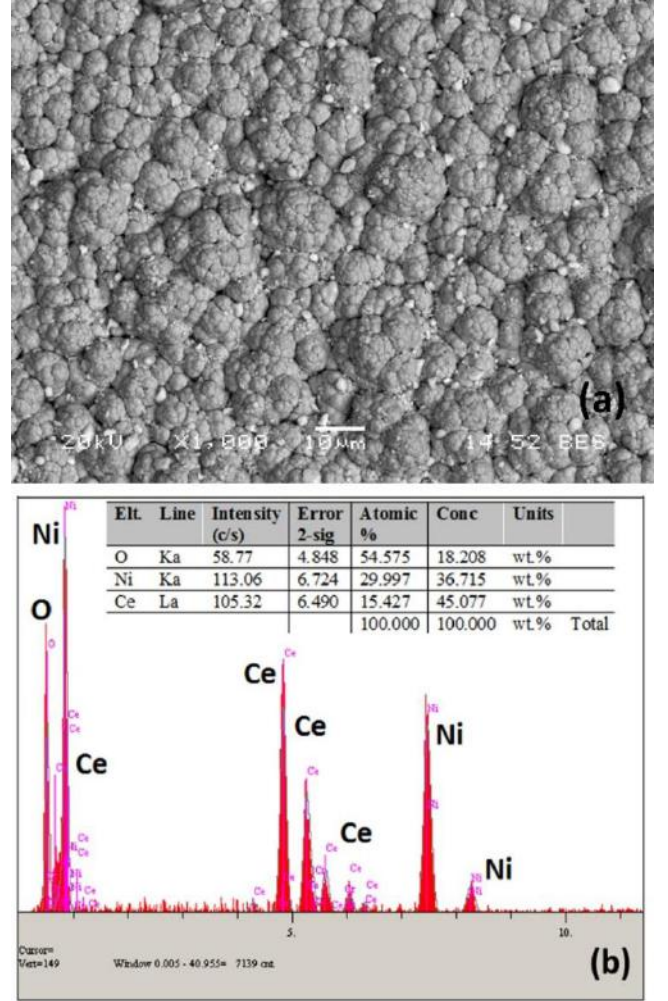
Şekil 1'de verilen Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın ısıtılma işlem öncesi ve sonrası elde edilen XRD sonuçları görülmektedir. Isıtılma işlem öncesi kaplama mikrokristalin nikel ve amorf Ni-B fazlarının karışımı durumundadır. Pik konumları, Ni (JCPDS 01-087-0712) ve CeO<sub>2</sub> (JCPDS 03-065-5923) pikleriyle örtüşmektedir. Ni kırınım pikleri (111), (200) ve (220)'ye karşılık gelen üç tepe noktası literatürle uyumludur (Kasturibai & Kalaignan, 2014). Ayrıca, (\*) simgesi ile belirtilen ~28° ve ~33°deki pikler CeO<sub>2</sub> ile bağlantılıdır. Isıtılma işlem sonrası elde edilen kırınım grafiğine bakıldığında, Ni ve Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının varlığını doğrulayan piklerin yanı sıra Ni<sub>3</sub>B'ye ait pikler de görülmektedir ve bu pikler (+) simgesi ile belirtilmiştir. Ni<sub>3</sub>B birçok araştırmacı tarafından bildirilen ve Ni-B kaplamalarda ısıtılma işleminden sonra oluşması beklenen bir intermetaliktir (Chen et al., 2016; Madah et al., 2015; Yu et al., 2000). Isıtılma işlem sonrası Ni (111) kırınım değerleri Scherrer formülüne yerleştirilmiş ve hesaplanan tane boyutu 25 nm olarak elde edilmiştir.



Şekil 1. Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın ısıtılma işlem öncesi ve sonrası X-ışını kırınım analiz sonuçları

Ni-B-CeO<sub>2</sub> kompozit kaplamanın SEM yüzey morfoloji görüntüsü ve EDS analiz sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur. Genel olarak kaplama çatlaksız bir yapıya sahiptir. Takviyesiz Ni-B kaplamaların karakteristik morfolojisi yoğun karnabahar benzeri bir yapıya sahiptir (Sudagar et al., 2013b). Bununla

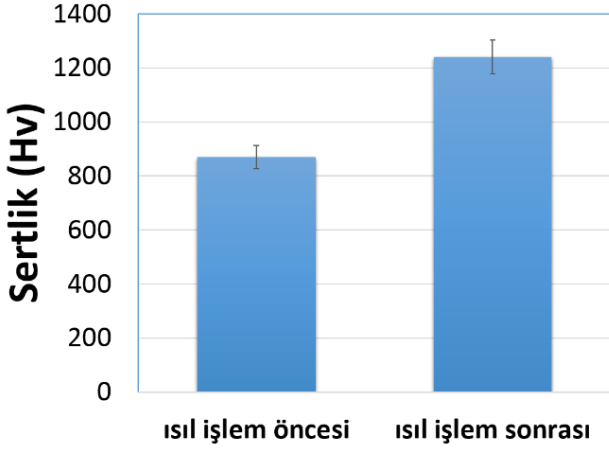
birlikte, matrise dahil edilen takviye partikülleri kaplamaların yüzey morfolojileri üzerinde dikkate değer etkilere sahiptir. Şekil 2(a)'da verilen SEM görüntüsü incelendiğinde, takviye partikül varlığına bağlı olarak karakteristik karnabahar benzeri yapının kısmen elde edildiği görülmektedir. Sisteme eklenen mikron altı parçacıklar akımsız proses için çekirdeklenme merkezi olarak görev yapan aktif bölgeleri artırarak depoziyon prosesini etkiler ve çekirdeklenmeyi artırarak ince taneli yapı oluşumuna katkı sağlar. Şekil 2 (b)'de verilen EDS analiz sonuçlarına bakıldığında kaplama yapısında istenmeyen elementlere rastlanmamıştır.



Şekil 2. Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın a) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü, b) EDS analizi

Kaplamanın sertlik değerleri, altlık malzemenin etkisinden kaçınmak için nanoindentasyon tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Isıtılma işleminden önce ve sonra sertlik değerlerindeki değişimi belirlemek için metalografik olarak hazırlanmış kaplama kesitinden Berkovich uç kullanılarak tarafından ölçülen sertlik sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Sertlik ölçümü 50 mN yük altında yapılmıştır. Şekil 3'de görüldüğü gibi Ni-B-CeO<sub>2</sub> kompozit kaplamada 400 °C'de uygulanan ısıtılma işlem sonrası sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu sertlik artışının ısıtılma işlem süreci ile artan kristalinite ve Şekil 1'de verilen XRD sonuçları ile doğrulanan intermetalik Ni<sub>3</sub>B varlığı nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Pek çok araştırmacı, nikel borürlerin çökmesi nedeniyle sertliğin arttığına dair benzer

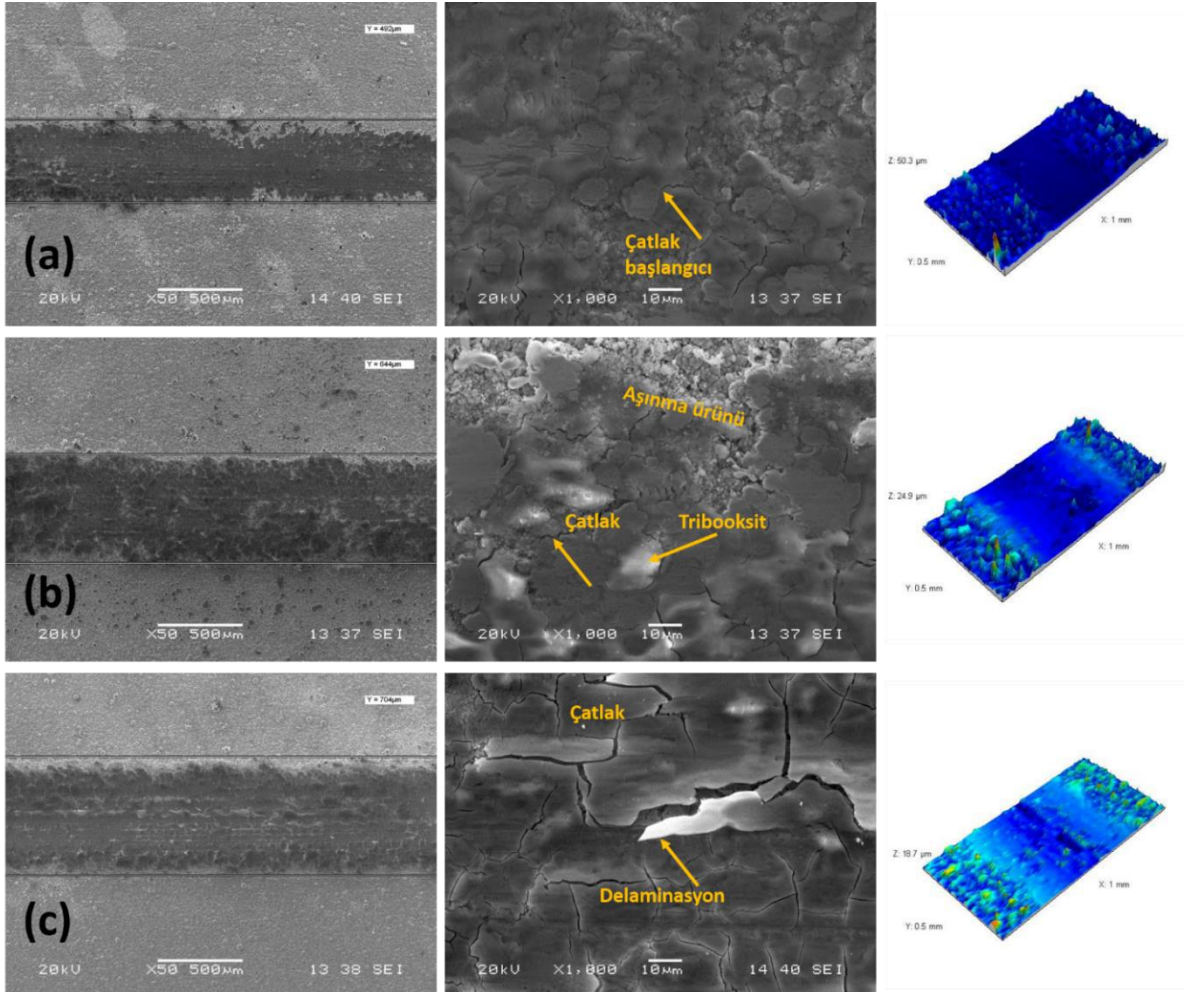
sonuçlar bildirmiştir (Krishnaveni et al., 2005; V. Vitry et al., 2008). Kompozit kaplamada  $Ni_3B$ 'nin sertleştirme etkisinin yanı sıra, takviye partiküllerinin akımsız kaplama banyosuna ilave edilmesi ile tane boyutu azaltır ve tane sınırlarını artırarak dislokasyon hareketini engeller. Böylece, Hall-Petch denklemine dayalı olarak kompozit kaplamalarda yüksek sertlik değerleri elde edilir (Dilek et al., 2021).



Şekil 3. Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın ısıl işlem öncesi ve sonrası sertlik analiz sonuçları.

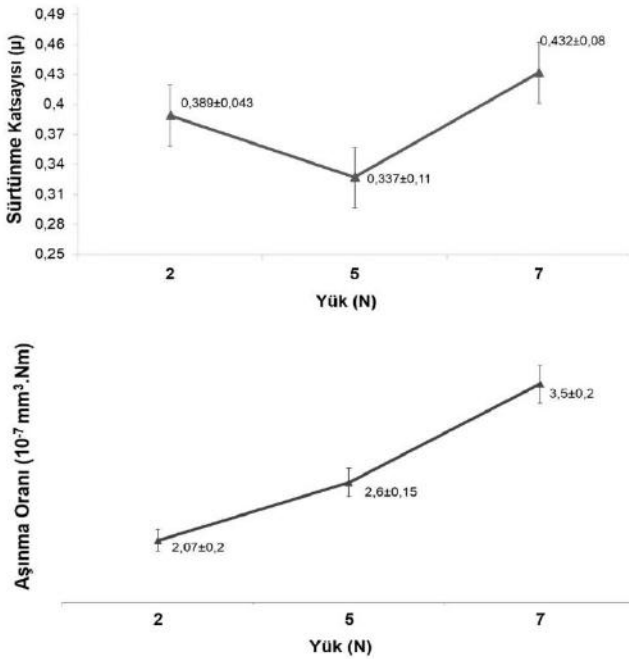
sıra,

400 °C'de 2 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve farklı yüklerde test edilmiş kaplamanın aşınma izlerinin düşük ve yüksek büyütme SEM görüntüleri ile 3D profilometre analiz sonuçları Şekil 4'te görülmektedir. Genel olarak uygulanan yükün artmasına bağlı olarak aşınma iz genişliğinin ve yüzey deformasyonunun arttığı görülmektedir. Kayma sırasında oluşan abrazyif aşınma çizgileri ve kayma yönü boyunca uzanan çatlaklar baskın aşınma mekanizmasının abrazyif aşınma olduğunu göstermektedir. Şekil 4(a)'da verilen 2N yük kullanılarak yapılan aşınma testinden elde edilen sonuçlara bakıldığında, özellikle yüksek büyütmede alınan aşınma yüzey görüntüsünde karnabahar benzeri yapının tepe noktalarının aşındığı, lokal olarak da karşı yüzey ile temas etmeden kalan ve aşınmaya uğramamış yerlerin olduğu görülmektedir. Yükün 5N'a artırılmasıyla kayma yüzeyinde plastik deformasyona bağlı oluşan yüzey altı çatlaklarının birleşerek yüzey çatlak yoğunluğunu arttırdığı ve aşınma ürünlerinin oluştuğu görülmektedir (Şekil 4(b)). Yük 7N'a çıkarıldığında ise yüzeyden madde kaybına sebep olan delaminasyonun meydana gelerek aşınma hasarını arttırdığı görülmektedir. 7N yük uygulanarak aşındırılan numunenin aşınma izi (Şekil 4c) diğer izlere göre daha fazladır. Uygulanan yükün artmasıyla temas yüzey alanı ve böylece kaplamanın aşınma iz genişliği de artar.



Şekil 4. Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın uygulanan farklı yüklere bağlı olarak elde edilen sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri.

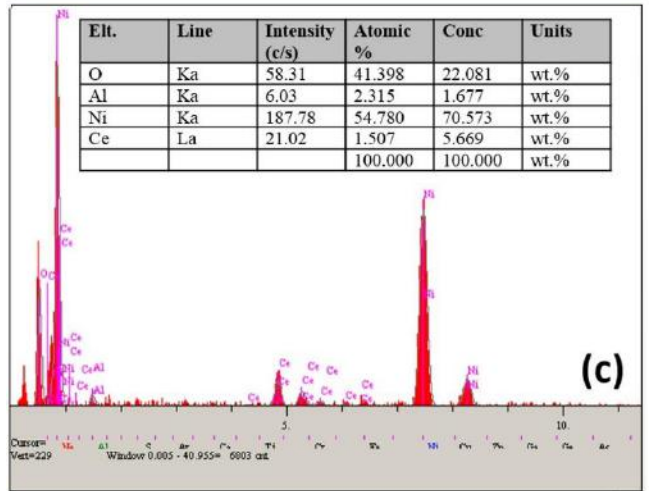
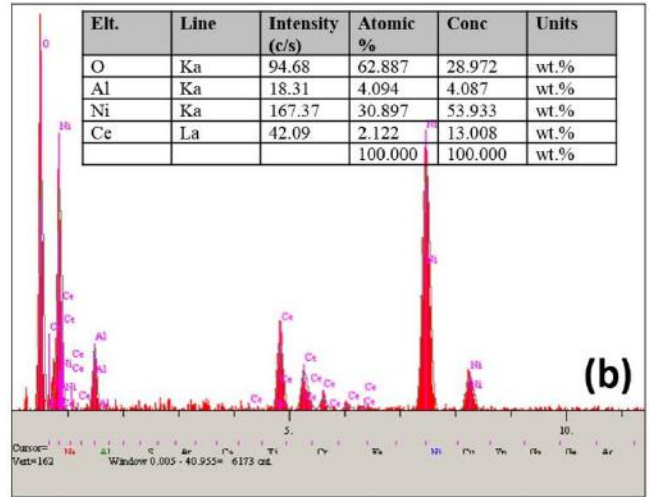
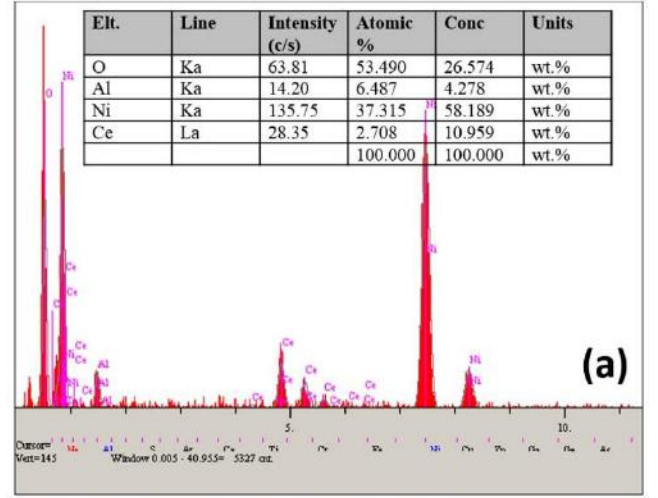
Şekil 5'te verilen sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri Şekil 4' te verilen aşınmış yüzey görüntüleri ve iz genişlikleri dikkate alınarak incelendiğinde, uygulanan yükün artmasının sürtünme katsayısında değişime ve aşınma oranında artışa sebep olduğu anlaşılmaktadır. Uygulanan yükün artmasıyla yüksek temas basıncı ve sürtünme ısıyla tribooksit oluşumu gözlenir ve bu durum sürtünme katsayısının azalmasında etkilidir. Ancak yükün artışına bağlı olarak yüzeyde oluşan koruyucu tribooksit tabakası hasara uğradığında, kompozit malzeme yüzeyinin yük taşıma kapasitesi düşerek yüzeyde ağır abrazif aşınmaya bağlı delaminasyon tabakaları meydana gelir ve kalkarak arayüzeyde birikir. Kaplama içerisindeki sert takviye partikülleri de içeren ve 3 boyutlu aşındırıcı olarak davranan bu aşınma ürünleri arayüzeyde hem sürtünme katsayısının hem de aşınma oranının artmasına yol açmaktadır. Kaplama yüzeyinde oluşan oksit tabakası, temas alanının azaltılmasında önemli rol oynar. Şekilde görüldüğü gibi kompozit kaplamada uygulanan yük 7N'ye çıkarıldığında sürtünme kuvvetine bağlı aşınma oranı ve sürtünme katsayısı artışı daha şiddetli olmaktadır. Böylece yükün artması koruyucu tribooksit tabakasının kırılmasına, çatlakların oluşmasına ve sürtünmenin artmasına neden olur.



Şekil 5. Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın uygulanan farklı yüklere bağlı olarak elde edilen sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, aşınma izlerindeki EDS analizi, aşınan parçalarda Ni, O, Ce ve Al elementlerinin bulunduğunu göstermektedir. Al elementi karşı yüzey olan aşındırıcı bilyeden gelmektedir. 5N yük uygulanan numune, aşınma yüzeyinde diğerlerine göre daha fazla O elementine sahiptir. Uygulanan yükün 7N'ye çıkarılmasıyla oksit miktarının düştüğü tespit edilmiştir. 7N'lük yük kullanıldığında tribooksit tabakasının hasara uğraması ve yüzeyden kalkarak arayüzeyde aşınma ürünü olarak davranması sonucu sürtünme katsayısında ve aşınma miktarında artış meydana gelir. 7N yükte koruyucu oksit tabakasının kırılmaya başlaması, kayganlaştırıcı özellikli kristal borürlerin ve takviye CeO<sub>2</sub> partiküllerinin uygulanan yüke karşı yeterince direnç göstermemesi nedeniyle kaplama yüzeyi ile

karşı yüzey arasındaki temas alanı artmakta ve yüksek aşınmaya neden olmaktadır.



Şekil 6. Ni-B-CeO<sub>2</sub> kaplamanın uygulanan farklı yüklere bağlı olarak aşınmış yüzeylerden elde edilen EDS analizleri a) 2N, b) 5N, c) 7N

#### 4. Sonuç

Ni-B-CeO<sub>2</sub> kompozit kaplamalar, çevre dostu ve uygun maliyetli bir süreçle akımsız kaplama yöntemiyle üretilmiştir. Kaplamanın yapısal, mekanik özelliklerinin ısıl işlem ile

değişimi ve aşınma deney şartlarının tribolojik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan elementer analiz sonucunda Ni, Ce ve O elementlerinin tespiti kompozit kaplamanın başarıyla üretildiğini göstermiştir. Kaplama morfolojisinin yüzey görüntü analizi ile Ni-B kaplamalardaki tipik karnabahar benzeri yapıya benzer bir morfolojinin elde edildiği görülmüştür. Isıl işlem öncesi ve sonrası yapılan sertlik ölçümlerinde kaplamanın sertliğinin ısıl işlem ile arttığı tespit edilmiştir. XRD sonuçlarında ısıl işlem sonrası oluştuğu gözlenen Ni<sub>3</sub>B varlığı yanı sıra homojen olarak dağılmış takviye partiküllerinin tane inceltme etkisi ile sertlik artışı gerçekleşmiştir.

Kompozit kaplama yüzeyi farklı yükler altında aşınma deneyine tabi tutulmuş, uygulanan yüke bağlı olarak tribolojik davranışının değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Kaplama yüzeyi 2N yük ile aşındığında, nikel borürler ve aşınma sırasında temasbasıncı nedeniyle artan sıcaklıkla oluşan Ni-O tabakası ile iyi bir aşınma dayanımı ve nispeten düşük sürtünme değerleri elde edilmiştir. Uygulanan yükün 5N'ye yükseltilmesiyle, kaplama yüzeyinde oluşan tribooksit miktarı artarak en düşük sürtünme katsayısı değerine ulaşılmıştır. Yükün 7N'ye çıkarılmasıyla tribooksitlerin parçalanarak arayüzeye aktarılması abrazyon aşınmaya sebep olmuş ve kaplamanın aşınma hızı ile sürtünme katsayısını artırdığı tespit edilmiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (Hibe No: 2017-31-07-25-001) ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Hibe No. 2016-50-02-007) tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

Barati, Q., & Hadavi, S. M. M. (2020). Electroless Ni-B and composite coatings: A critical review on formation mechanism, properties, applications and future trends. *Surface and Interfaces*, 21(September), 100702. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2020.100702>

Chen, Z., Ma, Z., Song, J., Wang, L., & Shao, G. (2016). A novel approach for the preparation of Ni-CeO<sub>2</sub> composite cathodes with enhanced electrocatalytic activity. *RSC Advances*, 6(65), 60806–60814. <https://doi.org/10.1039/C6RA14667H>

Delaunois, F., & Lienard, P. (2002). Heat treatments for electroless nickel – boron plating on aluminium alloys. *Surface & Coatings Technology*, 160, 239–248.

Delaunois, F., Petitjean, J. ., Lienard, P., & Jacob-Duliere, M. (2000). Autocatalytic electroless nickel-boron plating on light alloys. *Surface and Coatings Technology*, 124(2–3), 201–209. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00621-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00621-0)

Dilek, S., Algül, H., Akyol, A., Alp, A., Akbulut, H., & Uysal, M. (2021). Pulse electro co-deposition of submicron-sized TiC reinforced Ni-W coatings: tribological and corrosion properties. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 00(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/21870764.2021.1911058>

Eraslan, S., & Ürgen, M. (2015). Surface & Coatings Technology Oxidation behavior of electroless Ni – P , Ni – B and Ni – W – B coatings deposited on steel substrates. *Surface & Coatings Technology*, 265, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.01.064>

Georgiza, E., Gouda, V., & Vassiliou, P. (2017). Surface & Coatings Technology Production and properties of composite electroless Ni-B-SiC coatings. *Surface & Coatings Technology*, 325, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.06.019>

Kasturibai, S., & Kalaigian, G. P. (2014). Characterizations of electrodeposited Ni-CeO<sub>2</sub> nanocomposite coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 147(3), 1042–1048. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.06.057>

Krishnaveni, K., Sankara Narayanan, T. S. N., & Seshadri, S. K. (2005). Electroless Ni-B coatings: Preparation and evaluation of hardness and wear resistance. *Surface and Coatings Technology*, 190(1), 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.01.038>

Madah, F., Dehghanian, C., & Amadeh, A. A. (2015). Investigations on the wear mechanisms of electroless Ni-B coating during dry sliding and endurance life of the worn surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 282, 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.09.003>

Mindivan, F., Mindivan, H., & Darcan, C. (2017). Electroless Ni-B Coating of Pure Titanium Surface for Enhanced Tribocorrosion Performance in Artificial Saliva and Antibacterial Activity. *Tribology in Industry*, 39(2), 270–276. <https://doi.org/10.24874/ti.2017.39.02.15>

Qu, N. S., Zhu, D., & Chan, K. C. (2006). Fabrication of Ni-CeO<sub>2</sub> nanocomposite by electrodeposition. *Scripta Materialia*, 54(7), 1421–1425. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2005.10.069>

Radu, T., Dunarea, U., Galati, D. J., Vlad, M., Dunarea, U., Galati, D. J., Istrate, G. G., Dunarea, U., & Galati, D. J. (2015). Preparation and characterization of electroless Ni – P – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite coatings. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 10(September), 1055–1065. [https://www.researchgate.net/profile/Maria-Vlad/publication/281861968\\_Preparation\\_and\\_characterization\\_of\\_electroless\\_Ni-P-Al2O3\\_nanocomposite\\_coatings/links/5601be9a08aeb30ba73555ac/Preparation-and-characterization-of-electroless-Ni-P-Al2O3-nanocomposite](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Vlad/publication/281861968_Preparation_and_characterization_of_electroless_Ni-P-Al2O3_nanocomposite_coatings/links/5601be9a08aeb30ba73555ac/Preparation-and-characterization-of-electroless-Ni-P-Al2O3-nanocomposite)

Shakoor, R. A., Kahraman, R., Gao, W., & Wang, Y. (2016). Synthesis , Characterization and Applications of Electroless Ni-B Coatings-A review. *International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE*, 11, 2486–2512. <http://www.electrochemsci.org/papers/vol11/110302486.pdf>

Sudagar, J., Lian, J., & Sha, W. (2013b). Electroless nickel , alloy , composite and nano coatings – A critical review. *Journal of Alloys and Compounds*, 571, 183–204. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.03.107>

Vitry, V. Ä., & Delaunois, F. (2015). 7. Nanostructured electroless nickel-boron coatings for wear resistance. In *Anti-Abrasive Nanocoatings*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-211-3.00007-8>

Vitry, V., Delaunois, F., & Dumortier, C. (2008). Mechanical properties and scratch test resistance of nickel-boron coated aluminium alloy after heat treatments. *Surface and Coatings Technology*, 202(14), 3316–3324. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.12.001>

Yu, X., Wang, H., Yang, Z., Yin, P., & Xin, X. (2000). XPS and AES investigation of two electroless composite coatings. *Applied Surface Science*, 158(3), 335–339. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(00\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(00)00114-8)



# Nesnel, Öznel ve Bütünleşik Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması: COVID-19 Uygulaması

Zeynep Büşra Keskin<sup>1</sup>, Elif Kılıç Delice<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7510-7131),  
zyynppoztrk@hotmail.com

<sup>2</sup> \*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3051-0496),  
elif.kdelice@atauni.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083549)

**ATIF/REFERENCE:** Keskin, Z.B., Delice, E.K. (2022). Nesnel, Öznel ve Bütünleşik Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması: COVID-19 Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 579-584.

## Öz

Performans ölçüm problemlerinde, karar verme sürecinde etkili olan kriterler genellikle farklı özelliklere ve önem düzeylerine sahiptir. Bu kriterleri önem düzeylerine göre sıralayabilmek için çeşitli ağırlıklandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, OECD ülkelerinin COVID-19 salgını ile mücadele performanslarını etkileyen girdi ve çıktı kriterleri, nesnel ağırlıklandırma yöntemi olan CRITIC ve öznel ağırlıklandırma yöntemi olan bulanık SWARA ile ağırlıklandırılmış, daha sonra bu iki yöntemden elde edilen ağırlık değerleri SOWIA yöntemi ile birleştirilerek bütünleşik ağırlık değerleri elde edilmiştir. Böylece nesnel, öznel ve bütünleşik ağırlıklandırma yöntemleri karşılaştırılmış, salgın ile mücadelede hangi girdi ve çıktı kriterlerinin daha önemli olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 1000 kişi başına doktor, hemşire ve hastane yatağı sayısı, 100.000 nüfus başına yoğun bakım yatak sayısı, sağlık harcamalarının GSYİH içindeki oranı, 65 yaş üstü kişi sayısının toplam nüfus içindeki oranı, kırsal nüfus oranı, şeker hastalığı yaygınlık oranı, nüfus yoğunluğu, milyon kişi başına aşı ve test sayıları girdi kriterleri olarak alınırken; milyon kişi başına vaka, iyileşen ve ölen sayıları çıktı kriterleri olarak alınmıştır. CRITIC yöntemine göre nüfus yoğunluğu ve iyileşen sayısı en önemli girdi ve çıktı kriterleridir. Bulanık SWARA yöntemine göre yoğun bakım yatak kapasitesi en önemli girdi, vaka sayısı ise en önemli çıktı kriteri olmuştur. SOWIA yöntemi ile elde edilen birleştirilmiş ağırlıklara göre ise en önemli girdi yoğun bakım yatak kapasitesi, en önemli çıktı kriteri vaka sayısı olmuştur. Uygulamada kullanılan nesnel ve öznel ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. Bu nedenle hem nesnel hem öznel ağırlıklandırma yöntemlerinin etkilerini dikkate alarak kriter ağırlıklarının bulunması tek ve nihai bir sonuca ulaşılması için tercih edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, OECD, CRITIC, Bulanık SWARA, SOWIA

## Comparison of Objective, Subjective and Integrated Criteria Weighting Methods: COVID-19 Application

### Abstract

In performance measurement problems, the criteria that are effective in the decision-making process usually have different characteristics and levels of importance. Various weighting methods have been developed to rank these criteria according to their importance levels. In this study, the input and output criteria affecting the performance of OECD countries in combating the COVID-19 epidemic were weighted with the objective weighting method CRITIC and the subjective weighting method fuzzy SWARA. Then, the weight values obtained from these two methods were combined with the SOWIA method, and the integrated weight values were obtained. Thus, the objective, subjective and integrated weighting methods are compared, which input and output variables are more important in the fight against the pandemic are determined. The number of doctors, nurses, hospital beds per 1000 people, the number of intensive care beds per 100,000 population, the rate of health expenditures in GDP, the rate of people over 65 years old in the population, rural population rate, diabetes prevalence rate, population density, the number of vaccines and tests per million people were used as input criteria, and the number of cases, recovered, and died per million people were used as output criteria. Thus, objective, subjective and integrated weighting methods were compared and it was determined which input and output criteria were more important in the fight against the pandemic. According to the CRITIC method, population density and the number of recoveries are the most important input and output criteria. According to the fuzzy SWARA method, intensive care bed capacity was the most important input, and the number of cases was the most important output criterion. According to the combined weights obtained by the SOWIA method, the most important input was the intensive care bed capacity, and the most important output criterion was the number of cases. The results obtained with the objective and subjective weighting methods used in practice differ. Therefore, considering the effects of both objective and subjective weighting methods, it may be preferable to find criterion weights to reach a single and final result.

**Keywords:** COVID-19, OECD, CRITIC, Fuzzy SWARA, SOWIA

\* Sorumlu Yazar: [elif.kdelice@atauni.edu.tr](mailto:elif.kdelice@atauni.edu.tr)

## 1. Giriş

Karar verme, hayatın her anında karşılaşılabilen iki veya daha fazla alternatif arasından seçim yapma ya da belirlenen amaç veya hedefe ulaşmak için alternatif durumlar arasından seçim yapma eylemi olarak tanımlanır (Forman ve Selly,2001; Harris,1998). Karar vermede tek bir kriter olduğunda kişinin o kritere göre karar vermesi kolaydır fakat kişilerin günlük yaşamlarında karşılarına çıkan karar verme sorunları, genellikle ikiden fazla ve birbiriyle çelişen karmaşık kriterlere sahiptir. Kriter sayısı arttıkça kişilerin karar vermesi için yapılan işlemler çoğalmakta dolayısıyla karar verme zorlaşmaktadır (Cengiz,2012).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve problemin çözümü için uygun modelin seçilmesi önemli iki sorundur. Problem için hangi modelin uygulanması ve ağırlıklandırma için en uygun yöntemin belirlenmesine yönelik literatürde fikir birliği bulunmamaktadır (Demir ve Bircan,2020). Kriterler ağırlıklandırılırken amaç, kriterleri bir değerle eşleştirmek ve kriterlerin karar problemlerindeki göreceli önemini belirlemektir (Güler,2021).

Karar verme sürecinde önemli rolü olan, öznel veya nesnel yapıya sahip birbirleri ile çelişebilen kriterlerin farklı önem derecelerine sahip oldukları düşünülürse; bu kriterlerin ağırlıklandırılarak önem seviyelerinin belirlenmesi kaçınılmazdır. Bunun için öznel ve nesnel ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Öznel ağırlık belirleme yöntemlerinde kriterlerin önem seviyeleri karar vericiler tarafından belirlenir. Nesnel ağırlık belirleme yöntemleri ise kişisel görüşe yer vermeyen, objektif sonuçlar ortaya koyan ve bunun için matematiksel modellerden faydalanan yöntemlerdir. Nesnel ağırlık belirleme yöntemlerinde uzman karar vericilerin görüşlerinden faydalanma imkânı yokken öznel yöntemlerde karar vericilerin görüşlerinden kaynaklı hatalar olabilir. Öznel ve nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinin söz konusu dezavantajları bu yöntemlerin birlikte kullanımı ile giderilebilir. Bu bağlamda çalışma kapsamında kriter ağırlıklarının belirlenmesi için nesnel ağırlıklandırma yöntemi olan CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), öznel ağırlıklandırma yöntemi olan bulanık SWARA (Fuzzy Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis) ve bütünleşik ağırlıklandırma yöntemi olan SOWIA (Subjective and objective weight integrated approach) birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) ülkeleri için COVID-19 salgını ile mücadelede en önemli girdi ve çıktı kriterleri bu üç yöntemle ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. 1 Aralık 2019 tarihinde Çin'in Hubei bölgesinin başkenti olan Wuhan'da ortaya çıkan ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından 11 Mart 2020 de küresel salgın olarak ilan edilen COVID-19 salgını da tüm dünyada ekonomiden sosyal hayata turizm faaliyetlerinden ticari faaliyetlere kadar birçok alanda olağanüstü etkilere ve yeni dünya düzeni diye adlandırılan bir dönemin başlamasına sebep olmuştur. Daha önceki salgınlara oranla üreme oranı çok daha fazla olan COVID-19 salgınına kontrol altında tutmak için sağlık kuruluşlarının kapasitesi ve performansı daha önemli bir hale gelmiştir. Bu nedenle, sağlık kuruluşlarının kapasite ve performansını etkileyen girdi ve çıktı kriterlerinin önem düzeylerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışma ile, COVID-19 salgını ile mücadelede hangi girdi ve çıktı kriterlerinin daha önemli olduğu ortaya çıkarılarak ve daha önceki çalışmalara göre daha fazla kriterin etkisi incelenerek literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür, üçüncü bölümde kullanılan yöntemler, dördüncü bölümde uygulama ve son bölümde tartışma ve sonuç kısmı yer almaktadır.

## 2.Literatür Taraması

CRITIC, Bulanık SWARA ve SOWIA yöntemi ile ilgili yapılan literatür araştırması sonucunda bu yöntemler ile elde edilen kriter ağırlıklarının farklı ÇKKV yöntemleri tarafından çeşitli seçim ve sıralama problemlerinin çözümü için kullanıldığı görülmüştür. CRITIC yönteminin COVID-19 ile ilgili iki çalışmada kullanıldıkları fakat üç yöntemin kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacı ile birlikte herhangi bir çalışmada kullanılmadıkları belirlenmiştir. Zolfani vd. (2020) COVID-19 salgını sırasında geçici hastane yerlerini belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmada kriter ağırlıklarını belirlemek için CRITIC yöntemini kullanmışlardır.Gupta vd. (2021) COVID-19 salgını sırasında kentsel alanlarda meydana gelen stres çeşitlerinin ağırlıklarını belirlemek için CRITIC yöntemini kullanmışlardır.

Literatür incelendiğinde çeşitli ÇKKV yaklaşımları ile nesnel ve öznel ağırlıklandırma yöntemlerini bir arada veya ayrı ayrı kullanan çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Örneğin; Akçakanat vd. (2018) bankaların performanslarını ölçmek amacı ile gerçekleştirdikleri çalışmada kriter ağırlıklarını Modifiye Edilmiş Dijital Mantık (MDL) ve CRITIC yöntemi ile belirlemişlerdir. Elde edilen ağırlıklar EDAS (Evaluation by Average Solution Distance) yönteminde kullanılmış etkinlik sıralaması aynı bulunmuştur. Çırak (2018) işletmelerin finansal performansları için önemli olan kriterleri nesnel ve öznel ağırlıklandırma yöntemleri ile ayrı ayrı ağırlıklandırmışlardır. Nesnel yöntemlerden Entropi, CRITIC, Standart Sapma, Eşitlik Ağırlık yöntemi, öznel yöntemlerden AHP yöntemi kullanılmıştır. Durmuş ve Tayyar (2017) AHP (Analytical Hierarchy Process) TOPSIS (The Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution) yöntemleri ile İkili Karşılaştırma, MAX100 ve SWARA yöntemlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar SWARA ve MAX100 yöntemlerinin İkili Karşılaştırma yöntemine göre karar verici görüşlerine daha yakın sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Gül (2021) çalışmasında hastane yeri seçim problemi için sezgisel bulanık sayılar aracılığı ile uzman görüşlerinden faydalanmıştır. Uzman görüşlerindeki öznellik durumunu sınırlandırmak için ise nesnel yöntemlerden olan OWA (Ordered Weighted Averaging) yöntemini kullanmıştır. Güler (2021) Türkiye'deki devlet ve Üniversite hastanelerinin verilerini MAX100, SWARA, AHP, ENTROPY, DEMATEL (Decision Making Experiment and Evaluation Laboratory Method), KEMIRA-M (KEmeny Median Indicator Rank Accordance-Modified) ve CRITIC yöntemleri ile ağırlıklandırmışlar daha sonuçları Coopeland yöntemi ile birleştirerek tek bir ağırlık elde etmişlerdir. Bütünleşik ağırlık değerlerine en yakın olan sonuç AHP yöntemine ait çıkmıştır. Deng vd. (2000) tekstil şirketlerinin performanslarının karşılaştırılması için kullanılan kriterleri nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinden olan CRITIC, ENTROPİ, Standart Sapma ve Ortalama Ağırlık yöntemleri ağırlıklandırmış ve TOPSIS yöntemi ile kullanmışlardır. Ardakani vd. (2016) ÇKKV'de ağırlıklandırma yöntemlerinin etkisi üzerine bir çalışma yaparak nesnel ve öznel yöntemleri karşılaştırmışlardır. Entropi, CRITIC ve MDL yöntemi kullanılan nesnel yöntemler olarak alınırken, NL (Numeric Logic) ve ADL (Adjustable Mean Bars) yöntemleri ise

öznel yöntemler olarak kullanılmıştır. NL yönteminin, MDL yöntemi ile kıyaslandığında kriterlere atanan ağırlıkların doğruluğunu arttırdığı tespit edilmiştir.

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde CRITIC, Bulanık SWARA ve SOWIA yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1.CRITIC Yöntemi

Bütün kriterlere ait özellikler çoğu zaman birbirleri ile aynı değildir. Kriterlere ait özellikler farklı olduğu için de her bir kriter için ağırlıklandırma yapılmalıdır (Demircioğlu ve Coşkun,2018). Bu amaçla öznel ve nesnel ağırlıklandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Sonuçların karar verici yorumlarından uzak ve objektif olması isteniyorsa nesnel ağırlıklandırma yöntemlerine başvurulur. Diakoulaki vd. (1995) tarafından 1995'te literatüre kazandırılmış olan CRITIC yöntemi, karar vericilerin görüşlerine yer vermeden, girdi ve çıktı kriterlerine ait veriler ile kriterlerin korelasyon değerlerini ve standart sapmalarını kullanarak nesnel bir sonuç ortaya koyan objektif bir ağırlıklandırma yöntemidir. Yöntem ile elde edilen ağırlıklar her bir kriterin hem zıtlık yoğunluğunu hem de kriterler arasındaki çelişkiyi içermektedir (Akçakaya ve Ömürbek,2021). CRITIC yöntemi aşağıda belirtilen aşamalardan oluşmaktadır (Ömürbek vd.,2021).

İlk olarak  $i = 1, 2, \dots, m$  ve  $j = 1, 2, \dots, n$  olmak üzere  $m$  tane alternatif  $n$  tane kriterle göre değerlendirilerek girdi ve çıktı kriterleri için başlangıç karar matrisi Eşitlik (1)'deki gibi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada;  $x_{ij}$ ;  $i$ . alternatifin  $j$ . kriterle göre aldığı değeri göstermektedir. Fayda ve maliyet kriterleri için sırası ile Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) kullanılarak başlangıç karar matrisi normalize edilir ve normalize karar matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

$x_j^{\min}$ ;  $j$ . kriterle ait en küçük değeri ve  $x_j^{\max}$ ;  $j$ . kriterle ait en yüksek değeri göstermektedir.

Eşitlik (4) yardımı ile herhangi iki kriter arasındaki korelasyon değerleri hesaplanarak kriterler arasındaki ilişki derecelerine bakılır.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$p_{jk}$  değeri kriter çiftleri arasındaki korelasyon katsayısını gösterir. Her bir kriterdeki toplam bilgi miktarı  $C_j$  Eşitlik (5) yardımı ile hesaplanır. Her bir kriteri için standart sapma değerini gösteren  $\sigma_j$  değeri ise Eşitlik (6) yardımı ile hesaplanır.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - p_{jk}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 / m} \quad (6)$$

Son olarak; belirlenen kriterlerin ağırlıkları Eşitlik (7) yardımı ile hesaplanır.

$$W_{jc} = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$W_{jc}$ ; CRITIC yönteminden elde edilen kriter ağırlıklarını ve  $\sum_{k=1}^n C_k$  ise tüm kriter değerlerinin toplamını ifade eder.

#### 3.2.Bulanık SWARA Yöntemi

Bulanık SWARA, SWARA metodunda karşılaştırmaların yapılması esnasında bulanık ifadelerin kullanıldığı öznel bir ağırlıklandırma yöntemidir. Bulanık mantık üzerine kurgulanmış olan Bulanık SWARA metodu, karar verirken yaşanan zorlukların ve etkenler nedeniyle karmaşıklaşan değerlendirme sürecinin daha etkin ve gerçeğe yakın şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır (Şengül ve Çağıl,2020). Çalışmada girdi ve çıktı verilerinin tam ve doğru bir şekilde belirlenemeyebileceği göz önüne alınarak ve alanında uzman kişilerin de görüşlerinden faydalanabilmek adına bulanık SWARA yöntemi tercih edilmiştir. Bulanık SWARA yönteminin adımları aşağıda belirtildiği gibidir (Çerçi,2020).

İlk olarak, bütün değerlendirme kriterleri karar verici(ler) tarafından en yüksek önem düzeyinden en düşük önem düzeyine doğru sıralanır. Tablo 1 göre  $j$ . kriterin kendisinden daha yüksek önem seviyesine sahip  $j-1$ . kriterle göre kıyaslaması yapılarak görelî önem düzeyleri hesaplanır.  $\tilde{S}_j$ ; görelî önem düzeyini ifade eder ve  $\tilde{S}_j = (\tilde{S}_j^l, \tilde{S}_j^m, \tilde{S}_j^u)$  şeklinde tanımlanır.

Tablo 1. Dilsel değişkenler tablosu

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayı (l, m, u)
Eşit Önemli (EÖ)	(1,1,1)
Orta Derecede Daha Az Önemli (OÖ)	(2/3,1, 3/2)
Daha Az Önemli (DÖ)	(2/5,1/2,2/3)
Çok Daha Az Önemli (ÇDÖ)	(2/7, 1/3,2/5)
Oldukça Az Önemli (OAÖ)	(2/9,1/4,2/7)

Bütün kriterler için Eşitlik (8) kullanılarak  $\tilde{k}_j$  şeklinde gösterilen katsayı değeri hesaplanır. Daha sonra, bütün kriterler için, Eşitlik (9) kullanılarak  $\tilde{q}_j$  şeklinde gösterilen ara ağırlık değerleri hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \tilde{S}_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\tilde{k}_j = (\tilde{k}_j^l, \tilde{k}_j^m, \tilde{k}_j^u)$$

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\tilde{q}_j = (\tilde{q}_j^l, \tilde{q}_j^m, \tilde{q}_j^u)$$

Son olarak, bulanık SWARA yönteminden elde edilen kriter ağırlık değerleri  $\tilde{w}_{js}$  Eşitlik (10) yardımı ile aşağıdaki gibi



hesaplanır. Bulanık ağırlık değerleri, Eşitlik (11) kullanılarak bulanık olmayan deterministik değerlere ( $W_{js}$ ) dönüştürülür.

$$\tilde{w}_{js} = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \quad (10)$$

$$\tilde{w}_{js} = (\tilde{w}_{js}^l, \tilde{w}_{js}^m, \tilde{w}_{js}^u)$$

$$W_{js} = \frac{(w_j^u - w_j^l) + (w_j^m - w_j^l) + (w_j^l)}{3} \quad (11)$$

### 3.3.SOWIA Yöntemi

SOWIA yöntemi öznel ve nesnel ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilmiş ağırlıkların kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu yöntemde, nesnel ve öznel ağırlıklar birleştirilerek tek bir ağırlık elde edilir. SOWIA yöntemi aşağıdaki aşamalardan oluşur (Zaher vd., 2018)

İlk olarak; CRITIC yönteminde Eşitlik (1)'de gösterildiği gibi başlangıç karar matrisi oluşturulur. Daha sonra, karar matrisi Eşitlik (12) kullanılarak normalize edilir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (12)$$

$x_{ij}^*$ ,  $x_{ij}$  nin normalize edilmiş değeridir.  $\sum_{i=1}^m x_{ij}$ , m sayıda alternatif için j. öznelitektir değerlerinin toplamıdır.

Daha sonra, nesnel kriter ağırlıkları ( $O_j$ ) ve öznel kriter ağırlıkları ( $S_j$ ) belirlenir. Nesnel kriter ve öznel kriter ağırlıkları birleştirilerek Eşitlik (13) yardımı ile bütünleşik ağırlıklar ( $W_{jb}$ ) elde edilir.

$$W_{jb} = \alpha O_j + (1 - \alpha) S_j \quad (13)$$

$\alpha$  değeri nesnel faktör karar ağırlığı olarak bilinir ve 0 ile 1 arasında değer alabilir.  $O_j$  ve  $S_j$ ; 0 ile 1 arasında değer alabilirler.

## 4. Uygulama

Bu bölümde, OECD ülkeleri için uygulama yapılmıştır. OECD ekonomi konusunda uzmanlaşmış kişilerden oluşan uluslararası bir istişare kuruluşudur (OECD, 2019). OECD'ye üye ülkelerin verilerine ulaşmanın mümkün olması nedeniyle uygulama bu ülkeler üzerinde yapılmıştır. Bununla birlikte, OECD ülkelerinden olan Kolombiya, Kosta Rika, Macaristan ve İsrail için bazı kriterlere ait verilerin elde edilememesi nedeni ile bu ülkeler dışında kalan 34 ülke uygulamada yer almıştır.

Çalışmada; doktor sayısı ( $G_1$ ), hemşire sayısı ( $G_2$ ), sağlık harcamalarının GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hasıla) içindeki oranı ( $G_3$ ), yoğun bakım yatak sayısı ( $G_4$ ), hastane yatağı sayısı ( $G_5$ ), 65 yaş üstü kişi sayısının toplam nüfus içindeki oranı ( $G_6$ ), kırsal nüfus oranı ( $G_7$ ), şeker hastalığı yaygınlık oranı ( $G_8$ ), nüfus yoğunluğu ( $G_9$ ), milyon kişi başına düşen aşı ( $G_{10}$ ) ve test sayısı ( $G_{11}$ ) girdi kriterleri olarak alınırken; iyileşen sayısı ( $C_1$ ), ölen sayısı ( $C_2$ ) ve vaka sayısı ( $C_3$ ) ise çıktı kriterleri olarak alınmıştır.

Girdi kriterlerine ait verilerin elde edilmesi için OECD (OECD,2021) ve Türkiye sağlık istatistikleri raporu, Dünya Bankası (World Bank,2021) ve Our World in Data (Our World in Data,2021) COVID-19 istatistiklerinden faydalanılmıştır. Çıktı kriterlerine ait veriler ise Worldometers (Worldometers,2021)

COVID-19 istatistiklerinden elde edilmiştir. Girdi ve çıktı kriterlerine ait istatistikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Girdi ve Çıktı Kriterlerine ait Genel İstatistik Tablosu

Kriterler	Ortalama Değer	Maksimum Değer	Minimum Değer
$G_1$	4,23	23,03	1,95
$G_2$	9,43	18,05	2,4
$G_3$	9,45	16,8	4,3
$G_4$	10,34	48	0,6
$G_5$	4,52	12,84	0,97
$G_6$	17,82	28,13	7,24
$G_7$	21,72	46,2	1,9
$G_8$	6,48	13,5	3,2
$G_9$	134,84	529,19	3,24
$G_{10}$	1280934	1830000	870
$G_{11}$	2354277	14675179	85856
$C_1$	76169	155518	912
$C_2$	1341	2855	6
$C_3$	84467	161671	1164

$G_1, G_2$  ve  $G_5$  kriterleri 1000 kişi için,  $G_4$  girdi kriteri ise 100.000 kişi için belirlenmiştir.

CRITIC yönteminde Eşitlikler (1)-(7) kullanılarak  $W_{jc}$  değerleri belirlenirken, bulanık SWARA yönteminde Eşitlikler (8)-(11) kullanılarak  $W_{js}$  değerleri belirlenmiştir. Bulanık SWARA yöntemi ile ağırlıklar belirlenirken 5 adet uzmanın görüşlerinden faydalanılmıştır. CRITIC yöntemi ile belirlenen ağırlıklar ise tamamen nesnel sonuçlar içerir. Daha sonra, SOWIA yönteminde Eşitlik (13)'de  $O_j$  değerleri yerine  $W_{jc}$  değerleri ve  $S_j$  değerleri yerine  $W_{js}$  değerleri kullanılarak  $W_{jb}$  değerleri elde edilmiştir Tablo 3'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Kriterlere Ait Ağırlık Değerleri

Girdi Kriterleri	$W_{jc}$	$W_{js}$	$W_{jb}$
$G_1$	0,063	0,089	0,082
$G_2$	0,097	0,027	0,061
$G_3$	0,074	0,096	0,093
$G_4$	0,095	0,435	0,249
$G_5$	0,097	0,087	0,092
$G_6$	0,089	0,086	0,088
$G_7$	0,112	0,004	0,058
$G_8$	0,090	0,0105	0,061
$G_9$	0,113	0,0101	0,049
$G_{10}$	0,089	0,144	0,120

$G_{11}$	0,076	0,007	0,041
<b>Çıktı Kriterleri</b>	$W_{jc}$	$W_{js}$	$W_{jb}$
$C_1$	0,457	0,157	0,307
$C_2$	0,250	0,392	0,322
$C_3$	0,291	0,450	0,371

CRITIC yöntemi sonuçlarına göre  $G_9$  (nüfus yoğunluğu) en önemli ağırlığa sahip olan girdi kriteri iken  $C_1$  (iyileşen sayısı) en önemli çıktı kriteri olmuştur. Bulanık SWARA yönteminde girdi kriterlerinden  $G_4$  (yoğun bakım yatak kapasitesi), çıktı kriterlerinden  $C_3$  (vaka sayısı) en fazla öneme sahip kriterlerdir. SOWIA yöntemi ile elde edilen bütünleşik sonuçlara göre ise en önemli çıktı kriteri  $C_3$  (vaka sayısı), en önemli girdi kriteri ise  $G_4$  (yoğun bakım yatak kapasitesi) kriteridir.

CRITIC yönteminin sonuçlarına göre kırsal nüfus oranı, nüfus yoğunluğundan sonra en önemli kriterdir. Bulanık SWARA yöntemine göre ise yoğun bakım yatak kapasitesinden sonra en önemli kriter aşı sayısıdır. Doktor sayısı kriteri CRITIC yönteminde son sırada yer almıştır. CRITIC yöntemine göre en önemli çıktı kriteri iyileşen sayısı iken entegre SOWIA sonuçlarında iyileşen sayısı kriteri son sıradadır.

SOWIA yöntemi sonuçlarına göre vaka sayısı çıktı kriteri en önemli kriterdir. Bunu ölen sayısı ve iyileşen sayısı takip eder. Vaka sayısı ne kadar az olursa ölen sayısı da ona bağlı olarak daha az olacaktır. Aşı sayısı yoğun bakım yatak sayısından sonra en önemli ikinci kriterdir. Bunları sağlık harcamalarının GSYİH içindeki oranı ve hastane yatağı sayısı takip etmektedir.

SOWIA yöntemine ait sonuçlar incelendiğinde bu sonuçlar üzerinde bulanık SWARA yönteminin CRITIC yöntemine göre daha baskın olduğu gözlemlenmektedir. Bulanık SWARA yönteminde önem sıralamasında ilk ve son sırada çıkan kriterler SOWIA yönteminde de aynı şekildedir. Bulanık SWARA yönteminde karar vermede rol oynayan uzman sayısı ve önemli görülen kriterler konusundaki fikir birliği sonuçlar üzerinde etkilidir.

## 4.Sonuç

Bu çalışmada OECD ülkelerine ait verilerden faydalanarak, COVID-19 salgını ile mücadele seyrini etkileyebilecek en önemli kriterler belirlenmiş öznel, nesnel ve entegre yöntemler ile ağırlıklandırılmış sonuçlar karşılaştırılmıştır. Nesnel ve öznel yöntemler ile elde edilen kriter ağırlıkları arasında farklılıklar görülebilmektedir. Nesnel yöntemlerle gerçek değerler ve öznel yöntemlerle karar vericilerin görüşleri kriter ağırlıklarına yansıtılmaktadır. Farklı bakış açıları ve hesaplama prosedürleri olan yöntemlerin etkilerinin kriter ağırlıklarına yansıtılması için SOWIA gibi bütünleşik ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmalıdır. Birbirinden farklı özelliklere sahip, öznel ve nesnel kriterler içeren, karar verme problemlerinde öznel ve nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinin bütünleşik bir şekilde kullanılması sonuçların doğruluğunu arttıracaktır. Gelecek

çalışmalarda nesnel ve öznel kriter ağırlıklandırma yöntemleri çeşitli performans ölçüm yöntemleri ile birlikte ayrı ayrı ve entegre bir şekilde kullanılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

## 5.Teşekkür

Bu çalışma, FYL-2021-9792 nolu proje ile Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Akçakanat, Ö., Aksoy, E., & Teker, T. (2018). CRITIC ve MDL Temelli Edas Yöntemi ile Tr-61 Bölgesi Bankalarının Performans Değerlendirmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1(32), 1-24
- Akçakaya, E. D. U., & Ömürbek, N. (2021). OECD Ülkelerinin Demokrasi Kalitesi Göstergeleri Açısından Kümelenmesi. OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 18(Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı), 1365-1393.
- Alemi-Ardakani, M., Milani, A. S., Yannacopoulos, S., & Shokouhi, G. (2016). On the effect of subjective, objective and combinative weighting in multiple criteria decision making: A case study on impact optimization of composites. Expert Systems with Applications, 46, 426-438.
- Cengiz, D. (2012). Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine karşılaştırmalı analiz.
- Çerçi, M. (2020). Sürdürülebilir tedarikçi seçimi: bulanık swara ve bulanık moora uygulamaları. Yüksek lisans tezi, Kocaeli üniversitesi.
- Çırak, B. (2018). Şirketlerin mali verilerinden yararlanarak çok kriterli karar verme yöntemleriyle finansal performanslarının analizi.
- Demir, G. (2021). Türk Çimento Firmalarının Finansal Performansının Bulanık SWARA-COPRAS-MAUT Yöntemleri ile Karşılaştırılması. Gaziantep University Journal of Social Sciences, 20(4), 1875-1892.
- Demir, G., & Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden bwm ve fucom yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21(2), 170-185.
- Demircioğlu, M., & Coşkun, İ. T. (2018). CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 27(1), 183-195
- Deng, H., Yeh, C., Willis, R. J., (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. Computers & Operations Research, 27(10), 963-973.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. Computers & Operations Research, 22(7), 763-770.
- Durmuş, M., & Tayyar, N. (2017). AHP ve TOPSIS ile farklı kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılması ve karar verici görüşleriyle karşılaştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 12(3), 65-80.
- Forman, E. H. & Selly, M. A. (2001). Decision by Objectives: How to Convince Others that You are Right. World Scientific Press.
- Gupta, S., Vijayvargy, L., & Gupta, K. (2021). Assessment of stress level in urban area's during COVID-19 outbreak using critic and topsis: A case of Indian cities. Journal of Statistics and Management Systems, 24(2), 411-433.

- Güler, A. (2021). Farklı kriter ağırlıklandırma yöntemleri ile veri zarflama analizi: Türkiye'deki devlet üniversitesi hastanelerinde uygulama.
- Harris, R. (1998). Introduction to Decision Making, VirtualSalt. <http://www.virtualsalt.com/crebook5.htm>.
- Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., Ebadi Torkayesh, A., & Derakhti, A. (2020). Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. *Symmetry*, 12(6), 886.
- Karakış, E. (2021). CRITIC ve MAUT Yöntemleriyle bir Tekstil Firması için Makine Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 842-848. DOI: 10.31590/ejosat.994697
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.
- Mavi, R. K., Goh, M., & ZARBAKHSHNIA, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5), 2401-2418.
- OECD. "OECD Data". Erişim: 25 Ekim 2021. <https://data.oecd.org/>.
- Orhan, M. (2019). Türkiye ile Avrupa Birliği Ülkelerinin Lojistik Performanslarının Entropi Ağırlıklı Edas Yöntemiyle Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1222-1238. DOI: 10.31590/ejosat.657693
- Our World in Data. "Coronavirus Pandemic (COVID-19)". Erişim: 25 Ekim 2021. <https://ourworldindata.org/coronavirus>.
- Ömürbek, N., Yıldırım, H., Parlar, G., & Karaatlı, M. (2021). Critic Yöntemi ve Oyun Teorisi Bütünleşik Yaklaşımı ile Hastane Performanslarının Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 539-560.
- Sait, G. Ü. L. Hastane Yeri Seçiminde Nesnel Ağırlıklandırma Sezgisel Bulanık Vikor Yöntemi. *Endüstri Mühendisliği*, 32(2), 177-200.
- Şahin, M. (2020). Endüstriyel Robot Seçimi için Hibrit Çok Kriterli Karar Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2020 (ISMSIT), 1-9. DOI: 10.31590/ejosat.818275
- Şengül, D., & Cagıl, G. (2020). Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile iş değerlemesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 965-976.
- The World Bank. "World Bank Open Data". Erişim: 25 Ekim 2021. <https://data.worldbank.org/>.
- Worldometers. "COVID Live- Coronavirus Statistics ". Erişim: 25 Ekim 2021. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>.
- Zaher, H., Khalifa, H. A., & Mohamed, S. (2018) Grey Multi Criteria Decision Making Methods.
- ZARBAKHSHNIA, N., Soleimani, H., & Ghaderi, H. (2018). Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. *Applied Soft Computing*, 65, 307-319.
- Zolfani, S. H., Salimi, J., Maknoon, R. ve Kildiene, S. (2015). Technology foresight about R&D projects selection; application of SWARA method at the policy making level. *Engineering Economics*, 26(5), 571-580.



# Fasulye Bitkisinde Phospholipase D Gen Ailesinin Tuz Ve Kuraklık Stresi Altında Genom Çaplı Karakterizasyonu

Murat İsiyel<sup>1\*</sup>, Burak Muhammed Öner<sup>1</sup>, Esra Yaprak<sup>1</sup>, Sümeyra Uçar<sup>1</sup>, Ayşe Gül Kasapoğlu<sup>1</sup>, Ahmed Sidar Aygören<sup>1</sup>, Selman Muslu<sup>1</sup>, Recep Aydın<sup>1</sup>, Emre İlhan<sup>1</sup>, Murat Aydın<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4157-2729), [murat.isiyel13@erzurum.edu.tr](mailto:murat.isiyel13@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2785-2089), [burakmuhammed.oner3@erzurum.edu.tr](mailto:burakmuhammed.oner3@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8753-494X), [esra.yaprak2@erzurum.edu.tr](mailto:esra.yaprak2@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7629-0206), [sumeyra.ucar61@erzurum.edu.tr](mailto:sumeyra.ucar61@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6447-4921), [aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr](mailto:aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6264-9935), [ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr](mailto:ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4777-0726), [selman.muslu25@erzurum.edu.tr](mailto:selman.muslu25@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3743-1835), [recep.aydinyurt62@erzurum.edu.tr](mailto:recep.aydinyurt62@erzurum.edu.tr)

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8404-7900), [emre.ilhan@erzurum.edu.tr](mailto:emre.ilhan@erzurum.edu.tr)

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1091-0609), [maydin@atauni.edu.tr](mailto:maydin@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** İsiyel, M., Öner, B. M., Yaprak, E., Uçar, S., Kasapoğlu, A. G., Aygören, A. S., Muslu, S., Aydın, R., İlhan, E., & Aydın, M., (2022). Fasulye bitkisinde *phospholipase D* gen ailesinin tuz ve kuraklık stresi altında genom çaplı karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 585-593.

## Öz

Fosfolipaz, bitkilerde fosfolipidlerin metabolizmasından ve sentezinden sorumlu bir enzim sınıfıdır. Bitkilerdeki en önemli fosfolipaz türü, fosfolipitleri hidrolize edebilen *PLD* (Phospholipase D)'dir. *PLD* birçok bitki türünde biyotik ve abiyotik stres koşulları altında çalışmıştır. Ancak yapılan literatür taramalarında *P. vulgaris* genomunda herhangi bir genom çaplı karakterizasyon yapılmadığı görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda *P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* türlerine ait sırasıyla 17, 27 ve 12 adet aday *PLD* geni tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada tanımlanan 17 *PvPLD* geni fasulyenin 2, 5, 7, 8, 9 ve 10 numaralı kromozomları üzerinde dağıldığı tespit edilmiştir. Belirlenen kromozomlar üzerinde en düşük bir, en yüksek 5 *PvPLD* geni olduğu bulunmuştur. *PvPLD* genlerine ait teorik izoelektrik noktaları (pI) 5,3-8,21 değerleri arasında değişmekte olduğu ve on yedi *PvPLD* geninin 14'ü asidik özellik ve 3 tanesi de bazik özellik göstermektedir. Moleküler ağırlıklar analiz edildiğinde ortaya çıkan en düşük ağırlık (17,5 kDa) *PvPLD-15*'te iken en yüksek (127,8 kDa) ağırlık *PvPLD-12*'de olduğu belirlenmiştir. *PvPLD* genlerinin muhtemel 5 farklı domaine ayrıldığı görülmüştür. Yapılan filogenetik analizler sonucunda *P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* türlerine ait karşılaştırmada *PLD* gen ailesi üyelerinin 6 farklı gruba ayrıldığı tespit edildi. *PvPLD* genleri arasında yapılan tandem ve segmental duplikasyon analizleri sonucunda 5 adet segmental ve 3 adet tandem duplikasyon belirlenmiştir. Tuz ve kuraklık altındaki ifade seviyeleri incelendiğinde 4 farklı *PvPLD* geninde kontrole göre belirgin farklılıklar görülmüştür. Bu çalışmada yapılan in silico analizler fasulyede *PLD* genlerinin işlevi hakkında önemli bilgiler sunulmakta ve yapılması planlanan çalışmalar için temel niteliği taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *PLD*, Fosfolipaz, Biyoinformatik, Fasulye, Stres

\* Sorumlu Yazar: [murat.isiyel13@erzurum.edu.tr](mailto:murat.isiyel13@erzurum.edu.tr)

# Genome-Wide Characterization Of The Phospholipase D Gene Family Under Salt And Drought Stress In The Bean Plant

## Abstract

Phospholipase is a group of enzymes in plants that are involved in the metabolism and production of phospholipids. *Phospholipase D* (*PLD*) is the most significant form of phospholipase in plants, as it can hydrolyze phospholipids. Many plant species have been studied for *PLD* under biotic and abiotic stress conditions. However, no genome-wide characterisation of the *P. vulgaris* genome was found in the literature reviews. The research found 17, 27, and 12 potential *PLD* genes in the *P. vulgaris*, *G.max*, and *A. thaliana* species, respectively. The 17 *PvPLD* genes identified in this study are distributed on chromosomes 2, 5, 7, 8, 9, and 10 of beans. On the determined chromosomes, one lowest and five highest *PvPLD* genes were discovered. *PvPLD* genes have theoretical isoelectric points (pI) ranging from 5.3 to 8.21, with 14 of the seventeen *PvPLD* genes having acidic values and three having basic values. The lowest molecular weight (17.5 kDa) was identified in *PvPLD*-15, while the highest (127.8 kDa) was recorded in *PvPLD*-12. *PvPLD* genes were found to be grouped into five potential domains. In the study of *P. vulgaris*, *G.max*, and *A. thaliana* species, phylogenetic analysis revealed that the *PLD* gene family members were separated into six distinct groups. Five segmental and three tandem duplications were discovered as a result of tandem and segmental duplication analyses between *PvPLD* genes. Significant changes in expression levels under salt and drought were found in four separate *PvPLD* genes when compared to the control. The in-silico analyses used in this study provide crucial information regarding the function of *PLD* genes in beans, which will be useful in future research.

**Keywords:** *PLD*, *Phospholipase*, *Bioinformatics*, *Beans*, *Stress*.

## 1. Giriş

Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.), ulaşılabilirliği kolay olan ana besin kaynaklarını arasında yer almaktadır (Nichols et al., 2011). Bazı temel abiyotik faktörler olan soğuk, kuraklık ve tuz gibi stres koşulları altında fasulye bitkisinin gelişimi olumsuz etkilenebilir. Bu sebeplerden ötürü fasulyede abiyotik stres koşullarına karşı bir direnç kazandırma ihtiyacı duyulur (Delgado-Salinas et al., 1999). Çoğu bitki gelişim evresinde abiyotik ve biyotik streslere maruz kaldıkları ortamlarda bulunurlar. Büyümenin devamını sağlamak için bitkinin bulunduğu ortama uyum sağlaması gereklidir. Oluşabilecek herhangi bir hücresel hasar bu uyum sağlama süreci sonucunda en düşük seviyede tutabilmektedirler (Wan et al., 2019). Oluşan abiyotik stresler, aralarında lipit sinyal yolunun da bulunduğu bir takım metabolik sistemler kullanılarak en düşük seviyeye indirgenir ve birçok yüksek bitki hücresel süreçlerinde kazanılan modifikasyonlar ile stres koşullarına karşı hızlı yanıtlar verir (Bargmann and Munnich, 2006; Simonntachi et al., 2015).

Fosfolipaz, bitkilerde bulunan fosfolipitlerin metabolizmasında ve üretiminde görevli önemli bir enzim grubudur (Tang et al., 2016). Bitkilerde bulunan fosfolipaz türleri arasında en önemlisi fosfolipitleri hidrolize etme yeteneğine sahip olan *PLD* (Fosfolipaz D) grubudur. Bitkilerin büyüme ve gelişme dönemlerinde ortaya çıkan abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı verilen tepkilerde *PLD*'nin rol oynadığı görülmüştür (Wang, 2002; Wang, 2005). Bazı abiyotik stres faktörlerinden olan kuraklık, soğuk ve tuz streslerine karşı verilen hücresel tepkide *PLD*'nin rol oynadığı görülmüştür (Bargmann et al, 2009; Mane et al., 2007; Welti et al., 2002). *PLD* işlevini genel olarak PA'nın (fosfatidik asit) enzimatik hidroliz ürünü yolu ile gerçekleştirir. PA, temel olarak her yerde bulunan hücre zarında bulunan lipit içeriğinin dengesini düzenleyen ve hücre zarını stabil bir durumda tutmakla görevli olan bir lipit sinyal bileşiğidir (Li et al., 2021). *PLD*, 1940'lı yılların başında hücre membranının yeniden şekillenmesinde ve lipit metabolizmasında görevli bir enzim olarak tanımlaması gerçekleştirilmiştir (Hanahan and Chaikoff, 1947). *PLD* gen ailesi günümüzde *Arabidopsis thaliana* (Elias et al., 2002; Qin and Wang, 2002), *Cicer arietinum* (Sagar et al., 2021), *Camellia sinensis* (Roshan et al., 2021), *Glycine max*

(Zhao et al., 2012), *Oryza sativa* (Li et al., 2007), *Vitis vinifera* (Liu et al., 2010), gibi birçok yüksek bitki türlerinde tespit edilmiştir.

Yapılan literatür taramaları sonucunda *PLD* geninin *P. vulgaris* bitkisinde genom çaplı karakterizasyonuna ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Gerçekleştirilmesi planlanan bu çalışmada amaç fasulye *PLD* genlerinin genom çaplı karakterizasyonu gerçekleştirilerek *PLD* genlerinin fasulye genomundaki işlevinin anlaşılmasını sağlamak, *PvPLD* genlerinin kuraklık ve tuz koşulları altında fasulyede oluşturduğu stres yanıtını tespit etmek ve evrimsel süreçte edindiği konumu görmektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Fasulye genomunda bulunan *PLD* gen ailesi üyelerinin proteinlerinin tespit edilmesi

Fasulye genomunda bulunan *PLD* gen ailesi üyelerinin protein dizileri Pfam veri tabanında bulunan erişim numarasından (PF00614) yararlanılarak Phytozome veri tabanı v13'te tespit edilmiştir (<https://phytozome-next.jgi.doe.gov/>). Fasulye genomunda bulunma olasılığı yüksek olan bütün *PLD* proteinlerini tespit etmek için Phytozome veri tabanı v13'te bulunan blastp ve gizli Markov model (HMM) aracı yardımıyla mevcut parametrelerle *P. vulgaris* genomu taranmıştır.

İlişkili dizilerde bulunması muhtemel *PLDc*, *PH*, *C2*, *PLD\_C* ve *PLDc\_2* gibi farklı *PLD* genine ait domainlerin varlığı HMMER veri tabanı yardımıyla tespit edilmiştir (<http://hmmer.org/>). Fasulye genomunda belirlenen tüm *PLD* proteinlerinin sahip olduğu moleküler ağırlığı, amino asit sayıları, instabilite indeksi, teorik izoelektrik noktası (pI) ve stabilite durumu "protparam aracı" yardımı ile tespit edilmiştir (<https://web.expasy.org/protparam/>). *PLD* genlerinin hücre içi lokalizasyonları WoLF PSORT'dan yararlanılarak belirlenmiştir (Horton et al., 2007).

## 2.2. PLD genlerinin yapısı, fiziksel konumları, korunmuş bölge motifleri ve gen duplikasyonlarının belirlenmesi

*PvPLD* proteinlerinde bulunan intron-ekzon bölgeleri ile alakalı detaylı bilgi edinmek için Gene Structure Display Server v2.0'den yararlanılmıştır (Hu et al., 2015). Gene Structure Display Server v2.0 genom dizileri ve kodlanan DNA (CDS) dizileri yardımıyla *PvPLD* genlerinin hangi bölgede olduğunu göstermekte kullanılmıştır. Phytozome veri tabanı v13 yardımıyla *PvPLD* genlerinin büyüklükleri ve kromozomal konumları belirlenmiştir.

*PvPLD* genleri fasulyede bulunan bütün kromozomlarda taranıp *PvPLD* genlerinin bulunduğu kromozomlar belirlenip MapChart programından yardım alınarak çizilmiştir (Voorrips, 2002). *PvPLD* gen duplikasyonları arasında olan Non-sinonim oranları (Ka), sinonim oranları (Ks) ve evrimsel zorlamalar (Ka/Ks) PAL2NAL (<http://www.bork.embl.de/pal2nal/>)'da bulunan PAML aracından (Yang, 2007) yardım alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Suyama et al., 2006).

*PvPLD* proteinlerinin ilave korunmuş bölge motiflerini belirlemek için "Multiple EM for Motif Elicitation (MEME) aracından" yardım alınmıştır (Bailey et al., 2006). Minimum/maksimum genişlik ve bulunması planlanan motiflerin maksimum sayısı için sınırlar; 6, 50 ve 10 olarak ayarlanmıştır. Motif bölgeleri 2 ile 300 arasında seçilmiştir. Bölge dağılımı olarak tekrarların herhangi bir sayısı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen motifler InterPro veri tabanında bulunan mevcut ayarlar kullanılarak aranmıştır (Quevillon et al., 2005).

## 2.3. Dizi Hizalama ve Filogenetik Analizler

Filogenetik analizler, 1000 tekrarlı bootstrap değeri kullanılarak Neighbor -joining (NJ) yöntemi ile belirlenmiştir. *PvPLD* protein dizileri ClustalW metodundan yararlanılarak hizalanmıştır (Thompson et al., 1997). *P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* bitkilerinde bulunan *PLD* proteinleri kullanılarak MEGA v11 programından yararlanılarak filogenetik ağaç oluşturulmuştur (Tamura et al., 2011). Filogenetik ağaç "İnteraktif Yaşam Ağacı (iTOL)" arayüzünden faydalanılarak çizdirilmiştir (Letunic and Bork, 2011).

## 2.4. Sinteni Analizi

*P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* genomlarında bulunan *PLD* genleri ortologlarının protein dizileri Phytozome veri tabanı v13 yardımı ile tespit edilmiştir. Sinteni haritası TBtools programı (Chen et al., 2020) kullanılarak oluşturulmuştur.

## 2.5. Cis-acting Element Analizi

Cis-acting elementleri taramak için Phytozome veri tabanı v13 yardımıyla 5' yukarı akış bölgesi (2 kb'lik DNA dizisi) PlantCARE veri tabanı (Lescot et al., 2002) kullanılarak elde edilip TBtools programından yardım alınarak gerekli şekillendirmeler yapılmıştır.

## 2.6. In-Silico Gen İfade Analizi

İlimuna RNAseq veri setleri NCBI SRA veri tabanından alınarak elde edilmiştir. *PvPLD* genlerinin ifade profilleri bitkinin kuraklık (SRR8284481, SRR8284480) ve tuz (SRR957668, SRR958469) koşullarına maruz kalmış özel doku kütüphaneleri olan SRA (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra>)'dan alınarak gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. İn siliko gen ifade profilleri

RPKM birimlerinde Cufflinks metodundan yardım alınarak analiz edilmiştir (Trapnell et al., 2012). RPKM değerleri log2 tabanında hesaplanarak CIMminer algoritmasından yararlanılarak heatmap oluşturulmuştur.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Araştırma Sonuçları

#### 3.1.1. *P. vulgaris* genomundaki *PLD* gen ailesinin belirlenmesi

Phytozome veri tabanı v13'ten yardım alınarak fasulye genomunda Pfam veri tabanı ile belirlenen Pfam erişim numaraları ile anahtar kelime araması yapılarak *PLD* gen ailesi üyeleri taranmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda *PLD* protein homolojisine sahip olduğu belirlenen 17 gen bulunmuştur. *PLDc*, *PH*, *C2*, *PLD\_C* ve *PLDc\_2* domainlerinin varlığı HMMER veri tabanından yardım alınarak doğrulanmıştır. *PLDc*, *C2* ve *PLD\_C* domainleri tespit edilen çoğu *PLD* gen ailesi üyelerinde ortak olarak bulunmuştur. Doğrulanmış diğer domainlerin aksine *PH* domaini yalnızca *PvPLD-7* geninde olduğu görülmüştür (Tablo 1.)

Yapılan analizler sonucu *P. vulgaris* genomunda olduğu belirlenen 17 aday *PLD* geni Tablo 2'de listelenmiştir. Ayrıca belirlenen tüm *PvPLD* genlerinin moleküler ağırlıkları, amino asit sayıları, teorik izoelektrik noktaları, instabilite indeksi, stabilite durumu ve hücre içi lokalizasyonları da dahil olmak üzere gerekli birçok bilgi de Tablo 1'de verilmiştir. *PvPLD* genleri fasulyenin 2, 5, 7, 8, 9 ve 10 numaralı kromozomları üzerinde dağılmış halde olduğu görülmüştür. Belirlenen kromozomlar üzerinde en düşük bir, en yüksek 5 adet gen olduğu bulunmuştur (Şekil 1).

Yapılan literatür taramalarında daha önce *PLD* gen ailesine ait birçok bitkide benzer çalışmalar olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Fasulye genomunda bulunan PvPLD proteinleri hakkında bilgiler

Gene Name	Aa Sayısı	MW (kDa)	pI	Stabilite	Hücre içi lokalizasyonu
PvPLD-1	859	96,83	7,61	stable	nucl: 4
PvPLD-2	859	97,52	6,53	stable	nucl: 6
PvPLD-3	850	96,02	8,21	stable	nucl: 8
PvPLD-4	807	91,86	5,66	unstable	chlo: 4
PvPLD-5	808	92,26	5,89	unstable	cyto: 7
PvPLD-6	757	87,55	6,41	unstable	nucl: 9
PvPLD-7	1071	122,35	5,99	unstable	nucl: 9
PvPLD-8	1098	122,8	6,83	unstable	nucl: 7
PvPLD-9	847	96,59	7,64	stable	pero: 5
PvPLD-10	518	58,61	6,38	stable	chlo: 6
PvPLD-11	827	93,98	5,84	stable	nucl: 6
PvPLD-12	1122	127,6	6,01	unstable	nucl: 6
PvPLD-13	824	94,15	6,56	stable	chlo: 4
PvPLD-14	777	89,49	6,08	unstable	nucl: 8
PvPLD-15	154	17,5	5,3	stable	cysk: 11
PvPLD-16	809	91,52	5,77	stable	cyto: 7
PvPLD-17	1070	120,4	6,15	unstable	nucl: 7

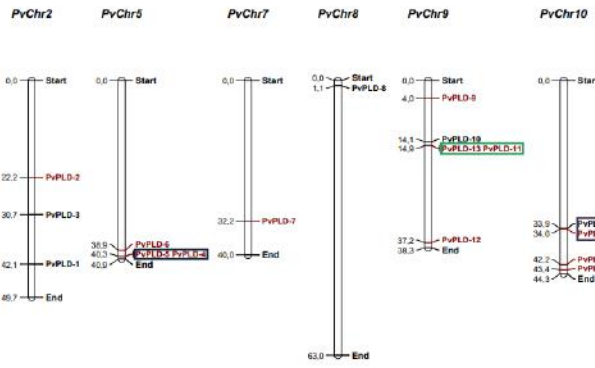
PvPLD proteinlerine ait amino asit uzunluğu 154-1122 aralığında değiştiği görülmüştür. PvPLD genleri arasında en uzun amino asit sayısına (1122) sahip olan gen PvPLD-12 olmuştur. En kısa amino asit sayısına (154) sahip olan gen ise PvPLD-15 olarak belirlenmiştir. Teorik izoelektrik noktaları (pI) 5,3-8,21 değerleri

arasında değişmekte olup 17 PvPLD geninin 14'ü asidik özellik ve 3 tanesi de bazik özellik göstermiştir. En yüksek pI değeri (8,21)

PvPLD-3'te iken en düşük pI değeri (5,3) PvPLD-15'te görülmüştür. Moleküler ağırlıklar analiz edildiğinde ortaya çıkan en düşük ağırlık (17.5 kDa) PvPLD-15'te iken en yüksek (127,8 kDa) ağırlık PvPLD-12'de olduğu belirlenmiştir. PvPLD proteinlerinin 9 tanesinin stabil olduğu 8 tanesinin ise stabil olmadığı görülmüştür. Ayrıca WoLFPSORT veri tabanından yardım alınarak gerçekleştirilen analizler sonucunda PvPLD genlerinin ağırlıklı olarak nükleusta bulunduğu, az da olsa diğer hücre altı kompotentlerde de bulunduğu saptanmıştır.

Tablo 2. Fasulye genomunda bulunan phospholipase D (PLD) genlerine ait domain analizleri (A, B, C, D, E olarak gösterilen domain isimleri sırasıyla C2, PH, PLDc, PLD\_C ve PLDc\_2 olarak tanımlanmıştır)

Gene No	Phytozome ID	Domainler				
		A	B	C	D	E
PvPLD-1	Phvul.002G248700.1	✓		✓	✓	
PvPLD-2	Phvul.002G104200.1	✓		✓	✓	
PvPLD-3	Phvul.002G153400.1	✓		✓	✓	
PvPLD-4	Phvul.005G177300.1	✓		✓	✓	
PvPLD-5	Phvul.005G177200.1	✓		✓	✓	
PvPLD-6	Phvul.005G160400.1	✓		✓	✓	
PvPLD-7	Phvul.007G198600.1		✓	✓		✓
PvPLD-8	Phvul.008G013400.1	✓		✓	✓	
PvPLD-9	Phvul.009G020200.1	✓		✓	✓	
PvPLD-10	Phvul.009G087000.1					✓
PvPLD-11	Phvul.009G093500.1	✓		✓	✓	
PvPLD-12	Phvul.009G251700.1			✓		✓
PvPLD-13	Phvul.009G093400.1	✓		✓	✓	
PvPLD-14	Phvul.010G139800.1	✓		✓	✓	
PvPLD-15	Phvul.010G088850.1			✓	✓	
PvPLD-16	Phvul.010G155000.1	✓		✓	✓	
PvPLD-17	Phvul.010G088900.1	✓		✓	✓	



Şekil 1. PvPLD genlerinin fasulye genomundaki dağılışı (Kırmızı renkle gösterilmiş genler segmental duplike genler, etrafı çevrili olarak gösterilenler ise tandem duplike genleri göstermektedir.)

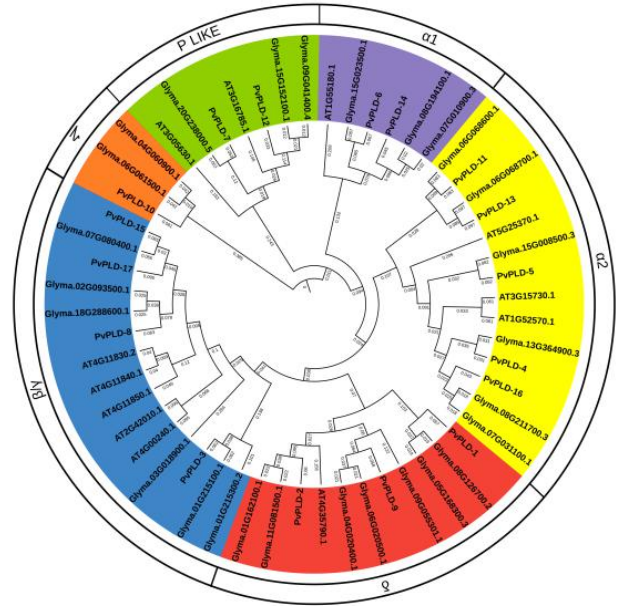
Analizler sonucunda PvPDL genleri içerisinde 3 tandem ve 5 segmental duplikasyon olduğu belirlenmiştir. *P. vulgaris* genomunda tespit edilen segmental ve tandem duplike PLD genlerine ait Ka, Ks ve Ka/Ks değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir. Tespit edilen duplike genler arasında Ka/Ks oranı 1’den büyük herhangi bir değere rastlanmamıştır. Duplikasyon görülen *PvPLD* genlerinin Ka/Ks değeri birden küçük olduğundan evrimsel süreçte arındırıcı (negatif) seleksiyona uğramıştır (Juretic et al., 2005). Duplike gen çiftleri arasındaki Ka/Ks oranı bire eşit ise nötr, birden büyük ise pozitif ve birden küçük ise negatif seçim olduğu kabul edilmektedir (Kasapoglu et al., 2020; Büyük et al., 2019; İlhan et al., 2018).

Tablo 3. *PvPLD* gen duplikasyonları olayları ve Ka, Ks, Ka/Ks değerleri

Gene-1	Gene-2	Ka	Ks	Ka/Ks	Duplikasyon tipi
<i>PvPLD</i> -5	<i>PvPLD</i> -4	0.092	0.656	0.1404	Tandem
<i>PvPLD</i> -13	<i>PvPLD</i> -11	0.216	0.864	0.2505	Tandem
<i>PvPLD</i> -15	<i>PvPLD</i> -17	0.087	0.350	0.2493	Tandem
<i>PvPLD</i> -2	<i>PvPLD</i> -9	0.226	1.673	0.1352	Segmental
<i>PvPLD</i> -5	<i>PvPLD</i> -16	0.111	1.002	0.1109	Segmental
<i>PvPLD</i> -6	<i>PvPLD</i> -14	0.128	0.525	0.2443	Segmental
<i>PvPLD</i> -7	<i>PvPLD</i> -12	0.196	1.686	0.1168	Segmental
<i>PvPLD</i> -13	<i>PvPLD</i> -16	0.263	3.507	0.075	Segmental

### 3.1.2. PLD gen ailesi üyelerinin gen yapısı, filogenetik ve korunmuş motif analizleri

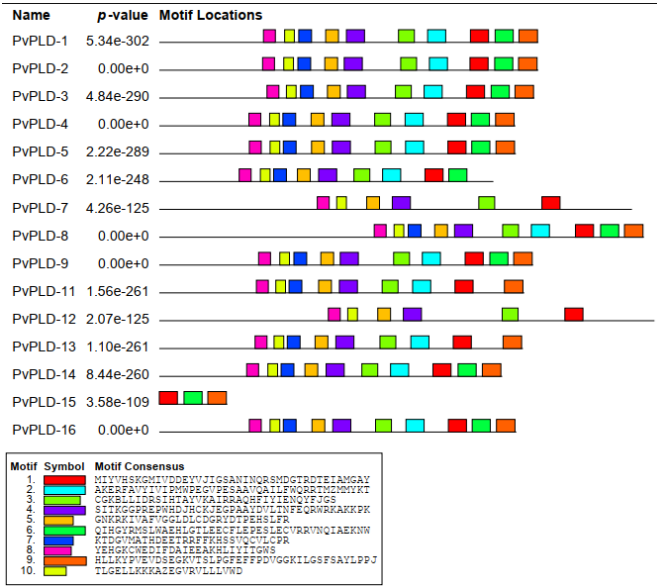
*PLD* gen ailesi üyelerinin proteinleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek için *P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* bitkilerinde bulunan *PLD* genleri kullanılarak filogenetik ağaç çizdirilmiştir. Filogenetik ağaç *PLD* proteinlerinin amino asit dizisine göre Clustal W aracından yardım alınarak hizalanmıştır. Hizalanan protein dizileri ‘newick’ formatında alınıp İnteraktif Yaşam Ağacı (iTOl) arayüzünden yararlanılarak çizdirilmiştir (Letunic and Bork, 2011). *PLD* proteinleri P like, Alpha 1, Alpha 2, Delta, Beta/Gamma ve zeta olmak üzere 6 gruba ayrılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. *P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* bitkilerinin *PLD* genlerine ait protein dizileri kullanılarak çizilen filogenetik ağaç

MEME (v5.3.3) (Bailey et al., 2006) programından yararlanılarak *PvPLD* proteinlerinde 10 korunmuş motif tespit edilmiştir. Bulunan motiflerin amino asit uzunluğu 22-42 aralığındadır. Analiz sonucunda en az 3, en fazla 10 motif olduğu tespit edilmiş ve Şekil 3’te bu motiflere ait dizi bilgileri de gösterilmiştir. Motif 1, 6 ve 9’un tüm genlerde ortak olarak bulunduğu belirlenmiştir.





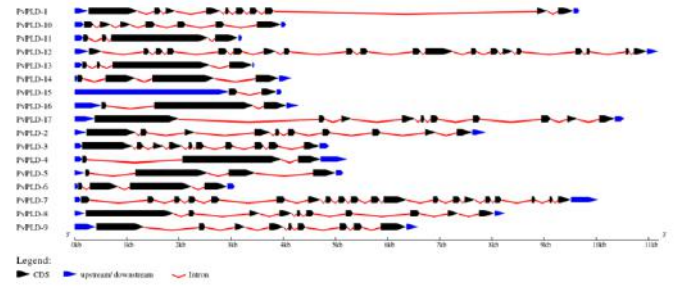
Şekil 3. PvPLD genlerinde bulunması muhtemel motifler

Ayrıca InterProScan ara yüzünde gerçekleştirilen analizler sonucunda Motif 1, 2, 3, 4 ve 6'da Phospholipase D family (IPR015679) domaininin ortak olarak bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 4).

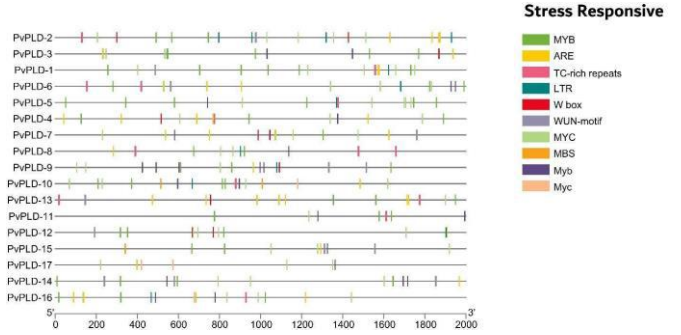
Tablo 4. PvPLD genlerine ait tahmin edilen motiflere ait amino asit uzunluğu ve domain bilgisi

Motif ID	Width	Domain
1	41	Phospholipase D family
2	41	Phospholipase D family
3	36	Phospholipase D family
4	41	Phospholipase D family
5	29	N/A
6	41	Phospholipase D family
7	29	N/A
8	27	N/A
9	42	N/A
10	22	N/A

Gene Structure Display Server v2.0 yardımıyla PLD genlerine ait ekzon ve intron sayıları belirlenmiştir (Şekil 4). Yapılan analizler sonucunda en fazla intron sayısı 19 intron ile PvPLD-7 ve PvPLD-12 de tespit edilirken en az intron sayısı PvPLD-15'te görülmüştür. Ayrıca en az ekzon sayısı PvPLD-2' de tespit edilirken, en yüksek ekzon sayısı PvPLD-7 ve PvPLD-12'de tespit edilmiştir.



Şekil 4. PvPLD genlerindeki intron-ekzon sayısı, pozisyonu ve uzunluğu

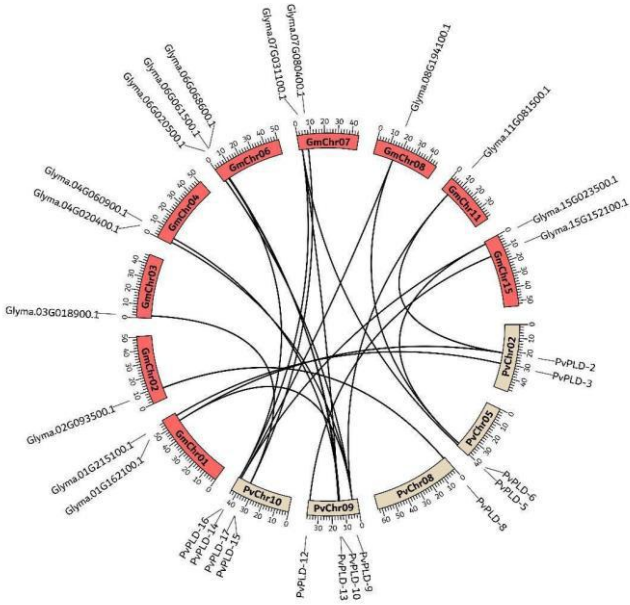


Şekil 5. PvPLD genlerinin 5' üst akış bölgesindeki cis acting elementlerin dağılımı

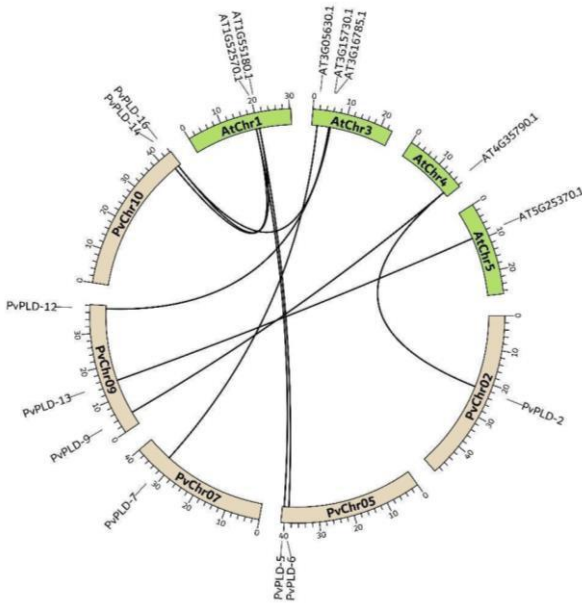
PlantCARE veri tabanı yardımıyla analiz edilen cis elementleri TBtools programı yardımıyla çizdirilmiştir (Şekil 5). Analizler sonucunda stres yanıtında görevli elementlerin bulunduğu genlere göre konumları verilmiştir. En fazla bulunan elementler TATA-box (%37,2), CAAT-box (%24,1), AT~TATA-box (%3,2), Box 4 (%2,1), MYB (%2), ARE (%1.39)'dir. Stres elementlerine bakıldığında en fazla element PvPLD2'de bulunurken (20) en az element PvPLD17'de (7) bulunmuştur. Bir gen üzerinde en fazla bulunan element PvPLD-8, PvPLD-9 ve PvPLD-10 geni üzerinde 8 tekrarlı MYB olmuştur.

### 3.1.3. P. vulgaris, G. max ve A. thaliana bitkilerindeki PLD genlerinin karşılaştırılması ve sinteni analizi

P. vulgaris, G. max ve A. thaliana bitkilerine ait olan PLD proteinleri arasında bulunan sinteni haritası oluşturulmuştur. Sinteni analizi sonucunda P. vulgaris ve G. max türleri arasında ise 23 sinteni ilişkisi tespit edilmiştir (Şekil 6A). Ayrıca P. vulgaris ve A. thaliana bitkileri arasında da 10 adet sinteni ilişkisi tespit edilmiştir (Şekil 6B).



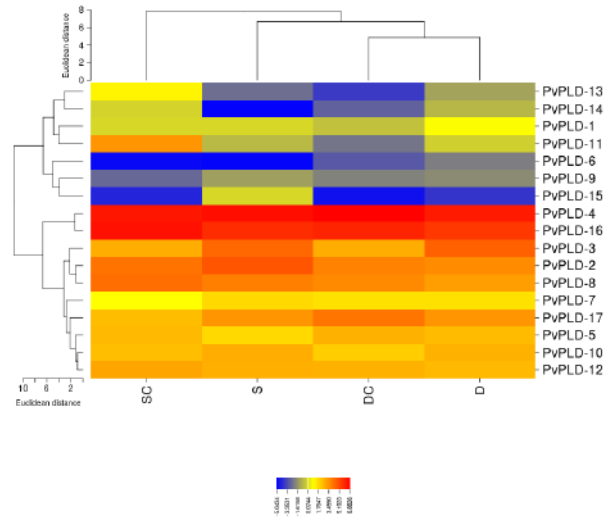
Şekil 6A. *P. vulgaris* ile *G. max* bitkileri arasında PLD genlerinin genom çaplı sinteni analizi *P. vulgaris* genomunda bulunan sinteni ilişkisi



Şekil 6B. *P. vulgaris* ile *A. thaliana* bitkileri arasında PLD genlerinin genom çaplı sinteni analizi

### 3.1.4. *PvPLD* genlerinin tuz ve kuraklık stresi altındaki ifade seviyeleri

*PvPLD* genlerinin kuraklık ve tuz stresi altındaki ifade profilleri özel doku kütüphanelerin yardım alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. İfade düzeylerine bakıldığında tuz stresi altında *PvPLD-11*, *PvPLD-13* ve *PvPLD-14* genlerinin ifade düzeyinde belirgin derecede azalış gözlemlenirken kuraklık stresinde artış gözlemlenmiştir. Diğer genlerde ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Tuz stresinde *PvPLD-15*'in ifade seviyesinde artış görülmüştür. Diğer genlerde ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Tuz ve kuraklık stresi altında *PvPLD* genlerinin in siliko gen ifade analizi

### 3.2. Tartışma

Yapılan bu çalışmada fasulye genomunda 17 adet *PLD* geni tespit edildi. *PvPLD* proteinlerine ait amino asit uzunluğu 154-1122 aralığında değiştiği görülmüştür. Teorik izoelektrik noktaları (pI) 5,3-8,21 değerleri arasında değişmektedir. En yüksek pI değeri (8,21) *PvPLD-3*'te iken en düşük pI değeri (5,3) *PvPLD-15*'te görülmüştür. Moleküler ağırlıklar analiz edildiğinde ortaya çıkan en düşük ağırlık (17,5 kDa) *PvPLD-15*'te iken en yüksek (127,8 kDa) ağırlık *PvPLD-12*'de olduğu belirlenmiştir. Önceki çalışmalar incelendiğinde *Solanum tuberosum* bitkisinde *PLD* genlerine ait amino asit sayısı uzunluğunun 755-873 amino asit aralığında, moleküler ağırlıkların 86,95-126,2 kDa aralığında ve izoelektrik noktasının 5,4-8,52 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir (Li et al., 2021). *Corchorus capsularis* bitkisinde bulunan *PLD* genlerinin amino asit sayısı uzunluğunun 773-1129, moleküler ağırlığının 88,3-126,11 ve izoelektrik noktasının 5,4-8,64 değerleri arasında değiştiği bulunmuştur (Sadat et al., 2022).

*PvPLD* genleri fasulyenin 2, 5, 7, 8, 9 ve 10 numaralı kromozomları üzerinde dağılmış halde olduğu görülmüştür. *Arabidopsis thaliana* (Elias et al., 2002), *Glycine max* (Zhao et al., 2012), *Oryza sativa* (Li et al., 2007) gibi türler ile yapılan çalışmalara benzer olarak *PvPLD* gen ailesi üyelerinde de *PLDc*, *PH*, *C2*, *PLD\_C* ve *PLDc\_2* gibi domainlerin varlığı tespit edildi. *PLD* proteinleri *P like*, *Alpha 1*, *Alpha 2*, *Delta*, *Beta/Gamma* ve *zeta* olmak üzere 6 gruba ayrılmıştır. *PLD* genlerine ilgili diğer bitki türlerinde yapılan bir çalışmada patates (Li et al., 2021), çeltik (Li et al., 2007) ve *A. thaliana* (Elias et al., 2002) türleri arasında gerçekleştirilen filogenetik analizlerde benzer alt aile üyelerine ve sonuçlara rastlanmıştır (Li et al., 2021). Yapılan analizler sonucunda en yaygın bulunan domainin *PLDc* olduğu görülmüştür. Gen duplikasyon olayları gen ailelerinin gelişmesi ve çok daha fazla büyümesi için oldukça önemli bir yere sahiptir (Mehan et al., 2004).

Bundan dolayı *PvPLD* gen ailesi üyeleri arasında bulunan segmental ve tandem duplikasyon olaylarının bulunması için gerekli analizler yapılmıştır. Yapılan literatür taramalarında daha önce *PLD* gen ailesi üyelerinin *S. tuberosum* bitkisinde tanımlandığı ve kromozom analizlerinde 2 tandem duplikasyonuna rastlandığı bildirilmiştir (Li et al., 2021). Bu çalışmada *PvPLD* genlerine ait kromozomal analizlerde 5 adet segmental ve 3 adet tandem duplikasyon gen tespit edilmiştir.

*Solanum tuberosum* bitkisinde stres ile bağlantılı olduğu düşünülen 13 adet cis acting elementin varlığı tespit edilmiştir (Li et al., 2021). Yapılan bu çalışmada fasulyede stres ile alakalı olduğu düşünülen 10 adet cis acting element tespit edilmiştir ve *PvPLD* genleri üzerinde en fazla bulunan element MYB olarak belirlenmiştir.

Analizler sonucunda *P. vulgaris* ve *G. max* türleri arasında ise 23 sinteni ilişkisi (Şekil 6B), *P. vulgaris* ve *A. thaliana* bitkileri arasında da 10 adet sinteni ilişkisi tespit edilmiştir. (Şekil 6C). Benzer olarak *Solanum tuberosum* ve *A. thaliana* bitkileri arasında 13 sinteni ilişkisi tespit edilmiştir (Li et al., 2021). *S. tuberosum* bitkisinde *PLD* genleri abiyotik stres altında incelenmiş ve Absisik asit (ABA), kuraklık, yüksek sıcaklık ve tuz stresi altında 6 farklı gende yüksek ifade durumu gözlenmiştir (Sadat et al., 2022). Benzer şekilde bu çalışmada da fasulye genomunda bulunan 4 *PvPLD* geninin kuraklık ve tuz stresi altında kontrole göre yoğun ifade farklılıkları gözlenmiştir (Şekil 7).

## 4.Sonuç

*P. vulgaris* genomunda tespit edilen *PvPLD* gen ailesi ile yapılan in silico analizler sonucunda 17 *PvPLD* gen ailesi üyesi belirlenmiştir. Tespit edilen genler altı farklı kromozom üzerinde dağılım göstermiştir. *P. vulgaris*, *G. max* ve *A. thaliana* bitkilerindeki *PLD* genleri 5 farklı grupta sınıflandırılmıştır. Yapılan taramalar sonucunda *PvPLD* gen ailesi üyelerinde *PLDc*, *PH*, *C2*, *PLD\_C* ve *PLDc\_2* olmak üzere toplam 5 adet domain tespit edilmiştir. Korunmuş motif analizi sonucunda tüm *PvPLD* gen ailesi üyelerinde ortak olarak bulunan 3 farklı benzersiz motif tespit edilmiştir. Yapılan cis acting element analizi sonucuna göre *PvPLD* genleri üzerinde en fazla MYB elementi olduğu görülmüştür.

*P. vulgaris* bitkisinin kuraklık ve tuz stresi altında gen ifade analizlerinde *PvPLD-11*, *PvPLD-13*, *PvPLD-14* ve *PvPLD-15* genlerinde belirgin farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapılan in silico analizler fasulyede *PLD* genlerinin işlevi hakkında önemli bilgiler sunulmakta ve yapılması planlanan çalışmalar için temel niteliği taşımaktadır.

## 5.Kaynaklar

Bailey, T. L., Williams, N., Misleh, C., & Li, W. W. (2006). MEME: discovering and analyzing DNA and protein sequence motifs. *Nucleic acids research*, 34(suppl\_2), W369-W373.

Bargmann, B. O., & Munnik, T. (2006). The role of phospholipase D in plant stress responses. *Current opinion in plant biology*, 9(5), 515-522.

Bargmann, B. O., Laxalt, A. M., Riet, B. T., Van Schooten, B., Merquiol, E., Testerink, C., ... & Munnik, T. (2009). Multiple *PLDs* required for high salinity and water deficit tolerance in plants. *Plant and Cell Physiology*, 50(1), 78-89.

Büyük, İ., İlhan, E., Şener, D., Özsoy, A. U., & Aras, S. (2019). Genome-wide identification of CAMTA gene family members in *Phaseolus vulgaris* L. and their expression profiling during salt stress. *Molecular biology reports*, 46(3), 2721-2732.

Chen, C., Chen, H., Zhang, Y., Thomas, H. R., Frank, M. H., He, Y., & Xia, R. (2020). TBtools: an integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data. *Molecular plant*, 13(8), 1194-1202.

Delgado-Salinas, A., Turley, T., Richman, A., & Lavin, M. (1999). Phylogenetic analysis of the cultivated and wild species of *Phaseolus* (Fabaceae). *Systematic Botany*, 438-460.

Eliš, M., Potocký, M., Cvrčková, F., & Žárský, V. (2002). Molecular diversity of phospholipase D in angiosperms. *BMC genomics*, 3(1), 1-15.

Hanahan, D. J., & Chaikoff, I. L. (1947). A new phospholipide-splitting enzyme specific for the ester linkage between the nitrogenous base and the phosphoric acid grouping. *Journal of Biological Chemistry*, 169(3), 699-705.

Horton, P., Park, K.-J., Obayashi, T., Fujita, N., Harada, H., Adams-Collier, C. J., & Nakai, K. (2007). WoLF PSORT: protein localization predictor. *Nucleic acids research*, 35(suppl\_2), W585-W587.

Hu, B., Jin, J., Guo, A.-Y., Zhang, H., Luo, J., & Gao, G. (2015). GSDS 2.0: an upgraded gene feature visualization server. *Bioinformatics* (Oxford, England), 31(8), 1296-1297. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu817>

İlhan, E. (2018). *Eucalyptus grandis* YABBY Transkripsiyon Faktörlerinin Genom Bazında Analizi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 158-166.

Juretic, N., Hoen, D. R., Huynh, M. L., Harrison, P. M., & Bureau, T. E. (2005). The evolutionary fate of MULE-mediated duplications of host gene fragments in rice. *Genome research*, 15(9), 1292-1297.

Kasapoglu, A. G., İlhan, E., Kızılkaya, D., Pour, A. H., & Haliloğlu, K. (2020). Sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Genomunda BES1 Transkripsiyon Faktör Ailesinin Genom Çaplı Analizi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 85-95.

Lescot, M., Déhais, P., Thijs, G., Marchal, K., Moreau, Y., Van de Peer, Y., ... & Rombauts, S. (2002). PlantCARE, a database of plant cis-acting regulatory elements and a portal to tools for in silico analysis of promoter sequences. *Nucleic acids research*, 30(1), 325-327.

Letunic, I., & Bork, P. (2011). Interactive Tree Of Life v2: online annotation and display of phylogenetic trees made easy. *Nucleic acids research*, 39(suppl\_2), W475-W478.

Li, G., Lin, F., & Xue, H. W. (2007). Genome-wide analysis of the phospholipase D family in *Oryza sativa* and functional characterization of *PLDβ1* in seed germination. *Cell research*, 17(10), 881-894.

Li, L., Zhang, C., Zhang, M., Yang, C., Bao, Y., Wang, D., ... & Chen, Y. (2021). Genome-wide analysis and expression profiling of the Phospholipase D gene family in *Solanum tuberosum*. *Biology*, 10(8), 741.

Liu, Q., Zhang, C., Yang, Y., & Hu, X. (2010). Genome-wide and molecular evolution analyses of the phospholipase D gene family in Poplar and Grape. *BMC plant biology*, 10(1), 1-15.

Mane, S. P., Vasquez-Robinet, C., Sioson, A. A., Heath, L. S., & Grene, R. (2007). Early *PLDα*-mediated events in response to progressive drought stress in *Arabidopsis*: a transcriptome analysis. *Journal of experimental botany*, 58(2), 241-252.

Mehan, M. R., Freimer, N. B., & Ophoff, R. A. (2004). A genome-wide survey of segmental duplications that mediate common human genetic variation of chromosomal architecture. *Human genomics*, 1(5), 1-10.

Nichols, N. N., Sutivisedsak, N., Dien, B. S., Biswas, A., Lesch, W. C., & Cotta, M. A. (2011). Conversion of starch from dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to ethanol. *Industrial Crops and Products*, 33(3), 644-647.

Qin, C., & Wang, X. (2002). The *Arabidopsis* phospholipase D family. Characterization of a calcium-independent and

- phosphatidylcholine-selective *PLD*ζ1 with distinct regulatory domains. *Plant physiology*, 128(3), 1057-1068.
- Quevillon, E., Silventoinen, V., Pillai, S., Harte, N., Mulder, N., Apweiler, R., & Lopez, R. (2005). InterProScan: protein domains identifier. *Nucleic acids research*, 33(suppl\_2), W116-W120.
- Roshan, N. M., Ashouri, M., & Sadeghi, S. M. (2021). Identification, evolution, expression analysis of phospholipase D (*PLD*) gene family in tea (*Camellia sinensis*). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(6), 1219-1232.
- Roshan, N. M., Ashouri, M., & Sadeghi, S. M. (2021). Identification, evolution, expression analysis of phospholipase D (*PLD*) gene family in tea (*Camellia sinensis*). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(6), 1219-1232.
- Sadat, M., Ullah, M., Hossain, M., Ahmed, B., & Bashar, K. K. (2022). Genome-wide in silico identification of phospholipase D (*PLD*) gene family from *Corchorus capsularis* and *Corchorus olitorius*: reveals their responses to plant stress. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20(1), 1-12.
- Sagar, S., Biswas, D. K., Chandrasekar, R., & Singh, A. (2021). Genome-wide identification, structure analysis and expression profiling of phospholipases D under hormone and abiotic stress treatment in chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 264-273.
- Simontacchi, M., Galatro, A., Ramos-Artuso, F., & Santa-María, G. E. (2015). Plant survival in a changing environment: the role of nitric oxide in plant responses to abiotic stress. *Frontiers in plant science*, 6, 977.
- Suyama, M., Torrents, D., & Bork, P. (2006). PAL2NAL: robust conversion of protein sequence alignments into the corresponding codon alignments. *Nucleic acids research*, 34(suppl\_2), W609-W612.
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., & Kumar, S. (2011). MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular biology and evolution*, 28(10), 2731-2739.
- Tang, K., Dong, C. J., & Liu, J. Y. (2016). Genome-wide comparative analysis of the phospholipase D gene families among allotetraploid cotton and its diploid progenitors. *PLoS one*, 11(5), e0156281.
- Thompson, J. D., Gibson, T. J., Plewniak, F., Jeanmougin, F., & Higgins, D. G. (1997). The CLUSTAL\_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic acids research*, 25(24), 4876-4882.
- Trapnell, C., Roberts, A., Goff, L., Pertea, G., Kim, D., Kelley, D. R., . . . Pachter, L. (2012). Differential gene and transcript expression analysis of RNA-seq experiments with TopHat and Cufflinks. *Nature protocols*, 7(3), 562-578.
- Voorrips, R. E. (2002). MapChart: software for the graphical presentation of linkage maps and QTLs. *Journal of heredity*, 93(1), 77-78.
- Wan, S., Li, M., Ma, F., Yuan, J., Liu, Z., Zheng, W., & Zhan, J. (2019, June). Genome-wide identification of phospholipase D (*PLD*) gene family and their responses to low-temperature stress in peach. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2110, No. 1, p. 020011). AIP Publishing LLC.
- Wang, X. (2002). Phospholipase D in hormonal and stress signaling. *Current opinion in plant biology*, 5(5), 408-414.
- Wang, X. (2005). Regulatory functions of phospholipase D and phosphatidic acid in plant growth, development, and stress responses. *Plant physiology*, 139(2), 566-573.
- Welti, R., Li, W., Li, M., Sang, Y., Biesiada, H., Zhou, H. E., ... & Wang, X. (2002). Profiling membrane lipids in plant stress responses: role of phospholipase Dα in freezing-induced lipid changes in *Arabidopsis*. *Journal of Biological Chemistry*, 277(35), 31994-32002.
- Yang, Z. (2007). PAML 4: phylogenetic analysis by maximum likelihood. *Molecular biology and evolution*, 24(8), 1586-1591.
- Zhao, J., Zhou, D., Zhang, Q., & Zhang, W. (2012). Genomic analysis of phospholipase D family and characterization of *GmPLD*s in soybean (*Glycine max*). *Journal of plant research*, 125(4), 569-578.



# COVID-19 Sürecinin Su Ayak İzine Etkisinin Değerlendirilmesi

Sevde Üstün Odabaşı<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3533-4089), [sevde.ustun@omu.edu.tr](mailto:sevde.ustun@omu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083604)

**ATIF/REFERENCE:** Üstün Odabaşı, S. (2022). COVID-19 Sürecinin Su Ayak İzine Etkisinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 594-600.

## Öz

Yeni tip Koronavirüsün (SARS-CoV-2) neden olduğu COVID-19 pandemisi ile dünya genelinde mücadele sürmektedir. COVID-19 pandemisi ile birlikte günlük alışkanlıklarımız, aktivitelerimiz ve yaşam tarzlarımızda pek çok değişiklikler meydana gelmiştir. Pandeminin bulaş riskini azaltmak için başta el hijyeni olmak üzere kişisel hijyenimize özen göstermemiz gerekmektedir. Bunun sonucunda ise tüketilecek su ihtiyacında artış olmaktadır. Su tüketiminin artması ile birlikte su sıkıntısı çekmeye başlayan ülkemizde su kaynaklarının doğru yönetilmesine ihtiyaç vardır. Su kaynaklarının ve su tüketiminin yönetiminin doğru planlanması su ayak izi ile olabilmektedir. Su ayak izi ile birlikte var olan su kaynaklarının kontrollü bir şekilde yönetilmesi ve hatta su tasarrufu yapılabilmektedir. Bu kapsamda çalışmada COVID-19 pandemisinin su ayak izine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmada katılımcıların pandemi öncesi ve pandemi sırasında su tüketimleri kıyaslanarak su ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında pandeminin neden olduğu su tüketim artışının farkı ortaya konarak su tüketimi ile ilgili katılımcıların bilinçlendirilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, Su Ayak İzi, Su Kaynakları, Anket, Pandemi.

## Evaluation of the Impact of the COVID-19 Process on the Water Footprint

### Abstract

The fight against the COVID-19 pandemic caused by the new type of Coronavirus (SARS-CoV-2) continues around the world. With the COVID-19 pandemic, many changes have occurred in our daily habits, activities, and lifestyles. In order to reduce the risk of transmission of the pandemic, we need to take care of our personal hygiene, especially hand hygiene. As a result, there is an increase in the need for water to be consumed. There is a need for the correct management of water resources in our country, which has started to suffer from water shortages with the increase in water consumption. The correct planning of the management of water resources and water consumption can be achieved with a water footprint. With the water footprint, the existing water resources can be managed in a controlled manner and even water savings can be made. In this context, the effect of the COVID-19 pandemic on the water footprint was investigated in this study. In the study, water footprint calculations were made by comparing the water consumption of the participants before and during the pandemic. In light of the information obtained, it aimed to raise the participants' awareness about water consumption by revealing the difference in the increase in water consumption caused by the pandemic.

**Keywords:** COVID-19, Water Footprint, Water Resources, Survey, Pandemic.

\* Sorumlu Yazar: [sevde.ustun@omu.edu.tr](mailto:sevde.ustun@omu.edu.tr)

## 1. Giriş

Yeni tip koronavirüs (SARS-CoV-2) solunum yolu rahatsızlığına sebep olan bir RNA virüsü olup ilk olarak Çin'in Hubei eyaletinin Wuhan kentinde 12 Aralık 2019 tarihinde ortaya çıkmış ve oradan da tüm dünyaya yayılmıştır. 11 Şubat 2020'de ise Dünya Sağlık örgütü (DSÖ) tarafından küresel salgın olarak ilan edilmiştir (Akkurt & Oğuz, 2021; CDC, 2019). Dünyada 04 Şubat 2022 tarihine kadar toplam 440,048,736 sayıda vaka görülmeyle birlikte bunlarında 5,984,174 kadarı da ölümle sonuçlanmıştır (Worldometer, 2022). COVID-19 virüsünün temel yayılım yolu; solunum ve temas olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Bir COVID-19 virüs parçacığı duman ve toz aerosollerinden daha küçük çaplı olup yaklaşık olarak 70-120 nm boyutundadır (Yurtsever, 2020). COVID-19 virüsü doğal çevrede hava, su, atıksuda ve yüzeyler gibi cansız ortamlarda da yaşayabilmektedir. Genellikle atıksuda bulunan virüsler oral-fekal yolla atılmaktadır. Virüslerin kanalizasyon sisteminde 10 güne kadar yaşayabildikleri ile ilgili bilgiler mevcut olmasına rağmen atıksudan bulaşı ile ilgili çok az bilgi mevcuttur (Sharma, Jinadatha, & Lichtfouse, 2020). Salgın süresince halk sağlığının korunması ve COVID-19 virüsünün yayılımını önlemek amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından bir genelge yayınlanmıştır (T.C. Çevre, 2020). Atıksular dışında içme suyu arıtım sistemleri de araştırmaya ihtiyaç duyan başka bir alandır. COVID-19 virüsünün içme suyu kaynaklarında rastlandığına dair henüz bir kanıt yoktur (Türkoğlu, 2020; WHO, 2020) Ancak yine de suların arıtımında yeterli dezenfeksiyonun sağlanması ve su dağıtım sistemlerinin yenilenmesi gerekmektedir. COVID-19 ile ilgili diğer bir konu virüsün bulaşma riskini önlemek amacıyla suyun fazla tüketilmesidir. COVID-19 kuralları kapsamında uygulanan "20 saniye kuralı"na uyarken ellerin yıkanması sırasında musluğun kapatılmaması ile 2 kat daha fazla su harcadığı bilinmektedir (Conover & Gibson, 2016; Yurtsever, 2020). Ayrıca alınan yiyecek, içecek ve ambalaj ürünlerinin yıkanmasının sıklıkla sonucunda da su kullanımı artmaktadır. Bunun yanında giysilerin kontaminasyon sebebi ile sıklıkla yıkanması ve sık sık el-yüz yıkanması, duş alınması sonucunda da su tüketimi katlanarak artmaktadır. Kişisel hijyen ve dezenfeksiyon amacı ile kullanılan sabunlar, deterjanlar gibi yüzey aktif maddeler kanalizasyon sistemine ulaşarak atık su artma tesislerinin yükünü arttırmaktadır. Yerel yönetimlerin pandeminin başlarında uyguladığı yanlış hijyen önlemleri, örneğin sokak ve caddelerin yıkanması gibi, hem var olan su kaynaklarını azaltmakta hem de atık su kapasitesini arttırmaktadır (Yurtsever, 2020). COVID-19 etkileri göz önünde bulundurulduğunda su kaynaklarının kullanımı giderek artacaktır. Bir taraftan sağlığımız korunurken diğer taraftan kısıtlı olan su kaynaklarımız hızlıca tükenmektedir. Bu nedenle su ayak izinin

hesaplanması ve su tüketiminin etkilerinin net bir şekilde ortaya konması gerekmektedir.

Su ayak izi kavramı, Hollanda Twente Üniversitesi ile Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network) tarafından geliştirilmiştir (Water Footprint Network, 2011). Su ayak izi, birim zamanda tüketilen ya da kirletilen temiz su miktarını belirlemektedir. Su ayak izi kendi içerisinde mavi su ayak izi, yeşil su ayak izi ve gri su ayak izi olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Mavi su ayak izi, yüzeysel sular (nehirler, göller, baraj rezervuarları gibi) ve yeraltı suları içermektedir. Yeşil su ayak izi ise, üretimde kullanılan toplam yağış miktarını ya da yağmur suyunu ifade etmektedir. Gri su ayak izi ise kirletilmiş su ya da kirliliği azaltmak için kullanılan su miktarını ifade etmektedir (Batan, 2021; Teke, 2021). Su kaynaklarının akılcı bir şekilde kullanılmasının planlanması ve yönetimi su ayak izi ile gerçekleştirilebilir. Örneğin, kurak veya yarı kurak bölgelerde mavi su ayak izinin yüksek olması ilerde o bölgenin su stresi çekebileceği anlamına gelmektedir (Batan, 2021). Yeşil su ayak izi tüketimi yüksek olan bir bölge için ise üretimin ve tüketimin yağışlara ve iklim koşullarına karşı duyarlı olduğu anlaşılmaktadır (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). Gri su ayak izi yüksek olan bir bölgenin ise sanayisinin gelişmiş olduğu ya da kirliliğin fazla olduğu bir bölge olduğu yorumu yapılabilmektedir (Johnson & Mehrvar, 2019). Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF-Türkiye) 2014 yılında yayınladığı raporuna göre Türkiye'de üretimden kaynaklanan su ayak izinin %64'ü yeşil su ayak izi, %19'u mavi su ayak izi ve %17'sinin gri su ayak izinden oluştuğunu ifade etmişlerdir (WWF-Türkiye, 2014). Toplam su ayak izi hesabı yapılırken üretim ve tüketimde kullandıkları su dışında dolaylı su kullanımına da dikkat edilmektedir. Yani hem doğrudan su kullanımı hem de bir ürünün üretim hattı boyunca kullandığı dolaylı su kullanımının da hesaplanması gerekmektedir. Bu da sanal su kavramı olarak adlandırılmaktadır (Turan, 2017). Buna örnek olarak günlük hayatımızda sıklıkla tükettiğimiz çay ve kahvenin soframıza gelene kadar tüketilen su miktarının oldukça çarpıcı olduğu görülmektedir. Örneğin soframızda içtiğimiz bir bardak kahvenin su tüketimi 140 litre ve yine tüketilen bir fincan çayın su tüketimi ise 30 litredir (WWF-Türkiye, 2014). Bu içeceklerin şeker ve süt ile birlikte tüketimi tercih edildiğinde harcanan su miktarı daha da artmaktadır. Su ayak izi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde tarımsal ürünlerin su ayak izleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise tarımsal ürünlerin yetiştirilmesinde hesaplanan su ayak izi Dünya'daki toplam su ayak izi hesaplamalarının %70'ini oluşturmasıdır. Ancak son zamanlarda akarsu havzalarının ve endüstriyel üretim yapan fabrikalarında su ayak izleri sıklıkla hesaplanmaktadır (Alvarez-Pugliese, Machuca-Martínez, & Pérez-Rincón, 2021; Johnson & Mehrvar, 2019; Muratoğlu, 2020; Novoa et al., 2019). Tablo 1'de su ayak izi ile ilgili yapılmış farklı çalışmalar derlenmiştir.

Tablo 1. Su ayak izi ile ilgili yapılmış farklı çalışmalar

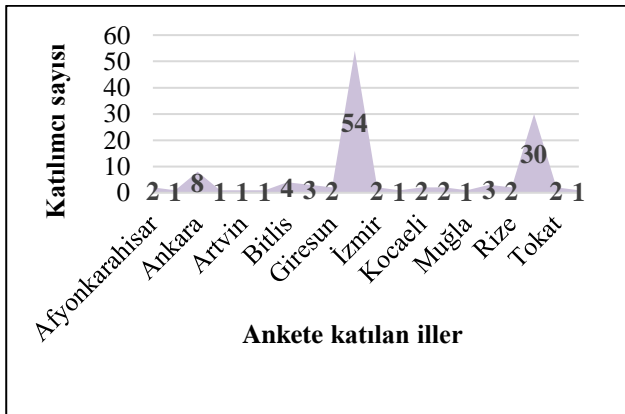
Çalışmanın Adı	Sonuçlar	Referans
Türk Mutfak Kültürünün Sera Gazı Emisyonu ve Su Ayak İzinin Belirlenmesi	Kebapların 1,1303 m <sup>3</sup> /ton, tavuk yemeklerinin 1,0788 m <sup>3</sup> /ton ve köftelerin 1,0173 m <sup>3</sup> /ton ile en yüksek su ayak izine sahip olduklarını tespit etmişlerdir.	(Erdogan, 2018)
Altın çıkarmada su ayak izi: Suárez, Cauca, Kolombiya'da bir vaka çalışması	Çalışma sonucunda çıkarılan her bir kg altın için mavi su ayak izi, 79.91 m <sup>3</sup> ve gri su ayak izi ise 272.125,39 m <sup>3</sup> ile 404.825,11 m <sup>3</sup> aralığında bulunmuştur.	(Alvarez-Pugliese et al., 2021)

Yangtze Nehri Havzasında gri su ayak izi verimliliğinin ölçümü ve itici faktörler	Çalışma sonunda gri su ayak izini ekonomik etki, endüstriyel alt yapı etkisi, verimlilik etkisi, kişi başına düşen su ayak izi etkisi gibi pek çok faktörün etkilediğini tespit etmişlerdir. Orta bölgelerdeki ortalama gri su ayak izi doğu bölgesinden %40, batı bölgesinden ise %172 daha yüksek olduğunu da tespit etmişlerdir.	(Fu, Xu, Yang, Hou, & Xia, 2022)
Nijerya'da kuru soğan üretiminin su ayak izi	Çalışma sonunda Nijerya'da yıllık kuru soğan üretimi $3,36 \times 10^9$ m <sup>3</sup> olduğu ve bunun sonucunda $0,07 \times 10^9$ m <sup>3</sup> tatlı suyun kullanıldığını belirlemiştir.	(Adeoti, Oyedele, & Yusuf, 2021)
Sürdürülebilirlik kavramı içerisinde su ayak izi: Tekstil sektörü örneği	Çalışmada pamuk için Aydın, Adana, Antalya, Diyarbakır, İzmir ve Şanlıurfa illerinin su ayak izleri hesaplanmıştır. Çalışma sonunda Adana şehri mavi ve yeşil su ayak izleri toplamı 1631 m <sup>3</sup> /ton ile en az su tüketimine sahip olan şehir olarak bulunmuştur.	(Alper, 2015)
Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsünde görev yapan personel ve öğrenim gören öğrencilerin su ayak izinin belirlenmesi	Çalışmada 160'i öğrenci 160'ü personel olmak üzere su ayak izi ile ilgili bir anket yapılmıştır. Anket sonuçlarına göre personelin su ayak izi ortalama 1420,4 m <sup>3</sup> /yıl, öğrencilerin su ayak izi ortalama 1490,1 m <sup>3</sup> /yıl, toplam su ayak izi ise ortalama 1455,2 m <sup>3</sup> /yıl olarak tespit etmişlerdir.	(Sarı et al., 2018)

Dünya nüfusunun %50'sinin %2'lik bir alana sahip olan şehirlerde yaşaması şehirlerdeki su tüketimini önemli hale getirmektedir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde kişi başına su kullanımı dolayısıyla su ayak izinde büyük farklılıklar meydana gelmektedir. Bu duruma sel, deprem, salgın gibi olağandışı durumlar eklendiğinde su tüketimi normal standartlara göre oldukça farklılık göstermektedir. Bu çalışmada da COVID-19 pandemisinin bireysel su tüketimini nasıl etkilediği ölçülmek istenmiştir. Bu kapsamda Türkiye'deki çeşitli illerden katılımcıların pandemi öncesi ve pandemi sırasındaki yaşam tarzları ve alışkanlıkları ile ilgili sorular yönetilmiş ve verdikleri yanıtlara göre bireysel su ayak izi hesaplaması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

Çalışmada katılımcılara 55 adet soru yöneltilerek COVID-19 pandemisi öncesi ve pandemi sırasındaki harcadıkları su miktarları ile ilgili sorulara sorulmuş ve verilen cevaplar doğrultusunda su ayak izleri hesaplanmıştır. Çalışmada COVID-19 pandemisi ile birlikte katılımcıların evsel su tüketimlerinde, beslenme alışkanlıklarında ve yaşam tarzlarında değişiklik olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışma Türkiye'nin tüm bölgelerinden en az bir il olacak şekilde çeşitli illerden katılım sağlanması amaçlanmıştır. Ankete toplamda 123 kişi katılmış olup katılımcılara yönetilen sorular 3 kategoride olup Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 1'de ise il bazında ankete katılım oranları gösterilmektedir.



Şekil 1. Ankete katılan iller ve katılımcı sayıları

Tablo 2. Su ayak izi anket soruları

### Evsel Tüketim (Doğrudan Su Ayak İzi)

1. Yaşınız yazınız.
2. Ailenizdeki birey sayısı yazınız.
3. Yaşadığınız il yazınız.
4. COVID-19 pandemisi öncesinde hanenizin su tüketimi aylık kaç metreküp'tür?
5. COVID-19 pandemisi süresince hanenizin su tüketimi aylık kaç metreküp'tür?
6. Aracınızı COVID-19 pandemisi öncesi haftada kaç kez yıkıyordunuz?
7. Aracınızı COVID-19 pandemisi süresince haftada kaç kez yıkıyorsunuz?
8. COVID-19 pandemisi öncesinde aylık içme suyu (damacana vb) tüketiminiz (hane) kaç litreydi?
9. COVID-19 pandemisi süresince aylık içme suyu (damacana vb) tüketiminiz (hane) kaç litredir?

### Gıda Tüketimi (Dolaylı Su Ayak İzi)

10. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık et tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
11. COVID-19 pandemisi süresince haftalık et tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
12. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık beyaz et (tavuk, hindi) tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
13. COVID-19 pandemisi süresince haftalık beyaz et (tavuk, hindi) tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
14. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık sebze tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
15. COVID-19 pandemisi süresince haftalık sebze tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
16. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık meyve tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
17. COVID-19 pandemisi süresince haftalık meyve tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
18. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık bakliyat tüketiminiz (mercimek, nohut gibi) (hane) kaç kilogramdır?
19. COVID-19 pandemisi süresince haftalık bakliyat tüketiminiz (mercimek, nohut gibi) (hane) kaç kilogramdır?
20. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık makarna tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
21. COVID-19 pandemisi süresince haftalık makarna tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?

22. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık pirinç tüketiminiz (hane) kaç kilogramdı?
  23. COVID-19 pandemisi süresince haftalık pirinç tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
  24. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık patates tüketiminiz (hane) kaç kilogramdı?
  25. COVID-19 pandemisi süresince haftalık patates tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
  26. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık peynir tüketiminiz (hane) kaç kilogramdı?
  27. COVID-19 pandemisi süresince haftalık peynir tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
  28. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık süt tüketiminiz (hane) kaç litreydi?
  29. COVID-19 pandemisi süresince haftalık süt tüketiminiz (hane) kaç litredir?
  30. COVID-19 pandemisi öncesi haftalık yoğurt tüketiminiz (hane) kaç litreydi?
  31. COVID-19 pandemisi süresince haftalık yoğurt tüketiminiz (hane) kaç litredir?
  32. COVID-19 pandemisi öncesi aylık tatlı tüketiminiz (hane) kaç kilogramdı?
  33. COVID-19 pandemisi süresince aylık tatlı tüketiminiz (hane) kaç kilogramdır?
  34. COVID-19 pandemisi öncesi günde kaç bardak kahve tüketirdiniz?
  35. COVID-19 pandemisi süresince günde kaç bardak kahve tüketiyorsunuz?
  36. COVID-19 pandemisi öncesi 1 fincan kahve için kaç adet şeker kullanırdınız?
  37. COVID-19 pandemisi süresince 1 fincan kahve için kaç adet şeker kullanıyorsunuz?
  38. COVID-19 pandemisi öncesi günde kaç bardak çay tüketirdiniz?
  39. COVID-19 pandemisi süresince günde kaç bardak çay tüketiyorsunuz?
  40. COVID-19 pandemisi öncesi 1 fincan çay için kaç adet şeker kullanırdınız?
  41. COVID-19 pandemisi süresince 1 fincan çay için kaç adet şeker kullanıyorsunuz?
  42. COVID-19 pandemisi öncesi günlük (hane) kaç adet ekmek tüketirdiniz?
  43. COVID-19 pandemisi süresince günlük (hane) kaç adet ekmek tüketiyorsunuz?
  44. COVID-19 pandemisi öncesi günlük (hane) kaç adet yumurta tüketirdiniz?
  45. COVID-19 pandemisi süresince günlük (hane) kaç adet yumurta tüketiyorsunuz?
- 
- Diğer Tüketimler (Dolaylı Su Ayak İzi)**
46. COVID-19 pandemisi öncesinde aylık elektrik fatura miktarınız kaç Türk lirasıydı?
  47. COVID-19 pandemisi süresince aylık elektrik fatura miktarınız kaç Türk lirasıdır?
  48. COVID-19 pandemisi öncesinde aylık benzin harcamanız kaç Türk lirasıydı?
  49. COVID-19 pandemisi süresince aylık benzin harcamanız kaç Türk lirasıdır?
  50. COVID-19 pandemisi öncesinde aylık lpg harcamanız kaç Türk lirasıydı?
  51. COVID-19 pandemisi süresince aylık lpg harcamanız kaç Türk lirasıdır?
  52. COVID-19 pandemisi öncesinde aylık kıyafet harcamanız kaç Türk lirasıydı?

53. COVID-19 pandemisi süresince aylık kıyafet harcamanız kaç Türk lirasıdır?
54. COVID-19 pandemisi öncesinde aylık elektronik ürünler harcamanız kaç Türk lirasıydı?
55. COVID-19 pandemisi süresince aylık elektronik ürünler harcamanız kaç Türk lirasıdır?

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma, katılımcıların COVID-19 pandemisi öncesi ve pandemi sırasındaki su ayak izlerinin hesaplanmasını içermektedir. Anket soruları kendi içerisinde evsel tüketim (doğrudan su ayak izi), gıda tüketimi (dolaylı su ayak izi) ve diğer tüketimler (dolaylı su ayak izi) olmak üzere üç kategoriden oluşmaktadır. Ankette su ayak izi hesabı dışında, doğrudan ve dolaylı su ayak izi hesabı ile su ayak izi çeşitleri (mavi, yeşil ve gri su ayak izi) hesaplamaları da yapılarak sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Anket online olarak düzenlenmiş olup cevaplar otomatik olarak kaydedilmiştir. Anket cevapları su ayak izi hesaplaması yapan bir web site kullanılarak yapılmıştır (GTE, 2022). Tablo 3'te ise anket sorularına verilen yanıtlar sonucunda hesaplanmış COVID-19 pandemisi öncesinde ve COVID-19 pandemisi esnasındaki evsel, gıda ve diğer tüketimlerin su ayak izi hesaplama sonuçları verilmiştir.

#### 3.1. Evsel Tüketim (Doğrudan Ayak İzi)

Çalışma sonuçları yorumlandığında COVID-19 öncesi evsel su ayak izi (doğrudan su ayak izi) toplam 19741 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken COVID-19 salgını esnasında toplam evsel tüketim 25987 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Veriler analiz edildiğinde 1.3 kat artış olduğu görülmektedir. Mart ayının ortasında Türkiye'de ilk vakanın görülmesinden itibaren sokağa çıkma yasağı olması ve alınan ürünlerin ambalajların yıkanması, ellerin 20sn kuralına göre ve sıkça yıkanması, ev temizliğindeki artış ve giysilerin devamlı olarak yıkanması gibi faktörlerden dolayı evsel su tüketiminde artış görülmüştür. Anketin ilk 9 sorusu evsel tüketim üzerine hazırlanmıştır. Evsel tüketim miktarı kendi içerisinde yeşil, mavi ve gri su ayak izi olarak incelendiğinde ise anket sonuçlarına göre COVID-19 pandemisi öncesinde yeşil su ayak izi; 0 m<sup>3</sup>/yıl, mavi su ayak izi; 1048 m<sup>3</sup>/yıl ve gri su ayak izi ise 18694 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi esnasında yeşil su ayak izi 0 m<sup>3</sup>/yıl, mavi su ayak izi 1333 m<sup>3</sup>/yıl ve gri su ayak izi ise 24659 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Yeşil su ayak izi yağmur suyu tüketim miktarı olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle bu değer m<sup>3</sup> başına neredeyse sıfırdır. Mavi su ayak izi ise yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının kullanımını içermektedir. Evlerimizde kullandığımız içme ve şebeke suları bu kısma girmektedir ve COVID-19 pandemisi esnasında kişisel hijyen çok önemli olduğu için sıkça su tüketimi olmuştur. Gri su ayak izi olarak adlandırılan kısım ise kullanım sonucu toplam arıtılması gereken atık suyu ifade edilmektedir. Gri atıksu miktarında COVID-19 pandemisi esnasında m<sup>3</sup> başına çok fazla artış görülmüştür. Bertaraf edilmesi gereken su miktarında artış gözlemlenmiştir.

#### 3.2. Gıda Tüketimi (Dolaylı Ayak İzi)

İnsan ihtiyaçlarından olan temel gıda tüketimi sadece besin kaynaklarına bağlı olamamakla birlikte ayrıca besin tedarik zinciri kısımları enerji, toprak ve su gibi diğer kaynaklarla da yakından bağlantılıdır (Dursun, 2019). Anket çalışmasında gıda tüketim alanı toplamda 36 sorudan oluşmaktadır. Bu soruların hepsi ucu açık sorudur. Anket çalışması sonuçlarına göre toplam gıda tüketimine bağlı su ayak izi COVID-19 pandemisi öncesinde



135230 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken COVID-19 pandemisi esnasında toplam 152881 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi esnasında gıda tüketim verilerinde 1.13'lük bir artış gözlemlenmiştir. Bunun en önemli sebebi COVID-19 pandemisi esnasında restoranların kapalı olması ve hanelerin evde yemek yapma oranlarındaki artışı olarak gösterilebilir. Aynı zamanda gıda temininin de sıkıntı yaşanması durumu ve sürekli olarak markete gitme ihtiyacının azaltılması amacıyla gereğinden fazla gıda alışverişinin yapılması bunun en önemli nedenleri arasındadır. Yine anket soruları incelendiğinde meyve ve sebze tüketiminin diğer gıda malzemelerine oranla COVID-19 pandemisi esnasında çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun en önemli sebebi kişilerin pandemiye karşı sağlıklı beslenerek bağışıklık sistemini güçlü tutmak istemesinden kaynaklanmaktadır. Gıda tüketimi bazında yeşil, mavi ve gri su ayak izi karşılaştırıldığında ise COVID-19 pandemisi öncesinde yeşil su ayak izi 110288 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken COVID-19 pandemisi esnasında yaklaşık 124312 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Yeşil su ayak izi yağmur suyu tüketimi özellikle mahsul üretim ile ilgilidir. Pandemi esnasında meyve ve sebzeyle olan talebin artması, ekme ihtiyacının artması sonucu buğday üretiminin artması gibi dolaylı nedenlerden dolayı artış gözlemlenmiştir. Mavi su ayak izi ise COVID-19 pandemisi öncesinde 14595 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken COVID-19 pandemisi esnasında ise 16875 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Mavi

su ayak izi birim ürün ya da hizmetin üretiminde tüketilen su miktarı olarak nitelendirilmektedir. Yani tarımda ve fabrikaların üretim hatlarında kullanılan su ayak izi olarak nitelendirilmektedir. COVID-19 pandemisi esnasında gıda tüketimine olan ihtiyacın artışı su ayak izinin artışına neden olmuştur. Bu nedenle mavi su ayak izi de gıda tüketim su ayak izi paydaşlarında COVID-19 pandemisi esnasında yüksektir. Özellikle kırmızı et tüketimi, kahve ve çay tüketimi gibi adımlarda su ayak izi oldukça yüksek çıkmaktadır. WWF raporuna göre "bir fincan kahve için 140 litre" suya ihtiyaç duyulmaktadır (WWF-Türkiye, 2014). Anket soruları değerlendirildiğinde karantina ve kısıtlamalar nedeni ile evlerde geçirilen zamanın fazla olması nedeniyle çay, kahve tüketimi gibi kişisel alışkanlıklarımızda artış gözlemlenmiştir. Bu da dolaylı su ayak izini arttıran önemli adımlardan birisidir. Gıda tüketimine bağlı gri su ayak izi hesaplandığında ise COVID-19 pandemisi öncesinde miktar 10349 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken, COVID-19 pandemisi esnasında toplam gri su ayak izi ise 11692 m<sup>3</sup>/yıl olarak bulunmuştur. Gıda üretimi gerçekleştirilirken açığa çıkan atık su miktarıdır. Özellikle fabrikaların üretim bandında oluşan atık sular ve kanalizasyon sistemine deşarj edilen sular gıda tüketimi su ayak izinin gri su adımı oluşturmaktadır. Pandemi sırasında talep artışına bağlı olarak tüketilen gıda ürünlerine karşılık dolaylı olarak gri su ayak izinde de artış görülmüştür.

Tablo 3. Evsel, gıda ve diğer tüketim su ayak izi sonuçları

COVID-19 Pandemisi Öncesi (m <sup>3</sup> /kişi/yıl)			COVID-19 Pandemisi Esnasında (m <sup>3</sup> /kişi/yıl)		
Evsel Tüketim	Gıda Tüketimi	Diğer Tüketim	Evsel Tüketim	Gıda Tüketimi	Diğer Tüketim
19741	135230	2370	25987	152881	2081

### 3.3. Diğer Tüketim (Dolaylı Ayak İzi)

Çalışmanın bu aşamasında ise gıda tüketimine bağlı olamayan ancak kişisel tüketimlerimiz sonucunda dolaylı olarak su sarfiyatı oluşturan sorular katılımcılara yöneltilmiştir. Katılımcılara bu bölümde toplamda 10 adet soru yöneltilmiş ve bu soruların içeriği ise elektrik tüketimi, yakıt tüketimi, kıyafet ve elektronik alışverişleri ile ilgili olup ve TL bazında cevaplar verilmesi istenmiştir. Kısacası endüstriyel ürün tüketimine bağlı soruları kapsamaktadır. Bu kapsamda COVID-19 pandemisi öncesi ve esnasında elektrik, yakıt kullanımı ve giyim-elektronik alışverişlerinin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Anket cevaplarından en çarpıcı olan sonuç araçların yakıt tüketimi ile ilgili sorulara verilen cevaplarda elde edilmiştir. COVID-19 pandemisi öncesindeki yakıt tüketimi COVID-19 pandemisi esnasındaki değere göre tüketim bedeli olarak yaklaşık %50 azaldığı belirlenmiştir. Bunun en önemli nedeni olarak sokağa çıkma yasağı ve kısıtlamalar olarak görülmektedir. Bu soru bazında anket sorularına verilen yanıtların az da olsa bir kısmında artış görülmüştür. Bunun nedeni olarak ise toplu taşımada bulaş riskinin fazla olmasından dolayı kişisel araç kullanımındaki artış olarak yorumlanabilir. Genel olarak diğer su ayak izi hesaplamaları yorumlandığında COVID-19 pandemisi öncesinde toplam diğer su ayak izi 2370 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken COVID-19 pandemisi esnasında toplam diğer su ayak izi 2081 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer başlıklardan farklı olarak bu başlıkta COVID-19 öncesi su ayak izinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Anket sorularına verilen cevaplar incelendiğinde giyim ve elektronik alışveriş harcamalarında pandemi esnasında azalma gözlemlenmiştir. Sokağa çıkma kısıtlamalarının olması, alışveriş merkezlerinin kapalı olması, evden çalışma ve psikolojik

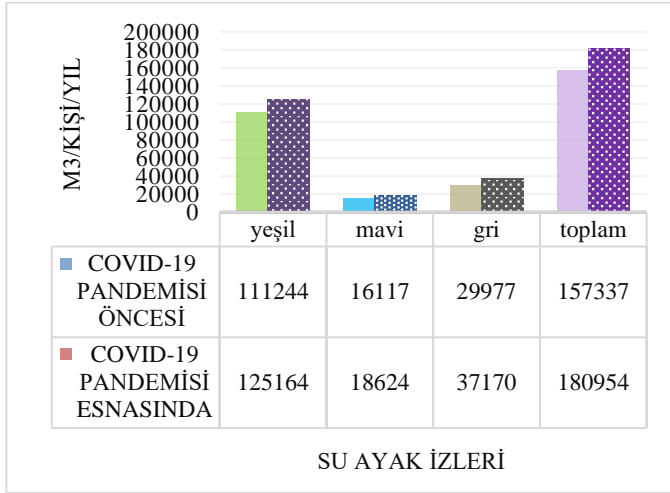
sebeplerle giyim ve elektronik harcama bedellerinin azaldığı düşünülmektedir. Diğer su ayak izi altında yeşil, mavi ve gri su ayak izi hesaplamaları incelendiğinde ise COVID-19 pandemisi öncesinde yeşil su ayak izi 952 m<sup>3</sup>/yıl, mavi su ayak izi 468 m<sup>3</sup>/yıl ve gri su ayak izi ise 941 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi esnasında ise yeşil su ayak izi 843 m<sup>3</sup>/yıl, mavi su ayak izi 414 m<sup>3</sup>/yıl ve gri su ayak izi ise 817 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.

### 3.4. Toplam Su Ayak İzi

Anket çalışması sonunda COVID-19 pandemisi öncesi ve COVID-19 pandemisi esnasındaki evsel, gıda ve diğer su ayak izlerinin toplamının kıyaslaması yapılmıştır. Bu sonuçlarda kendi arasında yeşil, mavi ve gri su ayak izi olarak da sınıflandırılmış ve Şekil 2'de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde COVID-19 pandemisi öncesinde toplam su ayak izi 157337 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken COVID-19 pandemisi esnasında 180954 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Pandemi esnasında su ayak izinde yaklaşık olarak 1.15 civarında artış olduğu belirlenmiştir. Bu artışın en önemli nedeni pandemi şartlarında virüsün bulaş riskini en aza indirme önemleri görülebilir.

Bunlara örnek verecek olursak ellerimizi sık sık ve 20sn kuralına uygun olarak yıkamak, aldığımız ambalaj ürünlerinin yıkanması ve açık gıdaların (meyve-sebze) gereğinden fazla yıkanması, kısıtlamalar nedeni ile restoranların kapalı olması ve buna bağlı olarak evlerde tüketilen gıdaların fazla olması, yine kısıtlamalar nedeni ile gıda ürünlerine ulaşılama kaygısı gibi

nedenlerden gereğinden fazla alışveriş yapılmasından dolayı su ayak izinde artış olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. COVID-19 pandemisi öncesi ve pandemi esnasındaki su ayak izleri

#### 4. Sonuç

Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetimi COVID-19 pandemisi nedeniyle daha da önem kazanmıştır. Pandemi koşullarında virüsten korunma amacıyla su tüketimindeki artış “su sıkıntısı çeken” ülkemizde dikkat edilmesi gereken bir konu haline gelmektedir. Bu kapsamda su kaynaklarının ve su yönetiminin doğru bir şekilde yapılması ve halkın bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada da halkın pandemi öncesi ve pandemi sırasındaki tüketimlerine bağlı olarak su ayak izlerinin hesaplanması ve halkın su tüketimine olan farkındalığının artırılması amaçlanmıştır. Katılımcıların yanıtlarına göre pandemi öncesinde toplam su ayak izi 157337 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken pandemi esnasında 180954 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak ankete katılan kişi bazında yıllık su ayak izi hesaplandığında pandemi öncesinde yaklaşık 1279 m<sup>3</sup> ve pandemi esnasında ise 1471 m<sup>3</sup> su sarfiyatı tespit edilmiştir. Aradaki fark yaklaşık ortalama 192 m<sup>3</sup> gibi bir rakama tekabül etmektedir. Araştırma sonuçlarına göre COVID-19 pandemisi ile halkın su tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Su kıtlığının küresel bir zorluk oluşturduğu bilinci ile su kaynaklarının tasarruflu bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Örneğin evsel su kullanımını azaltmak için duş başlıkları ve sifonlarda tasarruflu su sistemlerinin kullanılması, su kayıp ve kaçaklarının önlenmesi, çamaşır ve bulaşık makinelerinin tam doldurulduktan sonra çalıştırılması, diş fırçalarken musluğun açık bırakılmaması, ülkemizde günde 5 milyon ekmeğin çöpe gittiğini düşündüğümüzde gereğinden fazla gıda alışverişinin yapılmaması, kullan-at kültürünün yaygın olduğu şu günlerde ihtiyaçtan fazla kıyafet ve elektronik eşya alışverişini yapılmaması, yakıtlı araçlar yerine bisiklet gibi taşıtlarla ulaşımın sağlanması gibi alınacak kişisel önemler ve yaşam tarzının değiştirilmesi ile su israfının önüne geçilerek gelecek nesillere sürdürülebilir bir dünya bırakmak biz toplumun elindedir.

#### 5. Teşekkür

Anket çalışmasına katkıda bulunan tüm katılımcılara ve bu anket çalışmasının yapılmasına izin veren Ondokuz Mayıs Üniversitesi ve T.C. Sağlık Bakanlığı'na teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- Adeoti, O., Oyedele, O. A., & Yusuf, A. (2021). The water footprint of dry onion production in Nigeria. *Water Resources and Industry*, 25, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100147>
- Akkurt, Ş., & Oğuz, M. (2021). Atıksularda Koronavirüslerin Varlığı, Akıbeti Ve Giderimi: COVID-19 Üzerine Bir Derleme. *European Journal of Science and Technology*, (23), 330–340. <https://doi.org/10.31590/ejosat.867432>
- Alper, F. (2015). SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI İÇERİSİNDE SU AYAK İZİ: TEKSTİL SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ (Vol. 53). Retrieved from [http://publicacoes.cardiol.br/portal/ijcs/portugues/2018/v3103/pdf/3103009.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-75772018000200067&lng=en&tlng=en&SID=5BQIj3a2MLaWUV4OizE%0Ahttp://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci\\_](http://publicacoes.cardiol.br/portal/ijcs/portugues/2018/v3103/pdf/3103009.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-75772018000200067&lng=en&tlng=en&SID=5BQIj3a2MLaWUV4OizE%0Ahttp://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci_)
- Alvarez-Pugliese, C. E., Machuca-Martínez, F., & Pérez-Rincón, M. (2021). Water footprint in gold extraction: A case-study in Suárez, Cauca, Colombia. *Heliyon*, 7(9), e07949. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07949>
- Batan, M. (2021). Kuraklıkla mücadele eden Şanlıurfa ilinde su kullanımının planlanması: Su ayak izi analizleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4, 2135–2149. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.790928>
- CDC. (2019). Centers for Disease Control and Prevention. Retrieved from [https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/global-covid-19/index.html?CDC\\_AA\\_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fcoronavirus%2F2019-ncov%2Fglobal-covid-19%2Fworld-map.html](https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/global-covid-19/index.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fcoronavirus%2F2019-ncov%2Fglobal-covid-19%2Fworld-map.html)
- Conover, D. M., & Gibson, K. E. (2016). A review of methods for the evaluation of handwashing efficacy. *Food Control*, 63, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.11.020>
- Dursun, N. (2019). Ardahan Üniversitesi Yenisey Kampüsü'nde Görev Yapan Personel ve Öğrenim Gören Öğrencilerin Su Ayak İzinin Belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(3), 1526–1536. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.587306>
- Erdogan, P. (2018). *Determination of Greenhouse Gas Emission and Water Footprint of Turkish Cuisine*. 1–80.
- Fu, T., Xu, C., Yang, L., Hou, S., & Xia, Q. (2022). Measurement and driving factors of grey water footprint efficiency in Yangtze River Basin. *Science of the Total Environment*, 802, 149587. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149587>
- GTE. (2022). GTE-Su ayak izi hesaplayıcısı. Retrieved from <https://www.gte.com.tr/water-footprint-calculator/index.php?language=tr#/results>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. In *Social and Environmental Accountability Journal* (Vol. 31). <https://doi.org/10.1080/0969160x.2011.593864>
- Johnson, M. B., & Mehrvar, M. (2019). An assessment of the grey

- water footprint of winery wastewater in the Niagara Region of Ontario, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 214, 623–632. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.311>
- Muratoğlu, A. (2020). Assessment of water footprint of production: A case study for Diyarbakır province. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 845–858. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.543933>
- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K., & Arumí, J. L. (2019). Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98(October 2018), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.048>
- Sarı, E., Çağatay, M. N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T. N., ... Sezer, N. (2018). Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. *Chemosphere*, 205, 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.096>
- Sharma, V. K., Jinadatha, C., & Lichtfouse, E. (2020). Environmental chemistry is most relevant to study coronavirus pandemics. *Environmental Chemistry Letters*, 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01017-6>
- T.C. Çevre, Ş. ve İ. D. B. (2020). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Retrieved from <https://cygm.csb.gov.tr/covid-19-salgini-ve-atiksu-yonetimine-iliskin-onlemler-genelgesi-duyuru-407943>
- Teke, B. (2021). *İnek Sütü Üretiminde Su Ayak İzi Water Footprint for Cow Milk Production Burcu Teke ve Ceyhan Kahya BULLETIN OF THE*. (March).
- Turan, E. S. (2017). Türkiye'nin su ayak izi değerlendirmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74, 55–62. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.29592>
- Türkoğlu, H. (2020). Covid-19 Sonrası Kent ve Kent Planlama. Retrieved from <https://www.skb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/09/COVID-19-Sonrasi-Kent-ve-Kent-Planlama-Prof.-Dr.-Handan-Turkoglu.pdf>
- Water Footprint Network. (2011). Water Footprint Network. Retrieved from <https://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>
- WHO. (2020). Public Health Surveillance for COVID-19. Retrieved from <https://www.who.int/%0Apublications/i/item/who-2019-nCoV-surveillanceguidance-2020.8>
- Worldometer. (2022). Worldometer. Retrieved from <https://www.worldometers.info/coronavirus/worldwide-graphs/#total-cases>
- WWF-Türkiye. (2014). World Wide Fund for Nature (WWF)-Türkiye. Retrieved from [http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/su\\_ayak\\_izi\\_raporweb.pdf](http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/su_ayak_izi_raporweb.pdf)
- Yurtsever, M. (2020). Covid-Pandemisinin Çevre Üzerindeki Erken Dönem Etkileri. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1611–1636. <https://doi.org/10.17482/uumfd.781173>



# Yaşlıları Günlük Yaşamlarında Destekleyici Mobil Sağlık Uygulaması Geliştirilmesi

Ismael Thomas Cissé<sup>1\*</sup>, Özgün Yılmaz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7214-5776), [cisse9.tc@gmail.com](mailto:cisse9.tc@gmail.com)

<sup>2</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4394-4031), [ozgun.yilmaz@ege.edu.tr](mailto:ozgun.yilmaz@ege.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083647)

**ATIF/REFERENCE:** Cissé, I.T. & Yılmaz, Ö. (2022). Yaşlıları Günlük Yaşamlarında Destekleyici Mobil Sağlık Uygulaması Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 601-609.

## Öz

Uzayan insan ömrüyle birlikte, dünya üzerindeki yaşlıların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Öte yandan, bilişim teknolojileri günlük yaşantımızı temelden etkilemiş ve aynı zamanda sağlık endüstrisinin insanlara daha iyi sağlık hizmeti sunmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, yaşlılara günlük yaşamlarında destek olacak ve sağlık verilerini hekimlere iletecek bir mobil sağlık uygulaması olan MMALI mobil uygulaması anlatılmaktadır. Bu uygulamada, yaşlılarda görülebilecek unutkanlık sorununa çözüm olarak hatırlatma özelliği vardır. İlaç alma, tıbbi ölçümler yapma ve günlük yaşam aktiviteleri ile ilgili diğer görevler için hatırlatıcılar tanımlanabilmektedir. Yaşlılar yaşadıkları sağlık sorunlarını ve tıbbi ölçümleri merkezi sunucuya bildirebilmektedir. Bu sayede büyük bir kullanıcı grubunun sağlık verileri düzenli olarak toplanabilir ve bu veri üzerinde veri madenciliği ve veri analizi yapılarak yeni bilgiler elde edilebilir. Yaşlı bireyin yakınları, bireyin kaybolması durumunda konum takibi de yapabilmektedir. Ayrıca merkezi sunucuda bulunan anketler yaşlılara uygulanabilmektedir. Bu sayede kağıt, baskı, posta masrafi olmadan ve bireyin sağlık merkezlerine gitmesine gerek kalmadan çok fazla sayıda kullanıcıdan geri bildirim alınabilmesi planlanmıştır. Yaşlı bireylere sunulan bu uygulama ile bireylerin kendilerini daha özgür ve özgüvenli hissedecekleri düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil sağlık, Yaşlı bakımı, Ortam zekası, Ortam destekli yaşam, Bağlam farkındalık

## Development of a Mobile Health Application Supporting the Elderly in Their Daily Lives

### Abstract

As a result of increased human lifespan, the number of elderly people in the world is increasing day by day. On the other hand, information technologies have fundamentally affected our daily lives and enabled the healthcare industry to provide better healthcare to people. In this paper, the MMALI mobile application, which is a mobile health application that supports the elderly in their daily lives and transmit health data to physicians, is described. As a solution to the forgetfulness problem that can be seen in the elderly, reminders can be defined for taking medication, making medical measurements, and other tasks related to daily activities. The elderly can report their health problems and medical measurements to the central server. Thus, health data of a large user group can be collected regularly, and new information can be obtained by data mining and data analysis on this data. Relatives of the elderly can also track the elderly's location in case of disappearance because of the wandering behavior encountered in some elderlies. In addition, the questionnaires on the central server can be applied to the elderly. In this way, it is planned to receive feedback from many users without the expense of paper, printing, postage and without the need for the individual to go to health centers. By using the mobile application proposed in this paper, it is considered that elderly will feel more free and self-confident.

**Keywords:** mHealth, Elderly care, Ambient intelligence, Ambient assisted living, Context-awareness

\* Sorumlu Yazar: [cisse9.tc@gmail.com](mailto:cisse9.tc@gmail.com)

## 1. Giriş

Dünya üzerindeki yaşlıların nüfusu gün geçtikçe artmaktadır. Öte yandan, bilişim teknolojileri günlük yaşantımızı temelden etkilemiş ve aynı zamanda sağlık endüstrisinin insanlara daha iyi sağlık hizmeti sunmasını sağlamıştır. Böylece dijital platformlar, kullanıcılara tek bir varlığın tek başına elde edebileceğinden çok daha çeşitli işlevler sunabilmektedir (Eisenmann, Parker, & Van Alstyne, 2010). Dijital sağlık, ortam sistemleriyle birlikte artık yaşlılar ve bakıcıları için farklı dijital platformlarda sağlık bilgilerine sahip olma ve paylaşma konusunda birçok fırsat sunmaktadır (Öztürk & Özkaya 2020). Bilgiyi kullanan ve ileten teknolojiler arasında mobil iletişim, küresel ağdan güç alan gelişmiş hizmetler ve istikrarlı iletişim sağlaması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Pek çok uzmanın tahminine göre bilgisayar teknolojisinin geleceği, kablosuz ağ ile mobil bilgi işlem üzerine kuruludur (Kumar, 2019). iOS ve Android platformlarının başarısından hareketle, mobil ortam sistemlerinin gelişimi güçlü bir genişleme yaşamakta ve eğlence, sosyal medya, çevrimiçi mağazalar, yönetim, tıp vb. gibi her türden alanda uygulamalar geliştirilmektedir. Wearesocial (2021) kaynağından alınan istatistiklere göre, Ocak 2020 itibarıyla dünya çapında 5,19 milyar mobil kullanıcı bulunmaktadır. Bu sayı, toplam nüfusun %67'sine denk gelmektedir ve bu oranda Ocak 2020'de, Ocak 2019'a kıyasla %2,4 artış gözlenmektedir. Aynı istatistiklere göre, aynı dönemde mobil kullanıcıların büyümesi, yalnızca %1,1 oranında büyüyen dünya nüfusundan daha hızlı olmuştur. Böylece gün geçtikçe daha fazla insanın mobil cihazları bir iletişim aracı olarak benimsediği sonucuna varılmaktadır.

Günümüzde modern akıllı telefonların ortaya çıkışından bu yana insanlar yeni uygulamalar ve oyunlara daha fazla talep göstermektedir. Böylelikle akıllı telefonlar hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Montag vd., 2015). Modern toplumlarda çağdaş yaşam felsefesini yansıtan akıllı telefonlarla çok fazla zaman geçirmek, dikkat çekici bir yaşam tarzı özelliği haline gelmiştir (Lathia vd., 2013). Bu gelişmeye, cep telefonlarının işletim sistemleri olan iOS, Android ve Windows Phone neden olmuştur. Cep telefonlarını akıllı hale getiren, kendi işleme ve depolama alanına sahip olmalarıdır (Haris, Jadoon, & Khan, 2017).

Google tarafından geliştirilen Android mobil işletim sistemi, 2011 yılından bu yana akıllı telefonlarda ve 2013 yılından bu yana tabletlerde dünyanın en çok kullanılan ve en çok satan akıllı telefon işletim sistemidir ve birçok telefon mobil ile uyumludur (AppBrain, 2020).

Android akıllı telefonlar, dokunmatik tabletler, akıllı telefonlar ve mobil cihazlar için, uygulamaların kütüphaneler tarafından desteklenen etkinlikleri kontrol eden bir uygulama çerçevesinde çalıştığı Linux çekirdeğine ve tüm Java sınıflarını derleyen, dönüştüren ve dosyaları tek bir dosyada toplayan sanal makineye dayalı açık kaynaklı bir işletim sistemidir (Haris, Jadoon, & Khan, 2017).

Tıp tarihi boyunca hekimler, sağlık veya tıbbi hizmetlerin sağlanması için bilgi ve becerilerini, pratiğe entegre ederek teknolojik ve bilimsel gelişmelere uyum sağlamışlardır (Cortez, Cohen, & Kesselheim, 2014). Bu hizmetler, genel sağlık, esenlik, zindelik ve bireylerin sağlık sorunlarının teşhisini, yönetimini ve desteğini kapsayan geniş bir şekilde tanımlanmıştır (Cortez, Cohen, & Kesselheim, 2014).

Son yıllarda bu alanda pek çok mobil sağlık uygulaması geliştirilmiştir. Bu da yaşlıların yaşamsal parametrelerinin (tansiyon, kilo, nabız vb.) düzenli olarak izlenmesine olanak tanır. Yapılan araştırmalara göre 2018'de Amerika Birleşik Devletleri'nde insanların yaklaşık %95'i cep telefonu kullanmaktaydı. Ayrıca, Amerika'da yaşayan yaşlı nüfusun üçte ikisinden fazlası bir akıllı telefona sahip ve yaklaşık %20'si internet bağlantısı için mobil cihazlarına gereksinim duymaktadır (GMinsights, 2021).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 25 Ağustos 2020 verilerine göre 16-74 yaş arası kişilerin internet kullanımı 2019 yılında %75,3 ve 2020 yılında ise %79,0 olmuştur.

Son on yılda yaşlı nüfusundaki sürekli artış göz önüne alındığında; sağlık uygulamaları bu nüfusa evde kaliteli bakım hizmeti sunmak için destekleyici bir unsur olarak görünmekte ve araştırmalar yaşlıların neredeyse yarısının yardıma ihtiyacı olduğunu veya yardım aldığını göstermektedir (Freedman & Spillman, 2014).

Bu çalışmada, bu veriler ve güncel ihtiyaçlar dikkate alınarak, yaşlılara günlük yaşamlarında destek olacak ve sağlık verilerini hekimlere iletecek bir mobil sağlık uygulaması geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda Android platformu kullanılmıştır. Uygulamanın sağladığı işlevler, hatırlatıcılar aracılığıyla yaşlıların ilaç almalarını hatırlatmak, yapılacak günlük aktivitelerle ilgili hatırlatmalar yapmak, ölçülebilir sağlık verilerini (tansiyon, nabız, ateş, kan şekeri oranı vb.) ve varsa sağlık sorunlarının merkezi sunucuya gönderilmesini sağlamak ve kayıt altına almaktır. Böylece ilgili hekimle iletişim sağlanabilir. Ve son olarak, kullanıcının ailesi yaşlı bireyin konumundan ve sağlık durumundan haberdar edilir.

## 2. İlgili Çalışmalar

M-sağlık (mobil sağlık) terimi ve ortam sistemleri, mobil cihazlar aracılığıyla tıp ve halk sağlığı uygulamaları için kullanılmaktadır. Terim genellikle cep telefonları, akıllı telefonlar ve tabletler gibi mobil iletişim cihazlarının çevrimiçi alışveriş, sağlık vb. gibi çeşitli alanlarda kullanımına atıfta bulunularak kullanılmaktadır. Literatür taraması sonucunda farklı yöntemler kullanılarak çeşitli mobil uygulamaların oluşturulduğu görülmüştür. Yerli ve yabancı araştırmacılar, hayatın her alanını kapsayacak şekilde mobil platformlarda uygulama geliştirmeye yönelik çeşitli çalışmalar sürdürmektedir. Bu bölümde, farklı amaçlar için geliştirilen mobil uygulama çalışmaları incelenmiştir (Alhejaili, 2021).

Ambient Intelligence (AmI) kavramı, günlük ortamlarımıza zeka katan, yeni nesil akıllı sistemler oluşturarak bu ortamlara duyarlı olmamızı sağlayan ve insan, makine ve çevre (insan yapımı objeler) arasında yeni etkileşim araçları sunan bir disiplin olarak tanımlanmaktadır. Bu teknolojinin kullanım alanlarından biri de yaşlılar ve bilişsel engelliler için geliştirilen bakım sistemleridir (Remagnino & Foresti, 2005).

Hanayli, Serbest, ve Ürekli (2015) mobil teknolojiyi kullanarak otistik engelli bireylerin sosyal hayatlarını daha yaşanabilir hale getirmeyi hedeflemiştir. Ayrıca yaşam alanlarında eğlenirken öğrenmelerini sağlamayı amaçlamıştır. Tasarladıkları geliştirilen uygulamanın amacı, otizmli bireylerin sosyal becerilerini geliştirmelerine, temel ihtiyaçlarını karşılamalarına ve kendilerini daha iyi ifade etmelerine yardımcı olmaktır.

Şimşek, Erdemli, ve Taşdelen (2013) Android işletim sistemi ve GPS fonksiyonu kullanan iki cihaz arasında yapılan arama sonrasında tespit edilen konum bilgilerinin gönderilmesine dayanmaktadır. Geliştirdikleri bu uygulama ile Android işletim sistemine sahip cihazlarda konum belirlenmekte ve tespit edilen konum aranan numaraya SMS olarak aktarılmaktadır.

Abel, Gavidı, Rollings, ve Chandra (2015) geliştirdikleri Android tabanlı mobil uygulama ile bir açık kaynaklı elektronik tıbbi kayıt (EMR) sistemini entegre ederek, gelişmekte olan ülkelerdeki elektronik tıbbi kayıtlar ve hasta randevuları sorununa bir çözüm bulmaya çalışmaktadır. Önerilen sistem, hem hastanın hem de hekimlerin randevuları yönetmesine ve planlanan zaman yaklaştığında gerçek zamanlı olarak hatırlatıcı göndermek için e-posta kullanmasına olanak tanır. Bu sistem, iş verimliliğini arttırmakta, hastalar için maliyetleri ve bekleme sürelerini azaltmaktadır.

Klasnja, Hartzler, Powell, Phan, ve Pratt (2010) meme kanseri hastalarının temel gereksinimleri için kapsamlı çözümlerin şu anda eksik olduğunu iddia etmiştir. Bu eksikliğin üstesinden gelmek için, meme kanseri hastalarının bakımıyla ilgili bilgileri bağlantılı olmayan bağlamlarda yönetmelerine yardımcı olmak amacıyla "HealthWeaver Mobile" uygulamasını geliştirmişlerdir. Yapılan çalışma, bireylerin zor sağlık koşullarını yönetmekle ilişkili kaygılarını önemli ölçüde azaltmak ve etkili kişisel sağlık yönetimi için gerekli tüm bilgileri yönetmelerine yardımcı olan ve bireylere zaman kazandıran bir uygulama olan HealthWeaver'ın bir parçasıdır.

Bhuvaneswari, Latha, ve Ranjith (2017) yaptıkları çalışmada, iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi sayesinde bir doktor-hasta etkileşimi sisteminin kurulması ve geliştirilmesinin önemini vurgulamıştır. Doktorlar ve hastalar arasındaki zaman ve mesafeyi telafi etmek, hızlı ve kusursuz tıbbi hizmetler sunmak için internet uygulamalarının faydalı olabileceğini bildirmişlerdir. Böylece hastanın ihtiyaçlarını karşılamak için Android uygulamasında bir doktor-hasta etkileşim sistemi geliştirilmiş ve doktorların hastalarla iletişim kurmasını sağlamak için daha yetkin ve kullanışlı mobil iletişim yazılımları tasarlanmıştır.

Ortam zekasının umut verici uygulamaları yaşlılarla sınırlı değildir. Diğer alanlarda yürütülen ortam zekasının çalışmalarından bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Yaşlanan nüfus için geliştirilen bir Avrupa projesi olan "ALADIN" ortam aydınlatma yardımı sağlamaktadır (Maier & Kempter, 2010).
- Chicago Lutheran Genel Hastanesi'nde Yacketman Çocuk Tomografisi uygulaması ortam zekasını kullanarak hastaları muayene seansları sırasında eğlendirmek ve desteklemek için geliştirilmiştir (Marzano, 2010).
- Roda, Rodriguez Cobo, López-Jaquero, González, ve Navarro (2015) tarafından yayınlanan bir makale, yaşlıların fiziksel rehabilitasyonu için çok ajanlı bir ortam zekası sistemini önermektedir. Önerilen sistem, yaşlıların motor bozukluk problemlerini hastanın hareketlerini kontrol etmek için özel cihazlar kullanarak tedavi etmeyi amaçlamaktadır.
- Cottone, Maida, ve Morana (2014), Microsoft Kinect aracılığıyla kullanıcı aktivitesini tanımak için bir çerçeve önermiştir. Önerilen yaklaşım, Kinect derinlik bilgisi kullanılarak tahmin edilen insan vücudunun belirli bölümlerinin konumundan yararlanmıştır.

Paiva vd. (2020), sağlık ve yazılım mühendisliği araştırmacıları tarafından yaşlılar için sağlık hizmetlerine yönelik

mobil uygulamalarla ilgilenen disiplinler arası bir makale araştırması sağlamak üzere yürütülen sistematik bir haritalama gerçekleştirmiştir (Paiva vd., 2020). Bu sistematik haritalamayı gerçekleştirmek için uygunluk kriterlerine göre toplam 2533 makale tespit edilmiş, bu makaleler arasından 149 makale sağlık hizmetlerine odaklanmıştır.

Grossman, Frumkin, Rodebaugh, ve Lenze (2020), ölüm kaygısı ve duygu-durum bozuklukları için mobil sağlık olarak adlandırılan bu uygulamalara ilişkin araştırmaların kapsamlı bir incelemesi ve klinik perspektifi verilmiştir. mSağlık, ulaşım, hareketlilik gibi zorluklarla karşılaşan yaşlılara yardımcı olabilir (Grossman vd., 2020). Yaşlılarda mSağlık, ağırlıklı olarak bilişsel gerileme ve diyabet gibi sağlık sorunları olan yaşlılar için anksiyete ve depresyon tedavisinde kullanılmıştır. mSağlık uygulamaları, hastaların diyetlerini ve fiziksel aktivitelerini izlemelerine, bir sağlık uzmanı bulmalarına, randevu almalarına, reçete doldurmalarına, tanı hakkında bilgi almalarına, planlama ve ilaç alma hakkında hatırlatıcılar almalarına yardımcı olmak için kullanılmıştır (Grossman vd., 2020).

Fiziksel aktivitenin azalmasına bağlı sağlık sorunları günümüzde yaşlıların özellikle aktivite düzeylerini düşürebilecek COVID-19 pandemisi bağlamında karşılaştıkları bir risktir, çünkü birçok yaşlı insan bulaşmayı en aza indirmek için fiziksel ve sosyal etkinliklerini en aza indirmişlerdir (McGarrigle & Todd, 2020). Mobil sağlık ve elektronik sağlık (eSağlık) teknolojileri ile fiziksel etkinlik programları uygulayarak hastalığın bulaşmasını en aza indirmek ve fiziksel mesafeye uymak mümkündür. Bu hipotezi doğrulamak için, bu çalışmada, 50 yaş ve üstü kişilerde fiziksel aktivitenin teşvik edilmesinde mSağlık veya eSağlık teknolojisinin kanıtlarını değerlendirmek üzere bir değerlendirme çalışması yapılmıştır (McGarrigle & Todd, 2020). Bu çalışmanın sonuçları, mSağlık veya eSağlık yaklaşımlarıyla yapılan müdahalelerin kısa vadede yaşlılarda fiziksel aktiviteyi arttırmada ve hareketsiz kalma süresini azaltmada etkili olabileceğine dair düşük ila orta düzeyde bir kanıt olduğunu göstermiştir (McGarrigle & Todd, 2020).

Morey vd. (2019), yaşlıların sağlık odaklı mobil uygulamalara erişiminin arttığını ve sağlık yönetimi için yaşlı popülasyonlar arasında akıllı telefon kullanımının potansiyel faydalarına rağmen, şu anda bu uygulamaları özellikle yaşlı yetişkin bireylerin daha kolay ve verimli kullanabilmeleri için herhangi bir kılavuz bulunmadığını belirtmiştir. Bu eksikliği gidermek için, yaşlılar için varolan mSağlık uygulamalarının kullanılabilirlik çalışması yapılmıştır ve uygulama geliştiriciler için yaşlı bireylere yönelik mSağlık uygulamalarının tasarımını desteklemek için bir kılavuz geliştirilmiştir (Morey vd., 2019).

Günümüzde, mobil sağlık teknolojileri, aldıkları sağlık hizmetlerinden memnun olmayan ve sosyal izolasyonda yaşayan yaşlı insanların olduğu COVID-19 çağında, birçok zorluk ve fırsatla karşı karşıyadır (Jaana & Paré, 2020). Bu çalışmada, Kanada'daki yaşlı yetişkinler tarafından mobil sağlık teknolojisinin genel yetişkin nüfusu ile karşılaştırma çalışması yapılmıştır (Jaana & Paré, 2020). Bu sonuçlara dayanarak, kendilerine sunulan mevcut mobil sağlık teknolojileri hakkında yetişkinler ve bunları kullanma ile ilgili bilgi ve bilinci artırmak için stratejiler geliştirilmiştir. Ayrıca, bu ihtiyaçları karşılayacak şekilde uyarlanmış teknolojileri önermek için yaşlıların önceliklerini ve kendi kendini izleme ihtiyaçlarını anlamının önemini ve yaşlıların ev izleme ve sensörler aracılığıyla toplanan verileri profesyonel bakıcılarla paylaşmayı ve teknolojiyle ilgili

kararlara katılmayı kabul ettikleri vurgulanmıştır (Jaana & Paré, 2020).

### 3. Materyal ve Metod

Bu çalışmada anlatılan mobil uygulama, Android tabanlı mobil cihazlarda çalışacak şekilde Java programlama dili ile geliştirilmiştir. Bu geliştirim esnasında nesne tabanlı programlama ilkelerine bağlı kalınmıştır. Geliştirme ortamı olarak Google'ın entegre geliştirme ortamı olan Android Studio IDE'si kullanılmıştır. Arayüz ve ikon tasarımları için Adobe Photoshop CC 19 kullanılmıştır.

#### 3.1. SQLite

SQLite, verileri bir cihazdaki bir dosyada depolayan açık kaynaklı bir SQL veritabanıdır. SQLite veritabanı herhangi bir yapılandırma veya kurulum gerektirmeden tüm Android cihazlarda desteklenmektedir. Veritabanı yapısı tanımlandıktan sonra, Android tarafından otomatik olarak yönetilmektedir. Uygulamada akıllı telefonda saklanması gereken veriler için SQLite kullanılmıştır (Android for Developers, 2021).

#### 3.2. Firebase

Firebase, mobil ve web uygulamaları oluşturmak için geliştirilmiş bir platformdur. Veritabanları, içerik, sosyal kimlik doğrulama (Google, Facebook, Twitter ve Github) için gerçek zamanlı NoSQL hizmeti sunar. Bu çalışmada, belge depolama için Firebase; Kullanıcı Kimlik Doğrulama, Gerçek Zamanlı Veritabanı ve Cloud Firestore kullanılmıştır (Firebase, 2022).

#### 3.3. Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı

Firebase gerçek zamanlı veritabanı, kullanıcılar arasında gerçek zamanlı olarak veri depolanmasına ve senkronize edilmesine olanak tanıyan, bulutta barındırılan bir NoSQL veritabanıdır (Firebase, 2022).

#### 3.4. Firebase Depolama

Firebase Storage hizmeti, bir iOS, Android cihazından veya internette'den görüntüler ve videolar gibi kullanıcı tarafından oluşturulan içeriği indirmek için tek başına bir çözümdür. Firebase Storage, uygulamaları ölçeklendirmek, güvenlik sağlamak ve ağ esnekliği sağlamak için özel olarak tasarlanmıştır. Firebase Storage, verilerini yapılandırmak için basit bir klasör/dosya sistemi kullanır (Firebase, 2022).

## 4. MMALI

Bu bölümde, yaşlıları günlük yaşamlarında destekleyen MMALI mobil uygulaması anlatılmaktadır. Bu uygulamada, yaşlılarda görülebilecek unutkanlık sorununa çözüm olarak hatırlatma özelliği vardır. İlaç alma, sağlık sorunlarıyla ilgili ölçümler yapma ve günlük yaşam aktiviteleri ile ilgili diğer görevler için hatırlatıcılar tanımlanabilmektedir. Hatırlatıcılar günün belirli saati veya haftanın belirli günleri gibi periyotlarda tanımlanabilir.

Yaşlılar yaşadıkları sağlık sorunlarını ve sağlıklarıyla ilgili ölçümleri merkezi sunucuya gönderebilmektedir. MMALI mobil uygulamasında önceden tanımlanmış çeşitli sağlık sorunları bulunmaktadır. Tanımlı olan sağlık sorunları arasında fiziksel (baş ağrısı, baş dönmesi, ateş, karın ağrısı, vb.) ve psikolojik sorunlar (kaygı, endişe, depresyon, vb.) vardır. Ayrıca tanımlı olmayan sağlık sorunları da kullanıcı tarafından eklenebilmektedir.

Ölçümler ise nabız, tansiyon, ateş, kan şekeri, vb. verilerden oluşabilmektedir. Kullanıcılar bu ölçümleri özel cihazlar vasıtasıyla evlerinde kendileri yapabilmektedir. Bu sayede büyük bir kullanıcı grubunun sağlık verileri düzenli olarak toplanabilir ve bu veri üzerinde veri madenciliği ve veri analizi yapılarak yeni bilgiler elde edilebilir. Örneğin belirli bir sağlık sorununa sahip yaşlıların kullandıkları ilaçların ne kadar etkili olduğu ölçüm verileri analiz edilerek bulunabilir.

Yaşlı bireyin yakınları kaybolmalara karşı konum takibi de yapabilmektedir. Ayrıca merkezi sunucuda bulunan anketler yaşlılara uygulanabilmektedir.

### 4.1. Sistem Gereksinimleri

Gereksinimlerin belirlenmesi, geliştirilecek herhangi bir uygulamanın başlangıç aşamasını oluşturur. Tatmin edici olmayan bir uygulamanın geliştirilmesini önlemek ve projenin başarısı için uzmanlar ve kullanıcılar arasında ortak bir anlaşma bulmak için uygulamanın beklenen işlevlerini sunan işlevsel gereksinimler ile işlevsel olmayan gereksinimler arasında ayırım yapılmalıdır.

#### 4.1.1. İşlevsel Gereksinimler

Ayrıntılı bir sistem çalışmasından sonra bu kısım, uygulamanın çeşitli aktörlerinin işlevsel gereksinimlerinin tanımlanmasına ayrılmıştır. Kullanıcı gereksinimleri şunlardır:

##### 1. Bağlantı Yönetimi Modülü

1.1 Kullanıcı kaydı: Uygulamanın kötüye kullanılmaması için (kullanıcı güvenliği), kullanıcı hesabı oluşturulmalıdır.

1.2 Kullanıcı bağlantısı: Hesap oluşturduktan sonra hasta, e-posta adresi ve şifresi ile uygulamaya giriş yapabilmelidir.

##### 2. Hasta Yönetimi Modülü

2.1 İlaç bilgisi yönetimi: Uygulama, ilaçlarla ilgili bilgilerin eklenmesine, değiştirilmesine, silinmesine izin vermelidir.

2.2 Aktivite yönetimi: Uygulama, kullanıcının yapacağı günlük aktivitelerin eklenmesine, değiştirilmesine, silinmesine izin vermelidir.

2.3 Konum takibi: GPS teknolojisi kullanılarak kullanıcının konumu istek halinde izlenebilmelidir.

2.4 Ölçüm takibi: Uygulama, kullanıcının sağlıkla ilgili ölçüm verilerinin eklenmesine ve gönderilmesine olanak vermelidir.

2.5 Sağlık sorunu takibi: Uygulama, hasta ile ilgili sağlık sorunlarının eklenmesine, seçilmesine ve gönderilmesine olanak vermelidir.

2.6 Anket uygulaması: Uygulama, anket belgesinin Firebase sunucusundan indirilmesine, doldurulmasına ve gönderilmesine olanak vermelidir.

#### 4.1.2. İşlevsel Olmayan Gereksinimler

İşlevsel olmayan gereksinimler, uygulamamızın gerçekleştirilmesi ve düzgün çalışması için kullanılan tüm teknik ve ergonomik kısıtlamaları tanımlamaktadır.

- Kullanılabilirlik: Uygulama, yaşlılar tarafından kullanılabilir olmalıdır. Bu amaçla yüksek kontrast ve büyük yazı karakterleri kullanılmalıdır.
- Kritik bilgilere erişim güvenliği: Özellikle kimlik doğrulama düzeyinde müşteri verilerinin gizliliği dikkate

alınmalıdır. Bunun için bu bilgilere erişim yöneticisiyle sınırlandırılmalıdır.

- Güvenilirlik: Uygulama tarafından sağlanan veriler güvenilir olmalıdır.
- Grafik arayüzün kullanıcı dostu olması: Uygulama, her tür kullanıcı için kullanıcı dostu ve basit bir arayüz sağlamalıdır, çünkü kullanıcının uygulama ile ilk temasını sunar ve onun aracılığıyla, onun fonksiyonları keşfedilir.
- İçindeki herhangi bir pencereden uygulamanın ana menüsüne dönme yeteneği.

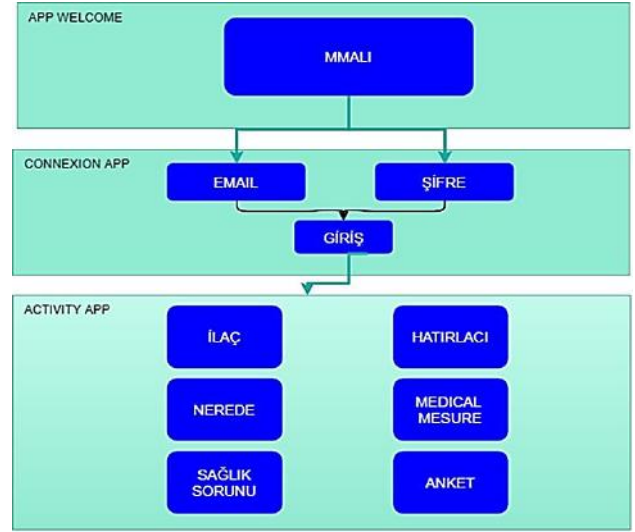
#### 4.2. Fikir Kavramsallaştırma

Uygulamayı programlamadan ve kodu yazmaya başlamadan önce öncelikle fikirleri organize etmek, belgelemek, ardından modülleri ve gerçekleştirme aşamalarını tanımlayarak gerçekleştirmeyi düzenlemek gerekir. Bu, yazılımın ve bir modülün modellenmesi olarak adlandırılan bir süreçtir. Modelleme, ilgilendiğimiz noktaları ortaya çıkaracak şekilde bir gerçekliğin sanal bir temsili yaratmaktan ibarettir. Geliştirilen uygulama için bu aşama Şekil 1’de görülmektedir.

#### 4.3. Sistem Mimarisi

Sistem mimarisi Şekil 2’de görülmektedir. MMALI yazılımı Android işletim sistemli cep telefonu veya tablet üzerinde çalışabilir. Program Firebase sunucusu ile çalıştığı için veritabanı bağlantıları ve kullanıcı girişleri mutlaka internet bağlantısı ile yapılmalıdır. MMALI uygulaması başlatıldığında Şekil 3’ün ana ekranı belirir. Hesabı olmayan kullanıcılar, uygulamanın hizmetlerine erişmek için kaydolabilirler. Bunlar ilaç almak için bir hatırlatıcı oluşturmak, yapılacak görevler için hatırlatıcı eklemek, kısa mesajla konum sistemini etkinleştirmek, veri

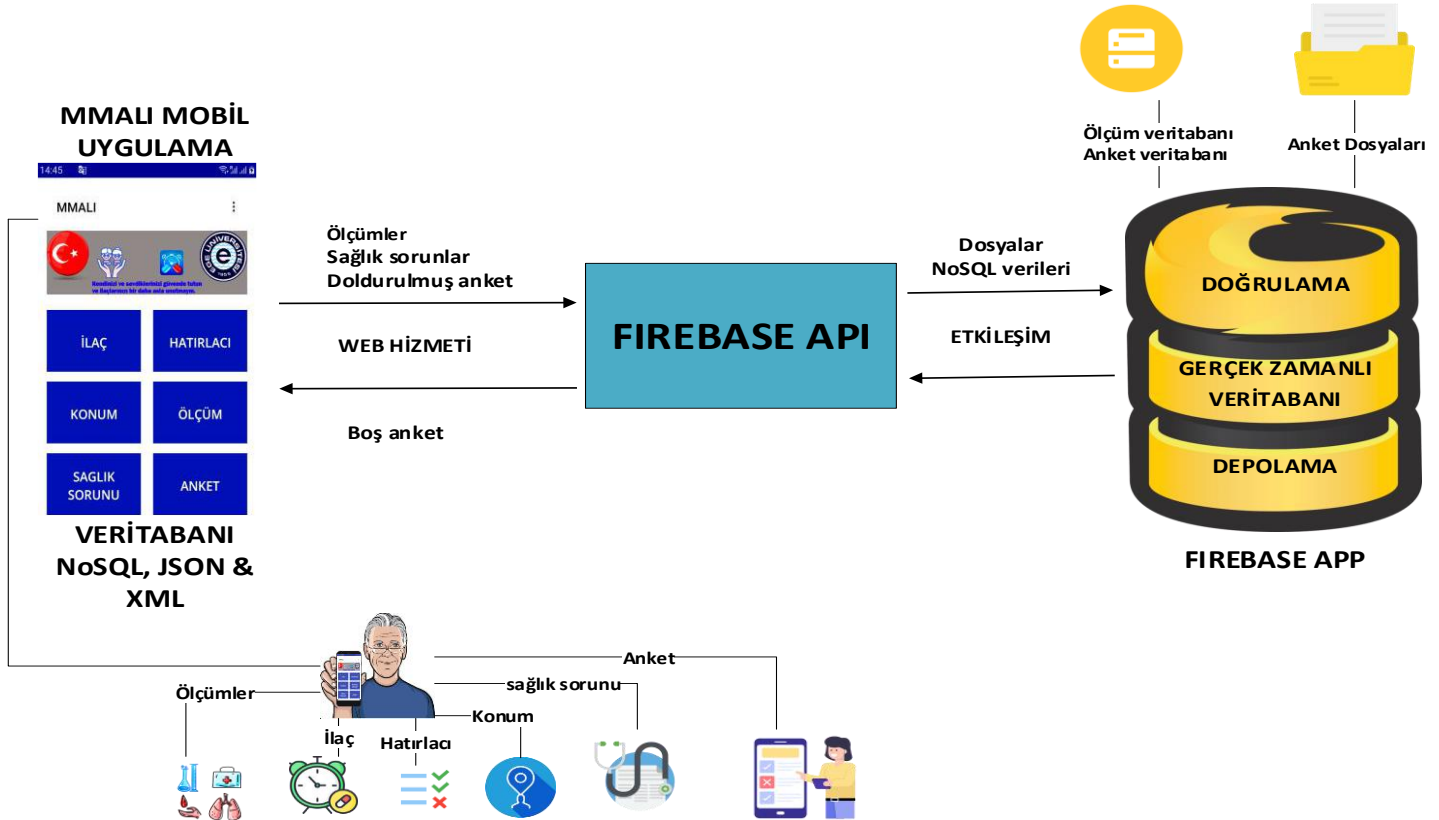
göndermek (kilo, kalp basıncı, tansiyon, kan şekeri vb.), güncel sağlık durumu hakkında bilgi göndermek ve ankete katılmaktır.



Şekil 1. MMALI uygulama şeması

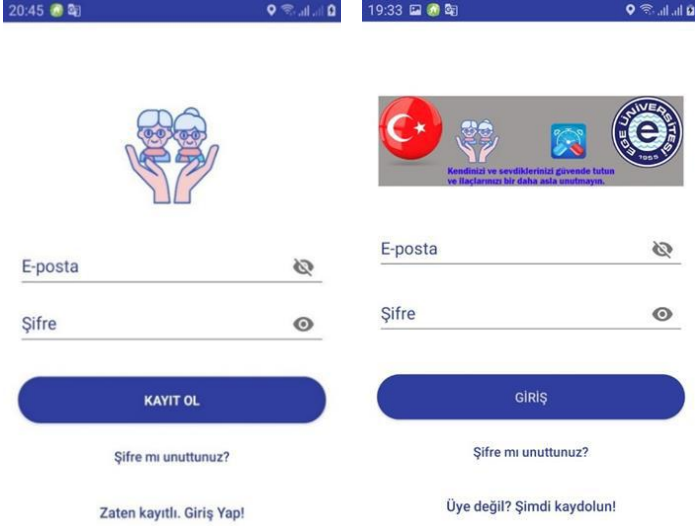
#### 4.4. Uygulama Arayüzleri

Kullanıcı kaydı ve giriş sayfaları Şekil 3’te görülmektedir. Kullanıcının uygulamaya kaydolabilmesi için önce kullanıcının kimlik bilgilerinin alınması gerekir. Kimlik bilgileri, kullanıcının e-posta adresi ve şifresidir. Uygulamanın kötüye kullanılmasını önlemek ve kullanıcıların güvenliği için hesabın bir aile üyesi veya hastanın kendisi tarafından oluşturulması gerekir.



Şekil 2. Sistem Mimarisi



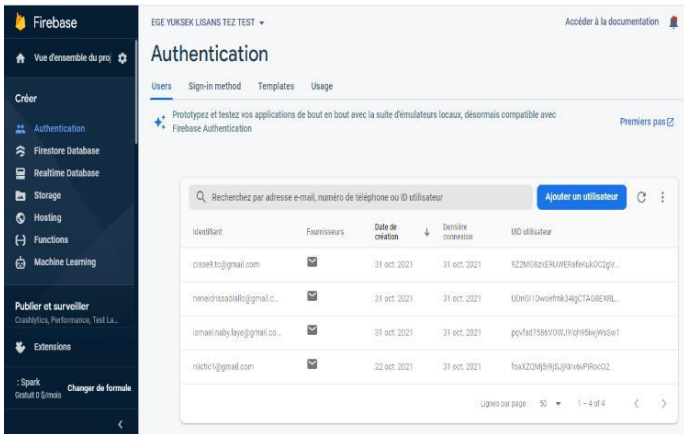


Şekil 3. Kullanıcı kaydı ve giriş sayfaları

Hesap oluşturulduğunda, kullanıcı uygulamaya bağlanabilir. Kullanıcı yönetimi, Şekil 4'te görüldüğü gibi Firebase sunucusu tarafından yapılır. Bu noktada kullanıcı adının girilmemesi veya internet bağlantısının olmaması gibi bir sorun ortaya çıkarsa bu durum kullanıcıya uyarı mesajları ile bildirilir.

Bağlantıdan sonra, uygulamanın çeşitli hizmetlerini içeren Şekil 5'te görülmekte olan arayüz görüntülenir.

Şekil 5'teki ilaç butonuna tıklandığında Şekil 6'daki ekran gelir, bu bölümde + butonuna basıldığında alınacak ilaçlarla ilgili hatırlatıcı ekleme imkanına sahip olunacaktır. İlacın adını, alınma zamanı, gün(ler), doz sayısı ve tipi (oral veya enjeksiyon) belirtilmelidir. Doldurduktan sonra hatırlatıcıyı kaydetmek için pembe düğmeye tıklanması gerekir. Eklenen hatırlatıcı ayrıntılarını içeren doğrulama resmi bir kez görüntülenir. Bu bölümde eklenen hatırlatıcılar silinebilir, ancak işlenmiş ve işlenmemiş hatırlatıcıları da kontrol etme imkanı sunmaktadır.

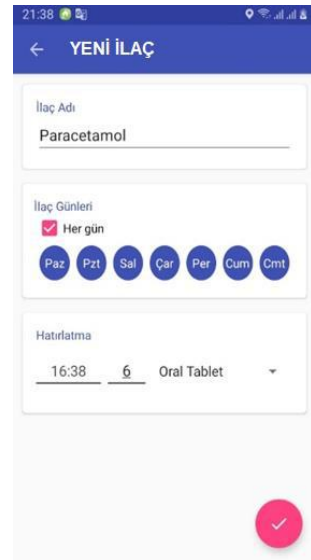


Şekil 4. Firebase sunucusu kullanıcı yönetimi arayüzü.

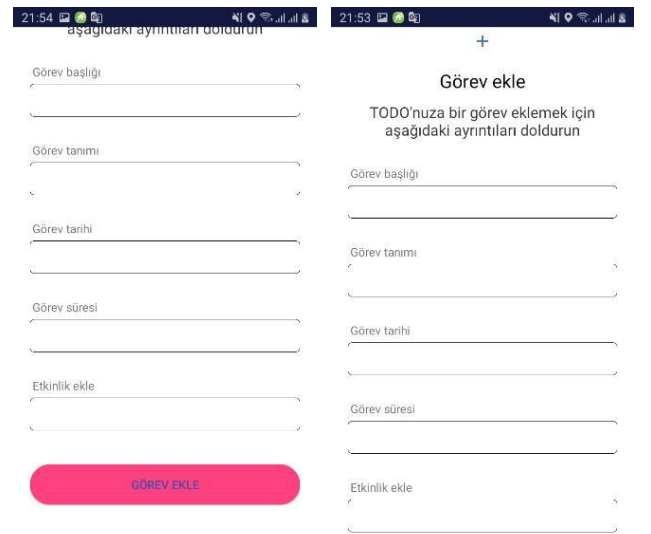
Bu bölümde MMALI uygulamasında yapılacaklar listesi eklenebilir, kullanıcıya hatırlatma yapılacağı saat tam olarak Şekil 7'de görüldüğü gibi ayarlanabilmektedir. Görevler eklendikten sonra, eklenen hatırlatıcıların listesi Şekil 8'de görülmektedir. Liste kontrol edilebilir ve bir görev tamamlandığında listeyi tamamlamaları işaretlenebilir, gerekli değilse görev silinebilir, tarih, saat, başlık vb. değişiklikler yapmak için düzenlenebilir.



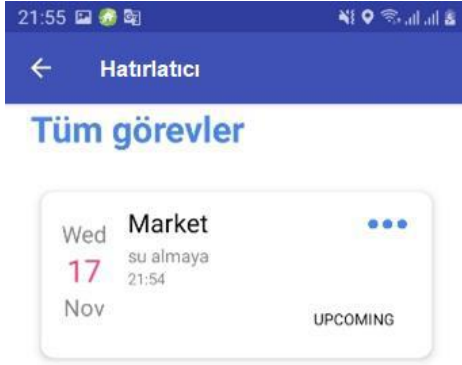
Şekil 5. MMALI uygulamasındaki seçenekler listesi



Şekil 6. İlaç eklemek için arayüz



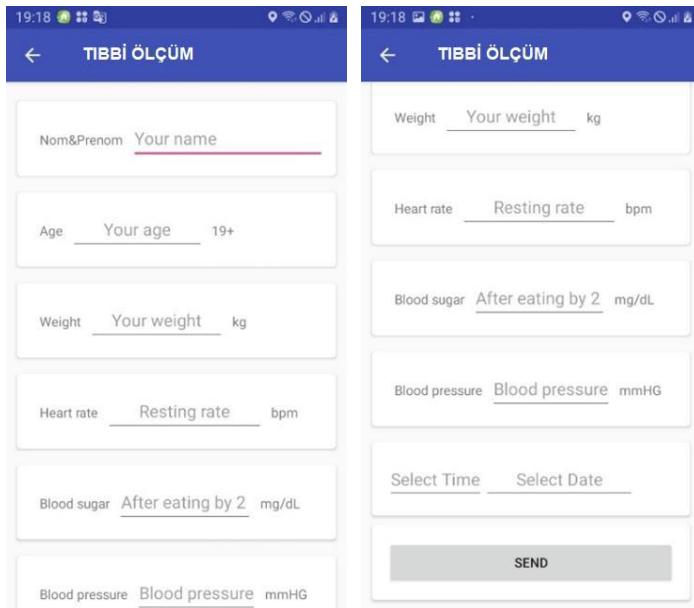
Şekil 7. Eklenecek hatırlatıcının ayrıntıları



+ Görev ekle

Şekil 8. Hatırlatma listesi

Konum butonu tıklanarak SMS takibi yapılabilmektedir. Bilişsel sorunları olan yaşlıların yerini belirlemede çok faydalıdır. Kullanıcının kaybolması durumunda, MMALI uygulaması, mobil internet kapsama alanı dışında olursa bile, acil servislere veya aile üyelerine iletişim bilgilerini kolayca iletebilmektedir. Bu hizmet, bir kod kelimesi metin mesajına iletişim bilgileriyle birlikte otomatik bir yanıt göndermektedir. Tek yapılması gereken kod kelimesinin girilip kaydet'e basılmasıdır. Telefon "konum" kod kelimesini içeren bir mesaj alırsa; uygulama, gönderene otomatik olarak mevcut konum bilgilerini içeren bir metin mesajı ile yanıt vermektedir.

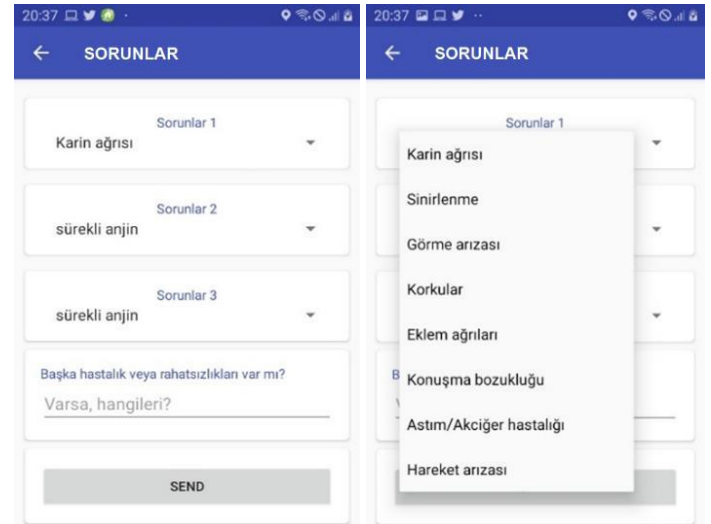


Şekil 9. Tıbbi ölçüm giriş ekranı

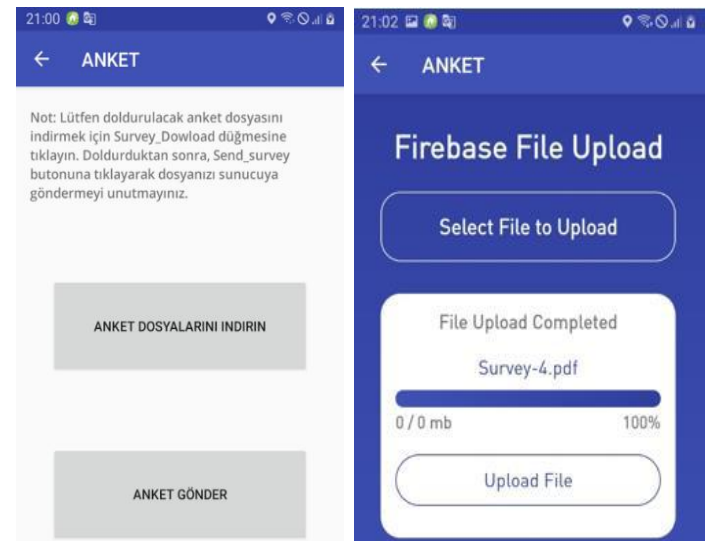
Şekil 5'te Tıbbi ölçüm'e tıkladığında kullanıcının sağlığını uzaktan izlemek mümkündür. Bu bölümde, kalp atış hızı, tansiyon, kan şekeri vb. bilgileri kullanıcının eklemesine izin veren Şekil 9'daki ekran görüntülenir ve bu bilgiler firebase sunucusuna gönderilir.

Şekil 5'te sağlık sorunu butonuna tıkladığında, sağlık sorunlarının listesini içeren bir form gösteren Şekil 10'daki ekran görüntülenir. Bu bölümde, kullanıcı bu sağlık problemlerini listeden seçme ve eğer bu önceden tanımlanmış listede yoksa yazabilme imkanına sahiptir. Bu bilgi firebase sunucusuna gönderilmektedir.

Uygulama kapsamındaki son hizmet, ankete ayrılmıştır. Şekil 11'de anket ile ilgili ekran görüntüleri görülmektedir. Bu bölümde kullanıcı, anketin PDF dosyasını Firebase sunucusundan indirebilecektir. Bu anketler hastane tarafından MMALI mobil uygulaması kullanıcılarına uygulanacaktır. MMALI uygulaması sunucuyu günde bir kez yoklar, yeni bir anket varsa, kullanıcının anketi PDF formatında indirip doldurması gerekmektedir. Kullanıcı tarafından verilen cevaplar sunucuya gönderilecektir. Örnek bir anket Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 10. Sağlık sorunu bildirme ekranı



Şekil 11. Anket arayüzleri

**ANKET**  
**Alanları doldurun**

→ KATILIMCI KİMLİĞİ  Bayan  Bay

Soyadı: \_\_\_\_\_ Adı: \_\_\_\_\_  
Adres: \_\_\_\_\_ Şehir: \_\_\_\_\_ Posta Kodu: \_\_\_\_\_  
Tel: \_\_\_\_\_ E-posta: \_\_\_\_\_

soru1  soru2  soru3  
 soru1  soru2  soru3  
 soru1  soru2  soru3

→ Bizim için öneriniz

İmza: \_\_\_\_\_ Tarih: \_\_\_\_\_

Şekil 12. Örnek anket

## 5. Sonuç ve Öneriler

Android işletim sistemlerinin gelişmesiyle birlikte bu alanda geliştirilen mobil uygulamaların sayısı her geçen gün artmaktadır ve artık mobil desteği göz ardı etmek mümkün değildir. Tıbbi tanı, eğitim, yönetim, multimedya gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanıcılara en yakın araç haline gelmiştir.

Bu çalışmada, yaşlıları günlük yaşamlarında destekleyen MMALI mobil uygulaması sunulmuştur. Bu uygulamada, yaşlılarda görülebilecek unutkanlık sorununa çözüm olarak hatırlatma özelliği vardır. İlaç alma, tıbbi ölçümler yapma ve günlük yaşam aktiviteleri ile ilgili diğer görevler için hatırlatıcılar tanımlanabilmektedir. Hatırlatıcılar günün belirli saati veya haftanın belirli günleri gibi periyotlarda tanımlanabilir.

Yaşlılar yaşadıkları sağlık sorunlarını ve tıbbi ölçümleri merkezi sunucuya bildirebilmektedir. Bu sayede büyük bir kullanıcı grubunun sağlık verileri düzenli olarak toplanabilir ve bu veri üzerinde veri madenciliği ve veri analizi yapılarak yeni bilgiler elde edilebilir. Örneğin belirli bir sağlık sorununa sahip yaşlıların kullandıkları ilaçların ne kadar etkili olduğu ölçüm verileri analiz edilerek bulunabilir. Yaşlı bireyin yakınları, bireyin kaybolması durumunda konum takibi de yapabilmektedir. Ayrıca merkezi sunucuda bulunan anketler yaşlılara uygulanabilmektedir. Bu sayede kağıt, baskı, posta masrafı olmadan ve bireyin sağlık merkezlerine gitmesine gerek kalmadan çok fazla sayıda kullanıcıdan geri bildirim alınabilmesi planlanmıştır. MMALI Android işletim sistemine sahip bir akıllı telefona yüklenerek test edilmiştir.

Yaşlı bireylere sunulan bu uygulama ile bireylerin kendilerini daha özgür ve özgüvenli hissedecekleri düşünülmektedir.

İleri çalışma olarak bu çalışmada geliştirilen mobil uygulamanın yaşlı bireyler tarafından kullanılması amacıyla gerontoloji merkezleriyle iş birliği yapılması düşünülmektedir. Çoğu mobil cihaz tarafından desteklenebilmesi için iOS işletim sisteminde çalıştırılabilen ayrı bir sürüm geliştirilecektir.

Geliştirilen uygulama, doktor ve hasta arasında doğrudan bir iletişim sisteminin entegrasyonu ve ayrıca, ev aletlerini kontrol etmek için sensörlerin kullanımı gibi diğer gelişmiş uygulamalarla zenginleştirilebilir.

## Kaynakça

- Abel, D., Gavidı, B., Rollings, N., & Chandra, R. (2015). Development of an Android Application for an Electronic Medical Record System in an Outpatient Environment for Healthcare in Fiji. *ArXiv*.
- Alhejaili, A. D. (2021). M-health Concept, Services and Issues. İçinde *2021 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics (CAIDA)* (ss. 18-22). <https://doi.org/10.1109/CAIDA51941.2021.9425262>
- Android for Developers, (2021, Ekim 27). *Save data using SQLite*. <https://developer.android.com/training/data-storage/sqlite>
- AppBrain. (2020, Ağustos 12). *Number of Android applications on the Google Play store*. <https://www.appbrain.com/stats/number-of-android-apps>
- Banskota, S., Healy, M., & Goldberg, E. M. (2020). 15 Smartphone Apps for Older Adults to Use While in Isolation During the COVID-19 Pandemic. *Western Journal of Emergency Medicine: Integrating Emergency Care with Population Health*, 21(4). <https://doi.org/10.5811/westjem.2020.4.47372>
- Bhuvanewari, N., Latha, M., & Ranjith, E. (2017). Doctor Patient Interaction System for Android. <https://www.semanticscholar.org/paper/Doctor-Patient-Interaction-System-for-Android-Bhuvanewari-Latha/e77c1d2be33dfa9b547f296006e613ea922c9705>
- Cortez, N. G., Cohen, I. G., & Kesselheim, A. (2014). FDA regulation of mobile health technologies. [/paper/FDA-regulation-of-mobile-health-technologies.-Cortez-Cohen/3e4a4b35d50e76d71daa3e458977e7b67d8686e9](https://doi.org/10.1016/j.jeri.2014.08.009)
- Cottone, P., Maida, G., & Morana, M. (2014). User Activity Recognition via Kinect in an Ambient Intelligence Scenario. *IERI Procedia*, 7, 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.jeri.2014.08.009>
- Eisenmann, T. R., Parker, G., & Van Alstyne, M. W. (2010). *Platform Envelopment* (SSRN Scholarly Paper, ID 1496336). Rochester, NY: Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1496336>
- Firestore. (2022, Şubat 12). *Firestore Realtime Database | Firestore Documentation*. <https://firebase.google.com/docs/database?hl=fr>
- Freedman, V. A., & Spillman, B. C. (2014). Disability and care needs among older Americans. *The Milbank Quarterly*, 92(3), 509-541. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.12076>
- GMIInsights. (2021, Nisan). *mHealth Market Growth Statistics 2021-2030 Global Projections Report*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/mhealth-market>
- Grossman, J. T., Frumkin, M. R., Rodebaugh, T. L., & Lenze, E. J. (2020). mHealth Assessment and Intervention of Depression and Anxiety in Older Adults. *Harvard review of psychiatry*, 28(3), 203-214. <https://doi.org/10.1097/HRP.0000000000000255>
- Hanaylı, M. C., Serbest, S., & Ürekli, T. (2015). Otizmlı Çocukların Sosyal Becerilerini Geliştirmeye Yönelik Android Uygulaması, 5.
- Haris, M., Jadoon, B., & Khan, F. (2017). Evolution of Android Operating System: A Review.
- Jaana, M., & Paré, G. (2020). Comparison of Mobile Health Technology Use for Self-Tracking Between Older Adults and the General Adult Population in Canada: Cross-Sectional

- Survey. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(11), e24718. <https://doi.org/10.2196/24718>
- Klasnja, P., Hartzler, A., Powell, C., Phan, G., & Pratt, W. (2010). Health Weaver Mobile: Designing a Mobile Tool for Managing Personal Health Information during Cancer Care. *AMIA Annual Symposium Proceedings, 2010*, 392-396.
- Kumar, D. A. (2019). *A Study of Mobile Technology with reference to Wireless Data*. LAP LAMBERT Academic Publishing. <https://www.morebooks.de/store/es/book/a-study-of-mobile-technology-with-reference-to-wireless-data/isbn/978-3-659-20365-7>
- Lathia, N., Pejovic, V., Rachuri, K. K., Mascolo, C., Musolesi, M., & Rentfrow, P. J. (2013). Smartphones for Large-Scale Behavior Change Interventions. *IEEE Pervasive Computing*, 12(3), 66-73. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2013.56>
- Maier, E., & Kempter, G. (2010). ALADIN - a Magic Lamp for the Elderly? İçinde H. Nakashima, H. Aghajan, & J. C. Augusto (Ed.), *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments* (ss. 1201-1227). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-93808-0\\_44](https://doi.org/10.1007/978-0-387-93808-0_44)
- Marzano, S. (2010). People as a Source of Breakthrough Innovation. *Design Management Review*, 16, 23-29. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7169.2005.tb00189.x>
- McGarrigle, L., & Todd, C. (2020). Promotion of Physical Activity in Older People Using mHealth and eHealth Technologies: Rapid Review of Reviews. *Journal of Medical Internet Research*, 22(12), e22201. <https://doi.org/10.2196/22201>
- Montag, C., Błaskiewicz, K., Sariyska, R., Lachmann, B., Andone, I., Trendafilov, B., ... Markowetz, A. (2015). Smartphone usage in the 21st century: who is active on WhatsApp? *BMC Research Notes*, 8, 331. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1280-z>
- Morey, S. A., Stuck, R. E., Chong, A. W., Barg-Walkow, L. H., Mitzner, T. L., & Rogers, W. A. (2019). Applications mobiles de santé : amélioration de la convivialité pour les utilisateurs âgés. *Ergonomics in Design*, 27(4), 4-13. <https://doi.org/10.1177/1064804619840731>
- Öztürk, Ş., & Özkaya, U. (2020). Gastrointestinal tract classification using improved LSTM based CNN. *Multimedia Tools and Applications*, 79(39), 28825-28840. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09468-3>
- Paiva, J. O. V., Andrade, R. M. C., de Oliveira, P. A. M., Duarte, P., Santos, I. S., Evangelista, A. L. de P., Barreto, I. C. de H. C. (2020). Mobile applications for elderly healthcare: A systematic mapping. *PLoS ONE*, 15(7), e0236091. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236091>
- Portenhauser, A. A., Terhorst, Y., Schultchen, D., Sander, L. B., Denking, M. D., Stach, M., ... Messner, E.-M. (2021). Mobile Apps for Older Adults: Systematic Search and Evaluation Within Online Stores. *JMIR Aging*, 4(7), e23313. <https://doi.org/10.2196/23313>
- Remagnino, P., & Foresti, G. L. (2005). Ambient Intelligence: A New Multidisciplinary Paradigm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 35(1), 1-6. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2004.838456>
- Rocha, N. P., Rodrigues dos Santos, M., Cerqueira, M., & Queirós, A. (2019). Mobile Health to Support Ageing in Place: A Systematic Review of Reviews and Meta-Analyses. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 10(3), 1-21. <https://doi.org/10.4018/IJEHMC.2019070101>
- Roda, C., Rodriguez Cobo, A., López-Jaquero, V., González, P., & Navarro, E. (2015). *A Multi-Agent System in Ambient Intelligence for the Physical Rehabilitation of Older People* (C. 372). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19629-9\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19629-9_13)
- Şimşek, M. A., Erdemli, T., & Taşdelen, K. (2013). Android Cihazlarda Konum Tespiti ve Aktarılması, 3.
- Wearesocial, (2021, Ocak). *Digital* 2021. <https://wearesocial.com/digital-2021>



# Ni-BW Kaplamalarında W Konsantrasyonunun Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi

Erhan Duru<sup>1\*</sup>, Abdullah Öztürk<sup>2</sup>, Mehmet Uysal<sup>3</sup>, Hatem Akbulut<sup>4</sup>, Serdar Aslan<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6205-6566), [erhanduru@sakarya.edu.tr](mailto:erhanduru@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8300-598X), [abdullah.ozturk11@ogr.sakarya.edu.tr](mailto:abdullah.ozturk11@ogr.sakarya.edu.tr)

<sup>3</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9396-7450), [mehmetu@sakarya.edu.tr](mailto:mehmetu@sakarya.edu.tr)

<sup>4</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6299-136X), [akbulut@sakarya.edu.tr](mailto:akbulut@sakarya.edu.tr)

<sup>5</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5061-6338), [saslan@sakarya.edu.tr](mailto:saslan@sakarya.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083763)

**ATIF/REFERENCE:** Duru, E., Öztürk, A. Uysal, M., Akbulut, H & Aslan, S. (2022). Ni-BW Kaplamalarında W Konsantrasyonunun Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 610-616.

## Öz

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda tungsten (W) kaynağı içeren banyolarda elektrobiriktirme yöntemi ile kaplamalar üretilmiştir. Tungsten kaynağı konsantrasyonu 10, 20 ve 40 g/L'den oluşturulmuştur ve kaplamaların üretiminde kesikli akım yöntemi (PC) tercih edilmiştir. Üretilen kaplamaların yüzey morfolojisi, kaplama kalınlığı, kimyasal analizi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi ile karakterize edilmiştir. Mikrosertlik yöntemiyle (Vickers) sertlikleri ölçülmüştür. Son olarak sürtünme katsayısı ve aşınma oranını tespit etmek için aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda 20 g/L W kaynağı içeren banyodan elde edilen kaplamanın 859 HV ile en yüksek sertliğe sahip kaplama olduğu görülmüştür. Yine, 20 g/L konsantrasyonlu kaplamada aşınma testi sonrasında en düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sert kaplamalar, Tungsten, Ni-B-W, Aşınma, Triboloji

## Effect of W Concentration on Hardness and Wear Properties of Ni-BW Coatings

### Abstract

In this study, coatings were produced at different tungsten (W) sources concentrations in plating baths by the electrodeposition method. The concentration of sodium tungstate was 10, 20, 40 g/L, and the pulse current (PC) method was preferred for prepared of the coatings. The surface morphology, coating thickness, phase analysis of the coatings were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) methods. The hardness of coatings were measured by the microhardness (Vickers) method. Finally, the coatings were subject to wear tests to determine the coefficient of friction and wear rate. As a result of the studies, it was seen that the coating obtained from the sodium tungstate concentration of 20 g/L had the highest hardness with 859 HV. Wear tests also showed that the lowest friction coefficient and wear rate were seen for coating produced at this concentration.

**Keywords:** Hard coatings, Tungsten, Ni-B-W, Wear, Tribology

\* Sorumlu Yazar: [erhanduru@sakarya.edu.tr](mailto:erhanduru@sakarya.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde sanayicilerin en büyük sorunlarından biri ekonomik ve tedarigi kolay metal hammadedir. Özellikle paslanmaz çeliklerin tedariginde büyük zorluklar yaşanmaktadır. Bu durum üretimi kolay ama vasıfsız çeliklerin ilave işlemler ile özelliklerinin artırılması yoluna gidilmesine yol açmıştır. Üretimi nispeten kolay, ekonomik ve ulaşılabilirlik açısından diğer çeliklerden daha avantajlı olan düşük karbonlu çeliklere yüzey işlemeyle mekanik, tribolojik ve korozyon dirençlerini iyileştirmek mümkündür. Çeliklerin yüzey sertliğini borlama, nitrürleme ve karbürleme ile yapmak mümkün ancak bu işlemler ile korozyon dirençlerinden çok ciddi iyileşmeler olmayacaktır (Baycik, 2002; Delikanlı K, Çalık A, 2003; Topuz, 2016). Çeliğin hem aşınma hem de korozyon dirençlerini artırmanın en etkili ve en ekonomik yöntemi kaplama yapmaktır. Çeliklerin yüzeyine PVD, CVD, termal sprey kaplamalar ve elektrokimyasal kaplamalar yapmak mümkündür (Karaoglanlı & Turk, 2017; Li et al., 2022; Yang et al., 2022). Endüstriyelmiş elektrokimyasal kaplamalar içerisinde sertliği, aşınma direnci en yüksek ve en fazla uygulama alanı bulabilen kaplamalardan biri sert krom kaplamadır. Ancak sert krom kaplamanın da en büyük dezavantajlarından biri insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileridir. Kaplama işlemi esnasında ortaya çıkan altı değerlikli krom iyonu kanserojen bir maddedir. Bu durum son yıllarda sert krom kaplamaya alternatif kaplamalar konularının en aktif çalışmalar arasına girmesine yol açmıştır (Harachai et al., 2020; Nemane & Chatterjee, 2021).

Nikel esaslı kaplamalar sert kroma alternatif olabilme kapasiteleri en yüksek kaplamalardır. Nikelin yanında ilave edilen P, B, W ve Mo gibi ikinci elementler ile Ni-P, Ni-B, Ni-W ikili alaşımlar ve Ni-P-W, Ni-B-W gibi üçlü alaşımlar yapmak mümkündür. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı Araştırma ve Geliştirme Ofisi, akımlı kaplama yöntemiyle üretilen Ni-B-W kaplamaları sert krom kaplama alternatif olarak önermiştir (Steffani & Meltzer, 1995). Bu durum, Ni-B-W kaplamaların insan ve çevre sağlığı üzerinde sert krom kaplamadan daha az zararlı olduğu anlamına gelmektedir. Bunun yanında bu kaplamaların üstün fiziksel, kimyasal, mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Birkaç bilim insanı tarafından yapılan araştırmalar Ni-B-W kaplamaların sert kroma kaplamaya alternatif olabileceği gösterilmiştir. (Brooman, 2000; Liqun et al., 2001; Nagai et al., 2014).

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda tungsten elementi içeren Ni-B-W kaplamalar üretilmiştir. Üretilen kaplamaların kaplama morfolojisi, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar sert kroma alternatif çalışmalara katkı sağlayacağına inanıyoruz. Bu çalışmalar aynı zaman bu kaplamaların endüstriyel çalışmalar için bir zemin oluşturacaktır. Bu kaplamalar havacılıktan gıda sektörüne kadar, tekstil sanayisinden kimya endüstrisine kadar birçok endüstriyel uygulamalarda kendine yer bulabilir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada düşük karbonlu çelik altlık üzerine elektro biriktirme yöntemlerinde biri olan kesikli akım yöntemiyle kaplama yapılmıştır. Bu kaplamalar farklı oranlarda tungsten kaynağı içeren banyolardan üretilmiştir. Kaplama çalışmaları; kaplama öncesi hazırlık, kaplamaların eldesi ve kaplama karakterizyonları olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Kaplama öncesi hazırlıklar altlığın zımparalanması, e-ISSN: 2148-2683

polisajlanması, alkali temizleme ve asidik temizlemeden oluşmaktadır. Kaplama öncesi hazırlıklar; altlık ile kaplama arasında yapışma mukavemetini olumsuz etkileyecek durumların ortadan kaldırılması amacıyla yapılmaktadır.

Kaplama için kurulan banyolar farklı işlevler gören kimyasallardan oluşmaktadır. Bu banyolar nikel iyon kaynağı nikel sülfat, bor iyon kaynağı trimetilamin boran (TMAB), W kaynağı sodyum tungstat ve kompleks oluşturucu görevi gören sodyum sitrattan oluşmaktadır. Üç farklı sodyum tungstat miktarı içeren üç kaplama banyosu kurulmuştur, sodyum tungstat konsantrasyonu hariç geri kalan bütün parametreler sabit tutulmuştur. Kullanılan sodyum tungstat miktarları 10, 20 ve 40 g/L'dir. Banyolarda kullanılan kimyasallar ve miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Kaplama banyosunun sıcaklığı 70°, pH 11 ve kaplama süresi 50 dakikadır. Kaplamalarda kullanılan akım türü kesikli akımdır. Kaplama parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaplama banyosunun bileşenleri ve miktarları.

Kimyasal	Miktar (g/L)
Nikel Sülfat ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	30
Trimetilamin-Boran (TMAB)	11
Sodium tungstate ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	10, 20, 40
Trisodyum Sitrata Hidrat ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	110
Sodyum Dodesil Sülfat (SDS)	0.2
Glisin ( $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$ )	1

Tablo 2. Kaplama prosesi şartları ve değerleri.

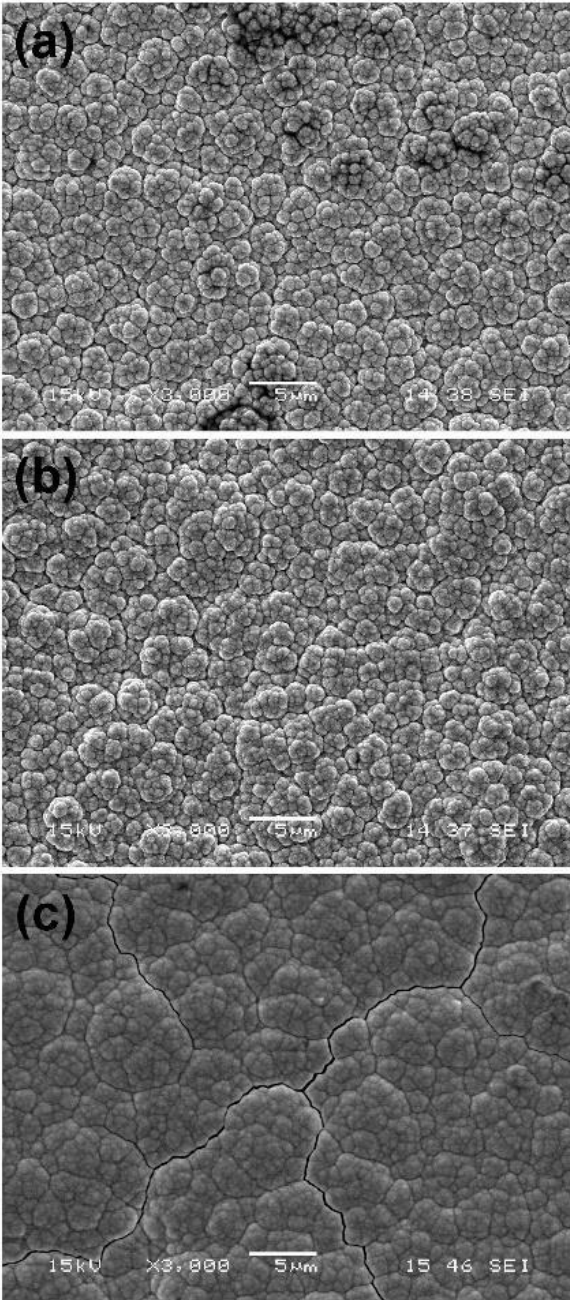
Şartlar	Değerler
Akım Yoğunluğu	15 A/dm <sup>2</sup>
İş Çevrimi	%20
Sıcaklık	70 °C
pH	11
Karıştırma Hızı	350 rpm
Süre	50 dk

Üretilen kaplamaların yüzey görüntüleri ve kesit görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), kimyasal bileşimi enerji dağıtıcı spektroskopisi (EDS) ile yapılmıştır. Kaplamanın içerdiği fazları tespit etmek amacıyla X-Işını Kırınımı (XRD) analizi yapılmıştır. XRD analizinde 1,54 Å dalga boyuna sahip Cu K $\alpha$  radyasyonu kullanılmıştır, analiz 10-90° arasında 2°/dk hızında yapılmıştır. Tungsten konsantrasyonunun sertlik üzerine etkisini görmek amacıyla mikro sertlik yöntemi olan Vickers sertlik ölçüm cihazıyla sertlikler ölçülmüştür. Sertlikler için numune uygun boyutlarda kesilmiş, sıcak bakelite alınmış ve zımparalama, parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Sertlik ölçümlerinde 50-gram yük 10 saniye boyunca uygulanarak yapılmıştır. Her bir numune için 5 adet sertlik alınmış ve ortalamaları, standart sapmaları hesaplanmıştır. Kaplamaların tribolojik özelliklerini karşılaştırmak için aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testleri oda sıcaklığında, kuru ortamda ve ball on disc yöntemiyle yapılmıştır. Aşınma testlerin karşıt malzeme

olarak 10 mm çapında alümina ( $Al_2O_3$ ) bilye kullanılmıştır. Aşınma testleri 20 cm/s hızında, 2N yük altında ve 300 m kayma mesafesinde yapılmıştır.

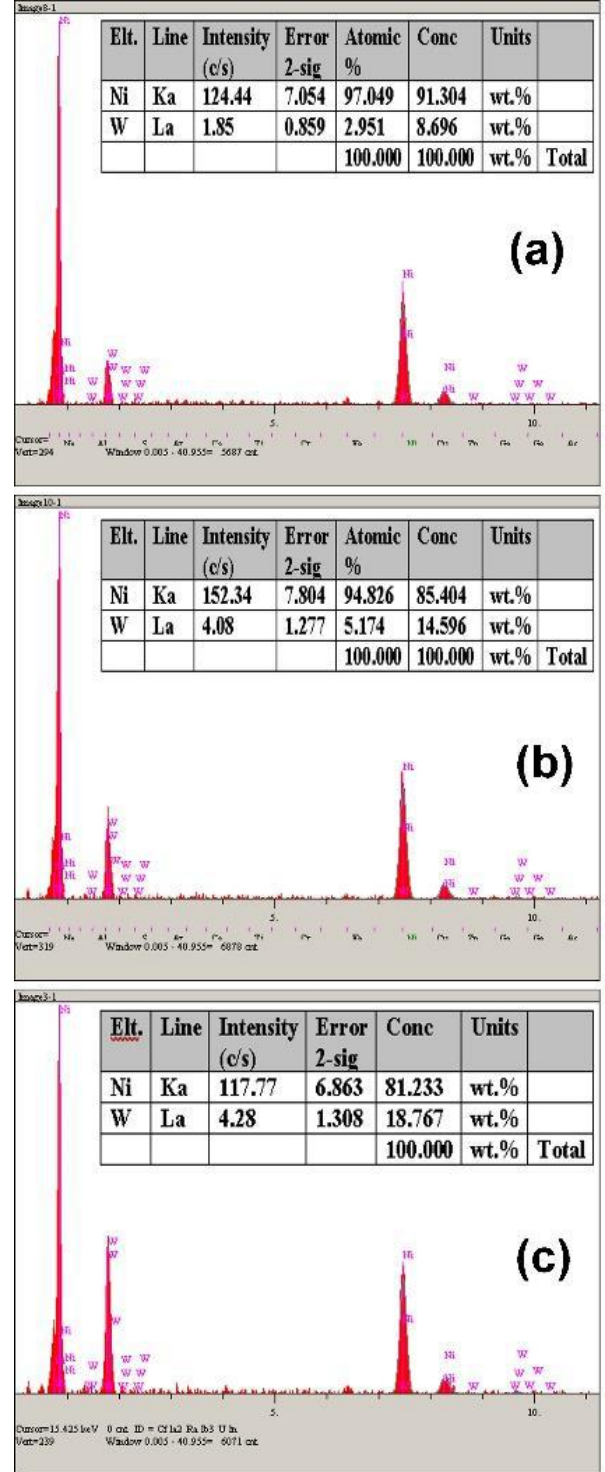
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 1'de üç farklı konsantrasyonla üretilen Ni-B-W kaplamaların yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Sodyum tungstat konsantrasyonu 10 ve 20 g/L olan kaplamalarda yüzey morfolojisi karnabahar yapısına benzemektedir. Kaplama banyosundaki sodyum tungstat konsantrasyonu 40 g/L artırıldığında karnabahar morfolojisi çok değişmemiştir ancak yüzeyden derinlere nüfuz eden büyük ve sürekli çatlaklar gözlemlenmiştir. Sodyum tungstat konsantrasyonunun artması kaplama içerisindeki W miktarını da arttırmıştır ve yapıda iç gerilmeleri artırarak çatlaklara sebep olmuştur.



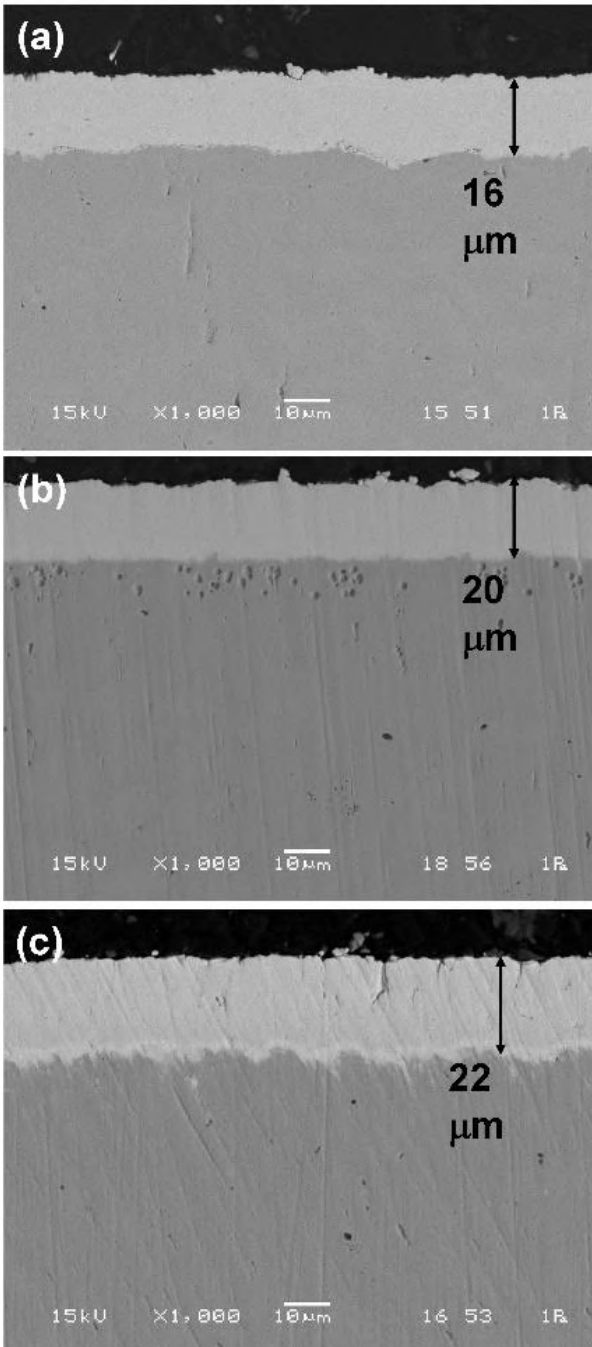
Şekil 1. Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların yüzey SEM görüntüleri: (a) 10 g/L, (b) 20 g/L ve 40 g/L.

Farklı oranlarda tungsten kaynağı içeren kaplamaların yüzeyinden yapılan EDS analizlerin sonucu Şekil 2'de verilmiştir. Kaplama banyolarına ilave edilen sodyum tungstat miktarı arttıkça kaplama içerisindeki ağırlıkça W miktarı da artmıştır. Sodyum tungstat konsantrasyonu 10g/L olan banyodan üretilen kaplamaların W oranı ağırlıkça %8,6 iken, 20 g/L'de %14,5 olmuştur, 40 g/L'de ise %18,7 ile en yüksek W oranı sahip kaplamalar üretilmiştir.



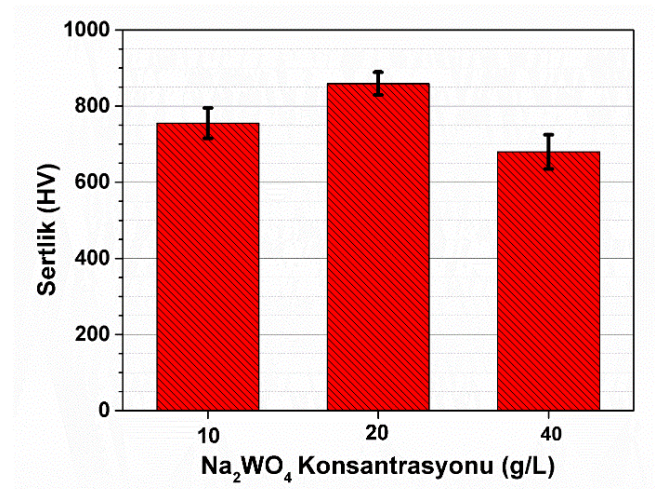
Şekil 2. Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların EDS analiz sonuçları: (a) 10 g/L, (b) 20 g/L ve 40 g/L.

Farklı tungstat konsantrasyonlarına sahip kaplamaların kesit SEM görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Kaplama banyolarındaki sodyum tungstat miktarı arttıkça kaplamaların kalınlıkları da artmıştır. 10, 20 ve 40 g/L konsantrasyonların kaplama kalınları sırasıyla 16, 20 ve 22  $\mu\text{m}$ ’dur. Konsantrasyondaki artış kaplama banyosu içerisindeki iyon miktarını arttırmıştır, bu da altlık yüzeyinde daha fazla birikmelere yol açmıştır. Ancak kaplama kalınlığı ve kaplama içerisindeki tungsten konsantrasyonunun artması kaplamadaki iç gerilmeleri de arttırmıştır. Sodyum tungstat konsantrasyonu 40 g/L olan banyolardan üretilen kaplamada yüzeydeki çatlaklar kesitten de görülmektedir. Bu üç kaplama içerisinde tungsten miktarı yüksek olması, kaplama kalınlığının çok düşük olmaması ve çatlaksız bir kaplama olması açısından 20 g/L konsantrasyonlu banyolardan üretilen kaplamaların en optimum kaplamalar olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların kesit SEM görüntüleri: (a) 10 g/L, (b) 20 g/L ve (c) 40 g/L.

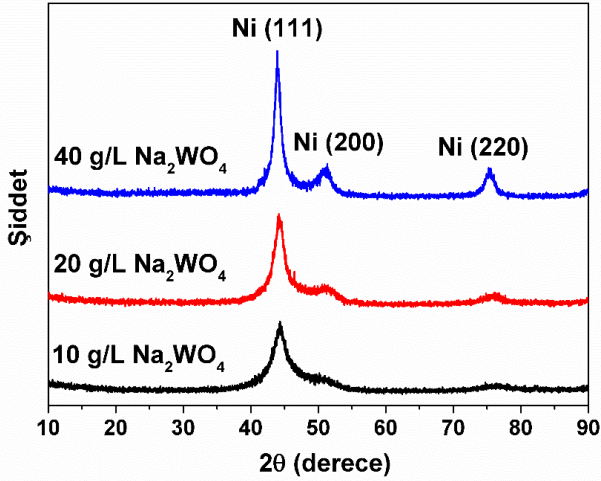
Şekil 4’de farklı konsantrasyonlardan elde edilen kaplamaların ortalama mikro sertlik değerleri verilmiştir. Sodyum tungstat miktarı 10 g/L olan banyodan çıkan kaplamaların sertliği  $756 \pm 41$  HV, 20 g/L’de  $859 \pm 29$  HV ve 40 g/L’de  $680 \pm 44$  HV olarak ölçülmüştür. Banyo içerisindeki sodyum tungstat konsantrasyonu arttıkça kaplama içerisindeki ağırlıkça W miktarı da artmaktadır. Kaplama içerisindeki tungsten miktarı sertliği doğrudan etkileyecektir. Dolayısıyla konsantrasyonun 10 g/L’den 20 g/L’ye çıkarılmasıyla kaplamaların içerisindeki W miktarını etkisiyle kaplamaların sertliğinde ciddi bir artış olmuştur. Konsantrasyonun 40 g/L’ye çıkarılmasıyla kaplamadaki W miktarı artmasına rağmen kaplamaların sertliğinde artış olmamış aksine büyük bir düşüş olmuştur. Bunun sebebi kaplamada iç gerilmenin etkisiyle oluşan çatlaklar ve porozitlerdir (Doğan et al., 2022; Gültekin et al., 2021; Uysal et al., 2021).



Şekil 4. Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların ortalama mikro sertlik sonuçları.

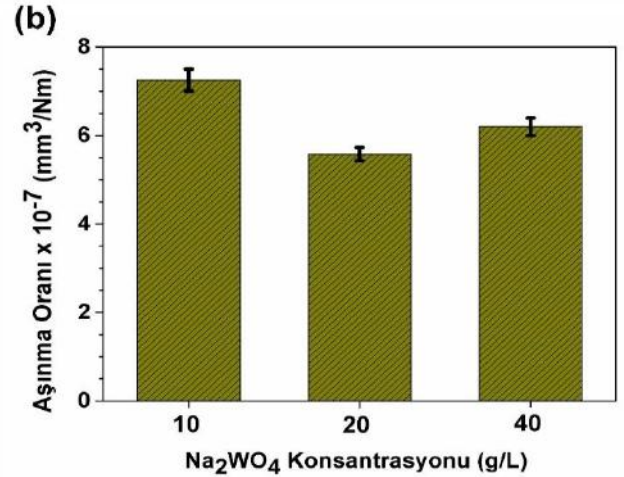
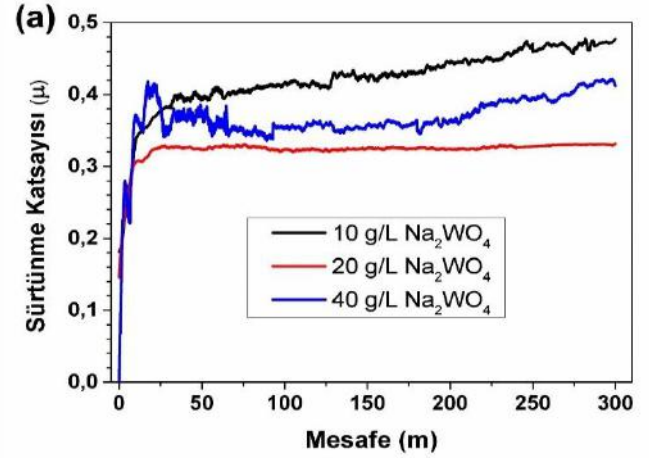
Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlarında üretilen Ni-B-W alaşım kaplamaların XRD analiz sonuçları Şekil 5’de verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre bütün kaplamalar yüzey merkezli kristal yapıya sahip ve nikel fazın (111), (200) ve (220) düzlemlerine karşılık gelen  $2\theta=44^\circ$ ,  $51^\circ$  ve  $76^\circ$  pikleri göstermektedir. Ni içinde B ve W’ın katı çözelti oluşturması nedeniyle XRD grafiklerinde sadece nikel piki görülmüştür. Sodyum tungstat konsantrasyonu arttıkça pik genişliği daralmakta, nikel fazın (111) düzleminde ait pikin daha keskin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sodyum tungstat konsantrasyonu artmasıyla (111) düzlemindeki Nikel pik şiddetinin arttığı görülmüştür. 10 g/L konsantrasyonunda elde edilen kaplamaların XRD grafiği incelendiğinde (200) ve (220) düzleminde nikelin pik şiddetinin çok az olduğu, sodyum tungstat konsantrasyonunun artmasıyla (200) ve (220) düzlemindeki nikel pik şiddetinin ciddi oranda arttığı belirlenmiştir (Doğan, Uysal, Algül, et al., 2020; Doğan, Uysal, Duru, et al., 2020; Duru et al., 2021).





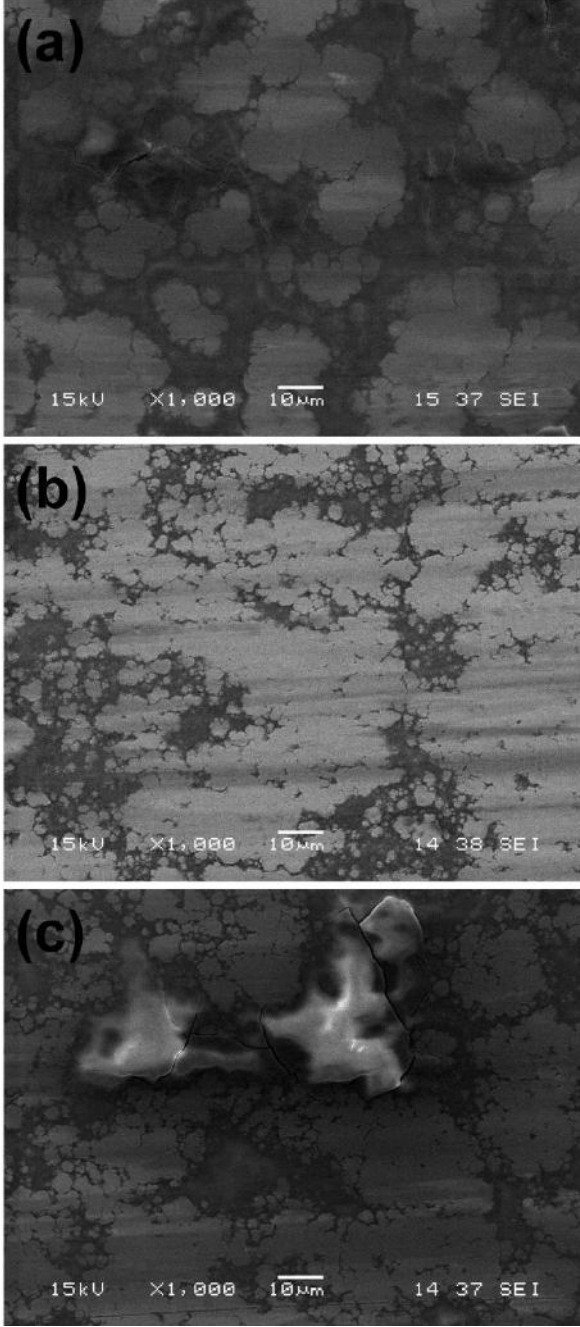
Şekil 5. Kaplamaların XRD analizi sonuçları.

2 N yük için kuru kayma koşulu altında M10 alümina bilyeye karşı farklı sodyum tungstat konsantrasyonlarında üretilen Ni-B-W alaşım kaplamaların sürtünme katsayısı değişimi ve aşınma oranları sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6a'dan görüldüğü gibi 10-20- 40 g/L sodyum tungstat konsantrasyonlarında üretilen kaplamalarda sürtünme katsayısı sırasıyla yaklaşık 0.46, 0.32 ve 0.39  $\mu$ 'dur. En düşük sürtünme katsayısı değeri 20 g/L konsantrasyonunda üretilen kaplamada elde edilmiştir. Sürtünme katsayısının hızla belirli bir değere yükseldiği, stabilize olduğu ve daha sonra aşınma testi bitene kadar sabit bir değerde karalılığını koruduğu görülmüştür. 10 g/L ve 40 g/L konsantrasyonunda üretilen kaplamaların dalgalı sürtünme katsayısı eğrilerinin dalgalı olduğu ve aşınma testi boyunca kararsız bir şekilde devam ettiği görülmüştür. Bunun sebebi ara yüzeyde oluşan kararsız oksitlerin kırılıp tekrar oluşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. 20 g/L sodyum tungstat konsantrasyonunda üretilen kaplamaların sürtünme katsayısı eğrisi dalgasız ve aşınma testi boyunca sabit 0.32  $\mu$  değerinde devam ettiği belirlenmiştir. Sonuçlar uygun miktarda sodyum tungstat ilavesinin, sürtünme katsayısının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını gösterir. Şekil 6b'den görüldüğü gibi 10, 20 ve 40 g/L konsantrasyonlarında üretilen kaplamalarda aşınma oranları sırasıyla yaklaşık 7.25, 5.58 ve 6.20  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ 'dir. En iyi aşınma performansını 20 g/L sodyum tungstat konsantrasyonunda üretilen kaplama göstermiştir. 20 g/L sodyum tungstat konsantrasyonunda üretilen Ni-B-W alaşım kaplamada en düşük aşınma oranı çıkmasının sebebi birkaç mekanizmadan dolayı olabilir. İlk olarak W ilavesi ile kaplamaların sertliğindeki artış, aşınma sırasında meydana gelen plastik deformasyona karşı direnç oluşturmaktadır. Bu durum Archard'ın teorisiyle uyumludur. Archard'ın teorisine göre bir malzemenin aşınma hızı, o malzemenin sertliği ile ters orantılıdır ve bu yüzden, artan sertlik ile kaplamaların aşınma direnci önemli ölçüde gelişmiştir. İkinci olarak yüzeyde oluşan karalı oksit tabakasında dolayı kaplamaların aşınma direnci artmıştır. Karşılıklı çalışan iki yüzey arasından oluşan kararlı bir oksit tabakası metal-metal temasını azaltarak malzemenin sürtünme özelliklerini iyileştirebilir (Mukhopadhyay et al., 2016; Ürdem et al., 2021; Vitry et al., 2011).



Şekil 6. Kaplamaların; (a) sürtünme katsayısı ve (b) aşınma oranları grafikleri.

Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlarında üretilen Ni-B-W alaşım kaplamaların aşınma sonrası elde edilen aşınma izlerinin SEM yüzey görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. 10 g/L sodyum tungstat konsantrasyonunda üretilen Ni-B-W alaşım kaplamaların aşınma yüzeyleri incelendiğinde mikro çatlak oluşumun söz konusu olduğu görülmektedir. Aşınma sırasında yüzeyin büyük bir plastik deformasyona maruz kaldığı görülmekte olup yanal ve dikey olarak görülen mikro çatlakların yorulma aşınması ile birleşerek delemantasyon oluşumuna neden olacağı bilinmektedir. Sodyum tungstat konsantrasyonun artırılmasının, kaplamalar üzerindeki plastik deformasyon miktarını azalttığı, yüzeyde herhangi bir çatlak oluşumunu engellediği görülmektedir. Yüzeyde bulunan asperiteler plastik olarak deforme olduğu ve aşınma yüzeyine sıvanarak kaplamaya gelen plastik deformasyona karşı bir direnç oluşturduğu düşünülmektedir. 20 g/L sodyum tungstat konsantrasyonunda üretilen kaplamaların aşınma yüzeyini incelediğimizde, diğer kaplamaların aşınma yüzeyi ile karşılaştırıldığında malzemenin yüzeyinde plastik deformasyonun çok az olduğu görülmüştür. Ayrıca aşınma yüzeyinde herhangi bir mikro çatlak oluşmadığı ve düzgün bir aşınma yüzeyi elde edildiği belirlenmiştir. Şekil 7b'de görüldüğü gibi, aşınma yüzeyinde çok az derin olmayan abrazyon çizgilerinin olduğu görülmüştür. 40 g/L sodyum tungstat konsantrasyonunda üretilen kaplamaların aşınma yüzeyinde ise büyük çatlakların olduğu ve bu çatlakların birleşmeye başladığı görülmüştür. Burada hâkim olan aşınma mekanizması ise yorulma aşınması-abrazyon aşınma olarak düşünülmektedir (Aslan & Duru, 2021; Zhang et al., 2021).



Şekil7. Farklı sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların aşınma sonrası yüzey SEM görüntüleri: (a) 10 g/L, (b) 20 g/L ve 40 g/L.

#### 4. Sonuç

Akımlı kaplama yöntemiyle farklı sodyum tungstat konsantrasyonu içeren banyolardan Ni-B-W kaplamalar başarılı bir şekilde üretilmiştir. Kaplama sonrası elden edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

10, 20 g/L Sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların yüzey SEM görüntülerine bakıldığında karnabahar yapısı görülmüştür. 40 g/L konsantrasyonlu kaplamada ise derin ve yayılan çatlaklar görülmüştür.

10, 20 ve 40 g/L sodyum tungstat konsantrasyonlu kaplamaların kesitleri SEM ile incelenmiş ve kaplama kalınlıkları sırasıyla 16, 20 ve 22  $\mu\text{m}$ 'dir.

Üç farklı konsantrasyonlu kaplamalar içerisinde en yüksek sertlik değeri 859 HV ile 20 g/L sodyum tungstat içeren banyolardan üretilen kaplamada görülmüştür.

Aşınma sonrası 20 g/L sodyum tungstat içeren kaplamalarda en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri görülmüştür. Bu kaplamanın sürtünme katsayısı 0,32  $\mu$ , aşınma oranı ise 5.58  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ 'dir. Aşınma direnci açısından bu üç kaplamada karşılaştırıldığında en iyi performans 20 g/L konsantrasyonlu kaplamada görülmüştür.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2019-6-22-257)

#### Kaynakça

- Aslan, S., & Duru, E. (2021). Microstructure and Wear Properties of Electrodeposited Ni-B-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite Coating on Low Carbon Steel at Elevated Temperature. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Ref 8. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06290-2>
- Baycik, H. (2002). Ion Nitriding and the Influence of the Properties of the Steel. 19–25.
- Brooman, E. W. (2000). Corrosion behavior of environmentally acceptable alternatives to cadmium and chromium coatings: Cadmium. Part I. *Metal Finishing*, 98(4), 42–50. [https://doi.org/10.1016/s0026-0576\(00\)81602-5](https://doi.org/10.1016/s0026-0576(00)81602-5)
- Delikanlı K, Çalık A, U. H. A. (2003). Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. *BAÜ Fen Bil. Enst. Derg.* (2003), 5(1), 99–110. <https://dergipark.org.tr/en/pub/baunfbed/issue/24784/261855>
- Doğan, F., Duru, E., Uysal, M., Akbulut, H., & Aslan, S. (2022). Tribology Study of Pulse Electrodeposited Ni-B-SWCNT Composite Coating. *Jom*, 74(2), 574–583. <https://doi.org/10.1007/s11837-021-05070-6>
- Doğan, F., Uysal, M., Algül, H., Duru, E., Akbulut, H., & Aslan, S. (2020). Optimization of pulsed electro co-deposition for Ni-B-TiN composites and the variation of tribological and corrosion behaviors. *Surface and Coatings Technology*, 400(June), 126209. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126209>
- Doğan, F., Uysal, M., Duru, E., Akbulut, H., & Aslan, S. (2020). Pulsed electrodeposition of Ni-B/TiN composites: effect of current density on the structure, mechanical, tribological, and corrosion properties. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 8(4), 1271–1284. <https://doi.org/10.1080/21870764.2020.1840704>
- Duru, E., Doğan, F., Uysal, M., Akbulut, H., & Aslan, S. (2021). Fabrication and characterization of graphene oxide reinforced Ni B composite coating by pulsed electrodeposition technique. *Diamond and Related Materials*, 120(October), 108688. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108688>
- Gültekin, D., Duru, E., & Akbulut, H. (2021). Improved wear behaviors of lead-free electrodeless Ni[sbnd]B and Ni-B/CeO<sub>2</sub> composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 422(July). <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127525>
- Harachai, K., Kothanam, N., Qin, J., Boonyongmaneerat, Y., & Jaroenapibal, P. (2020). Hardness and tribological properties of co-electrodeposited Ni-W-B/B coatings. *Surface and*

- Coatings Technology, 402(June), 126313. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126313> 18539. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.176>
- Karaoglanli, A. C., & Turk, A. (2017). Isothermal oxidation behavior and kinetics of thermal barrier coatings produced by cold gas dynamic spray technique. *Surface and Coatings Technology*, 318, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.12.021>
- Li, B., Li, H. J., Yao, X. Y., Tian, X. F., Jia, Y. J., & Feng, G. H. (2022). Ablation behavior of (ZrC/SiC)<sub>3</sub> alternate coating prepared on sharp leading edge C/C composites by CVD. *Journal of Materials Science and Technology*, 115, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.10.049>
- Liquan, Z., Qunpeng, Z., & Jianhua, L. (2001). Amorphous nickel-tungsten-boron composite electrodeposits with zirconium oxide particles. *Metal Finishing*, 99(7), 28–30. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(01\)81109-0](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(01)81109-0)
- Mukhopadhyay, A., Duari, S., Kumar, T., & Prasanta, B. (2016). Tribological Performance Optimization of Electroless Ni – B Coating under Lubricated Condition using Hybrid Grey Fuzzy Logic. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 97(2), 215–231. <https://doi.org/10.1007/s40033-015-0098-0>
- Nagai, T., Hodouchi, K., & Matsubara, H. (2014). Relationship between film composition and microhardness of electrodeposited Ni-W-B films prepared using a citrate-glycinate bath. *Surface and Coatings Technology*, 253, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.05.022>
- Nemane, V., & Chatterjee, S. (2021). Evaluation of microstructural, mechanical, and tribological characteristics of Ni-B-W-SiC electroless composite coatings involving multi-pass scratch test. *Materials Characterization*, 180(February), 111414. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111414>
- Steffani, C., & Meltzer, M. (1995). Electrodeposited tungsten-nickel-boron: A replacement for hexavalent chromium. <http://www.osti.gov/servlets/purl/72974-QMzJhC/webviewable/>
- Topuz, P. (2016). DIN 1.2842 çeliğinin borlanması ile oluşan borür tabakası üzerine borlama sıcaklık ve süresinin etkileri. 1(1), 15–19.
- Ürdem, Ş., Duru, E., Algül, H., Uysal, M., & Akbulut, H. (2021). Evaluation of high temperature tribological behavior of electroless deposited NiB–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating. *Wear*, 482–483(June), 203960. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203960>
- Uysal, M., Algül, H., Duru, E., Kahraman, Y., Alp, A., & Akbulut, H. (2021). Tribological properties of Ni–W–TiO<sub>2</sub>–GO composites produced by ultrasonically–assisted pulse electro co–deposition. *Surface and Coatings Technology*, 410(February), 126942. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.126942>
- Vitry, V., Kanta, A. F., & Delaunois, F. (2011). Mechanical and wear characterization of electroless nickel-boron coatings. *Surface and Coatings Technology*, 206(7), 1879–1885. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.08.008>
- Yang, J., Fu, H., He, Y., Gu, Z., Fu, Y., Ji, J., Zhang, Y., & Zhou, Y. (2022). Investigation on friction and wear performance of volcano-shaped textured PVD coating. *Surface and Coatings Technology*, 431(September 2021), 128044. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.128044>
- Zhang, H., Wang, J., Li, Q., Chen, S., & Ma, C. (2021). Microstructure and performance of magnetic field assisted, pulse-electrodeposited Ni–TiN thin coatings with various TiN grain sizes. *Ceramics International*, 47(13), 18532–18539. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.176>



# Nor-wogonin'in İnsan Rahim Ağzı Kanseri Hücrelerinde Antikanser ve Apoptotik Etkileri (Tr)

Ahmet Karakuş<sup>1\*</sup>, Sevgi Ünal Karakuş<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1458-808X), [akarakus@bartin.edu.tr](mailto:akarakus@bartin.edu.tr)

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6409-7783), [sunal@bartin.edu.tr](mailto:sunal@bartin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083755)

**ATIF/REFERENCE:** Karakuş, A., Ünal Karakuş, S. (2022). Nor-wogonin'in İnsan Rahim Ağzı Kanseri Hücrelerindeki Antikanser ve Apoptotik Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 617-622.

## Öz

Tüm dünyada büyüyen bir sağlık sorunu olan kanser, kardiyovasküler hastalıklardan sonra ikinci en önemli ölüm nedenidir. Kanser tedavisinde kullanılan klasik yöntemlerin (cerrahi, radyoterapi, kemoterapi vb.) tedavide istenilen düzeyde etkili olamaması araştırmacıları kanser tedavisinde yeni terapötiklerin keşfine ve geliştirilmesine yönlendirmiştir. Flavonoidlerin bir alt grubu olan flavonların biyokimyasal ve farmakolojik etkilerine ek olarak antikanser, anti-inflamatuar, antiproliferatif, anti-angiyojenik etkileri olduğu bilinmektedir. Çeşitli biyolojik aktivitelere sahip bir polihidroksi flavon türevidir olan Nor-wogonin'in (5, 7, 8-trihydroxyflavone) insan rahim ağzı kanseri hücre hattı üzerine sitotoksik etkisini ve apoptoza dahil olan bazı genlerin ekspresyon düzeyine etkisini belirlemeyi amaçladık. Çalışmada, rahim ağzı (HeLa) kanser hücre hattına farklı konsantrasyonlarda (10, 20, 40, 80 µM) Nor-wogonin uygulandı. Bileşiğin hücre hatları üzerindeki sitotoksik etkisi MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-difenil tetrazolyum bromür) yöntemi ile belirlendi ve HeLa hücreleri için Nor-wogonin IC50 değeri hesaplandı. Ek olarak, Nor-wogonin'in HeLa hücrelerindeki anti-apoptotik ve pro-apoptotik gen ekspresyon (bax, p53, caspase-3 ve bcl-2 genleri) seviyeleri üzerindeki etkisini gözlemlemek için Q-PCR ile kantitatif gen analizi yapıldı. Nor-wogonin'in artan doza bağlı olarak HeLa hücrelerinde hücre canlılığını önemli ölçüde azalttığı belirlendi (p<0.05). HeLa hücreleri için IC50 değerleri 32.09 µM olarak hesaplandı. Ayrıca HeLa hücrelerinde bax, caspaz-3, p53 gen ekspresyonlarının arttığı ve bcl-2 gen ekspresyonunun azaldığı belirlendi. Sonuç olarak, bir flavon türevidir olan Nor-wogonin, in vitro sitotoksik aktivitesi ile anti-apoptotik ve pro-apoptotik gen ekspresyonu üzerindeki etkileri sayesinde önemli bir terapötik ajan olarak kabul edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Nor-wogonin, Rahim ağzı kanseri, Antikanser etki, Apoptotik Etki, Hücre kültürü.

# Anticancer and Apoptotic Effects of Nor-wogonin on Human Cervical Cancer Cells (Eng)

## Abstract

Cancer, a growing health problem all over the world, is the second most important cause of death after cardiovascular diseases. The ineffectiveness of classical methods (surgery, radiotherapy, chemotherapy, etc.) used in cancer treatment has led researchers to discover and develop new therapeutics in cancer treatment. It is known that flavones, a subgroup of flavonoids, have anticancer, anti-inflammatory, antiproliferative, and antiangiogenic effects in addition to their biochemical and pharmacological effects. We aimed to determine the cytotoxic effect of Nor-wogonin (5, 7, 8-trihydroxyflavone), a polyhydroxyflavone derivative with various biological activities, on the human cervical cancer cell line and its effect on the expression level of some genes involved in apoptosis. In the study, different concentrations of Nor-wogonin (10, 20, 40, 80 µM) were applied to the cervical (HeLa) cancer cell line. The cytotoxic effect of the compound on cell lines was determined by the MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-diphenyl tetrazolium bromide) method and the Nor-wogonin IC50 value for HeLa cells was calculated. In addition, quantitative gene analysis by Q-PCR was performed to observe the

\* Sorumlu Yazar: [akarakus@bartin.edu.tr](mailto:akarakus@bartin.edu.tr)

effect of Nor-wogonin on the levels of anti-apoptotic and pro-apoptotic gene expression (bax, p53, caspase-3 and bcl-2 genes) in HeLa cells. It was determined that Nor-wogonin significantly decreased cell viability in HeLa cells depending on the increasing dose ( $p < 0.05$ ). IC50 values for HeLa cells were calculated as 32.09  $\mu\text{M}$ . In addition, it was determined that bax, caspase-3, p53 gene expressions increased and bcl-2 gene expression decreased in HeLa cells. In conclusion, Nor-wogonin, a flavone derivative, can be considered as an important therapeutic agent thanks to its in vitro cytotoxic activity and its effects on anti-apoptotic and pro-apoptotic gene expression.

**Keywords:** Nor-wogonin, Cervical cancer, Antikanser effect, Apoptotic effect, Cell culture.

## 1. Giriş

Rahim ağzı kanseri her yıl dünya çapında yaklaşık 500.000 kadının hayatını tehdit eden önemli bir sağlık sorunudur (Herzog ve Wright; 2007). Sigara kullanımı, insan papilloma virüsüne mariziyet ve bağışıklık sistemi bozuklukları rahim ağzı kanseri için risk faktörleri arasındadır (Waggoner, 2003). Rahim ağzı kanseri olan kişiler, tümör erken evrelerindeyken tedavi edilebilse de tedaviden kaynaklanan uzun süreli morbidite yaygındır (Waggoner, 2003).

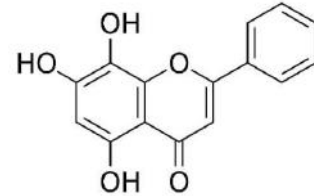
Dünya çapında kanserle mücadelede yıllardır bir savaş verilmesine rağmen morbiditesi ve mortalitesi azalmamaktadır (Banik ve ark, 2020). Her yıl kanser araştırmalarına muazzam miktarlarda para harcanmakta ve tedavisi için çeşitli yöntemlerin geliştirilmekte ancak hastalığın insidasında bir azalış sağlanamamaktadır. Bunun temel nedeni, kanser tedavisinde kullanılan ilaçların çoğunun genellikle iskemik kalp hastalığı, kusma, karaciğer fonksiyon bozukluğu, halsizlik ve hipertansiyon gibi tedavi süreçlerini daha da engelleyen ve sonunda kanserin ilerlemesine neden olan olumsuz yan etkilere sebebiyet vermesidir (Daimary ve ark, 2020; Parama ve ark, 2020). Ayrıca kanser hücrelerinin radyoterapiye ve kemoterapiye direnç geliştirmesinde tedavinin başarısı için istenilen bir durum değildir (Khatoun ve ark, 2020). Bu nedenle, bu ölümcül hastalığın yönetimi için minimum yan etki, kolay erişilebilirlik, düşük maliyet ve daha yüksek verimlilik ile yeni tedavi stratejileri veya kemoterapötiklerin keşfedilmesi önemlidir (Banik ve ark, 2020).

Kanserin önlenmesi ve tedavisi için birçok yeni fitokimyasal ve kemoterapötik ajanın ortaya çıkarılması ve etkilerinin araştırılması önem arz etmektedir. Fenolikler ve polifenolikler, terpenoidler, alkaloidler ve kükürt içeren bileşikler gibi fitokimyasallar, esas olarak çok çeşitli meyve, sebze ve bitkisel bitkilerden elde edilir ve muazzam antikanser özelliklere sahiptir (Cragg ve Pezzuto, 2016; Harsha ve ark, 2017). Ayrıca bu doğal ajanlar, büyüme faktörleri, kinazlar, reseptörler, kemokinler, sitokinler, transkripsiyon faktörleri ve enflamatuvar enzimler gibi çok sayıda moleküler onkojenik hedefi modüle edebilir ve böylece kanser hücrelerini kemoterapötiklere karşı duyarlı hale getirebilir, olumsuz yan etkileri önleyebilir, yaşam kalitesini iyileştirebilir ve kanser hastalarında hayatta kalma süresini uzatabilmektedir (Tewari ve ark, 2019; Bose ve ark, 2020).

Flavonlar, sekonder metabolitler grubunda en önemli biyoaktif bileşiklerinden olan flavonoidlerin alt gruplarından birini oluşturmaktadır (Martens ve Mithöfer, 2005). Flavonların antiinflamatuvar, antioksidan, antikanserojenik, antiproliferatif, antiangiyojenik, biyokimyasal ve farmakolojik aktiviteleri vardır ve toksik etkileri bulunmamaktadır (Havsteen, 2002). Flavonların bahsedilen terapötik potansiyeli, bu bileşikler ilaç tasarımı için değerli hedefler haline getirir. Bu kapsamda, flavonların kanser önleme ve tedavisinde kullanımları üzerinde durulması önemlidir (Singh ve ark, 2014).

Wogonin (5,7-dihydroxy-8-methoxyflavone) ve Nor-wogonin (5,7,8-trihydroxyflavone) *Scutellaria baicalensis*'ten

izole edilen antikanser, antiviral ve antioksidan gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahip bir polihidroksi flavondur (Hui ve ark, 2002; Miyasaki ve ark, 2013).



Şekil 1. Nor-wogonin flavonunun kimyasal yapısı

Wogonin'in meme, lösemi ve kolorektal kanserler dahil olmak üzere birçok kanser türünde etki mekanizması ve antikanser aktivitesi incelenmiştir (Huynh ve ark, 2017). Ancak Nor-wogonin'in antikanser aktivitesi ve mekanizması hakkında yeterli çalışma yoktur (Abd El-Hafeez ve ark, 2019). Nor-wogonin'in kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Nor-wogonin, HL-60 lösemi hücrelerinde (Chow ve ark, 2008) apoptozu indükler ve MDA-MB-231 hücrelerinde ise hücre döngüsünü durdurarak, hücre bölünmesini engeller ve hücreleri apoptozu yönlendirerek antiproliferatif bir etki gerçekleştirir (Abd El-Hafeez ve ark, 2019). Ayrıca Nor-wogonin, SW48 kolorektal kanser hücrelerinde, hücre döngüsü tutulmasını, otofajiyi ve apoptozu tetikleyerek hücrelerinin in vitro büyümesini inhibe eder ve olası bir antikanser terapötik olma potansiyeline sahiptir (Wang ve ark, 2020).

Bu çalışma, bir polihidroksi flavon olan Nor-wogonin'in insan rahim ağzı kanser hücreleri (HeLa) üzerindeki antikanser ve apoptotik etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hücre Kültürü

#### 2.1.1. Nor-wogonin Konsantrasyonlarının Seçimi ve Hazırlanması

İnsan rahim ağzı kanseri hücre hattına uygulanan Nor-wogonin'in 10, 20, 40 ve 80  $\mu\text{M}$  konsantrasyonları (Abd El-Hafeez ve ark, 2019; Chow ve ark, 2008) kullanıldı. Nor-wogonin ticari olarak temin edildi (Cas No: 4443-09-8) ve uygun çözücü içerisinde (serum fizyolojik) belirlenen konsantrasyonları hazırlanarak HeLa hücreleri üzerine uygulaması yapıldı.

#### 2.1.2. Hücrelerin çoğaltılması, Nor-wogonin'in hücreler ile muamelesi ve antikanser etkinin belirlenmesi (MTT testi)

HeLa hücrelerini beslemek ve çoğaltmak için DMEM besi ortamı (Sigma-Aldrich, ABD; %10 FBS, 0.1 mg/mL streptomisin 100 U/mL penisilin) kullanıldı. Hücreler 75 cm<sup>2</sup> hücre kültürü flaskı (TPP; İsviçre) içerisinde büyütüldü ve bir inkübatöre (37°C, %5 CO<sub>2</sub>; N-Biotek, Güney Kore) inkübe edildi. Hücre besi ortamı 3-4 günde bir değiştirildi ve hücreler %80-90 yoğunluğa

ulaştığında pasajlandı. HeLa hücreleri DMEM ortamında 10, 20, 40, 80  $\mu$ M Nor-wogonin konsantrasyonları ile muamele edildi.

Nor-wogonin'in antikanser etkisi, 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-difeniltetrazolium bromid (MTT) testi ile belirlendi (Mosmann, 1983). Bu kapsamda %80-90 yoğunluğa ulaşan HeLa hücreleri Tripsin-EDTA ile kullanılarak 75 cm<sup>2</sup>'lik flaskların tabanlarından kaldırıldı ve invert mikroskop altında sayıldı. Daha sonra hücreler 96 kuyucuklu mikropklakların her bir kuyucuğuna  $15 \times 10^4$  hücre gelecek şekilde ekildi. Ekilen hücreler 37°C'lik sıcaklıkta, %5 CO<sub>2</sub>'li inkübatörde 24 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyonun ardından hücre besi ortamı değiştirildi ve Nor-wogonin'in farklı konsantrasyonları hücrelerin içinde bulunduğu kuyucuklara eklenerek 24 saat inkübe edildi (Koran ve ark, 2017).

İnkübasyonun akabinde kuyucuklardaki besi ortamı uzaklaştırıldı ve steril PBS içerisinde hazırlanan MTT solüsyonu (0.5 mg/mL) herbir kuyucuğa eklendikten sonra mikropklakalar 3 saat 37°C'lik sıcaklıkta, %5CO<sub>2</sub>'li inkübatörde inkübasyona bırakıldı. Sonrasında kuyucuklarda bulunan sıvı kısım çekildi ve her bir kuyucuğa 100  $\mu$ L dimetil sülfoksit (DMSO) eklenerek inkübasyon durduruldu. Mikropklakardaki hücrelerin optik yoğunlukları spektrofotometre ile (Thermo MultiscanGo, ABD) 570 nm dalga boyunda belirlendi (Mosmann, 1983).

Kontrol kuyucuklarından elde edilen absorbans değerlerinin ortalaması alınarak bu değer %100 canlı hücre olarak kabul edildi. Nor-wogonin'in farklı konsantrasyonlarının uygulandığı mikropklaka kuyucuklardan elde edilen absorbans değerleri, kontrol absorbans değerine oranlandı ve yüzde (%) canlılık değerleri belirlendi.

## 2.2. Etkin Dozun (IC<sub>50</sub>) Belirlenmesi

MTT analizi sonuçlarına göre Nor-wogonin'in farklı konsantrasyonlardaki etkileri GraphPad Prizm 6 programı aracılığıyla değerlendirildi ve test bileşiğinin hücreler üzerine inhibe edici konsantrasyon (IC<sub>50</sub>) değeri hesaplandı. Bu basamaktan sonra gerçekleştirilen Q-PCR çalışmalarında belirlenen bu doz uygulaması yapıldı.

## 2.3. Gen Ekspresyonunun Q-PCR ile Belirlenmesi

HeLa hücrelerine uygulanan Nor-wogonin'in anti-apoptotik ve pro-apoptotik gen ekspresyon gen ekspresyon seviyesine yaptığı etkinin gözlenmesi için kantitatif gen analizi yapıldı. Bu amaçla hedef dizilere spesifik primer setleri dizayn edildi. Nispi ekspresyon değişiminin değerlendirilebilmesi için  $\beta$ -actin geni referans olarak alındı. Ekspresyondaki değişim düzeyi C<sub>T</sub> değerleri arasındaki karşılaştırma ile hesaplandı.

### 2.3.1. Hücre Kültüründen Total RNA İzolasyonu

Total RNA izolasyonu için, HeLa hücrelerinin Nor-wogonin IC<sub>50</sub> değeri ile muamele edilmiş  $1 \times 10^6$  hücre içeren 6 kuyucuklu mikropklakaların her bir kuyusuna 1.5 mL soğuk PBS ilave edildi ve ardından hücreler kuyucuklardan kazındı. HeLa hücrelerinden total RNA izolasyonu, üreticinin protokolünün (Thermo Fisher Scientific) önerisi ile yapıldı. RNA'ların saflık derecesi A260/A230 oranı spektrofotometre (Thermo Scientific Multiscan GO, ABD) ile ölçüldü. Oran, her RNA örneği için 1.8 ile 2.0 arasında hesaplandı. cDNA sentezi, üreticinin protokolüne göre (Bio-Rad) uygulandı. cDNA örnekleri -20°C'de ve mRNA örnekleri -86°C'de saklandı (Ceylan ve ark, 2019).

### 2.3.1. Primer Tasarımı ve Q-PCR

cDNA'lar Q-PCR tekniği ve SYBR Green (2xqPCRBIO SyGreen Mix Lo-ROX Kiti, PCR Biosystems) kullanılarak çoğaltıldı. Ekspresyonu araştırılacak genlere (Bcl-2, Bax, p53, caspase-3 ve  $\beta$ -actin ) özgü primer dizileri Primer3 programı (v. 0.4.0) ile tasarlandı ve ticari olarak satın alındı (Metabion). Genlere ait primer dizileri Tablo 1'de verilmiştir. qPCR çalışmalarında housekeeping gen olarak  $\beta$ -Actin referans alınmıştır. Seçilen genlerin ve housekeeping genin ekspresyonu, Q-PCR cihazında (Bio-Rad CFX96) incelendi. Herhangi bir uygulama yapılmayan gruplar ise kontrol olarak kullanıldı.

Tablo 1. Q-PCR reaksiyonunda kullanılan ileri ve geri primer dizileri

Genin Adı	Primer Dizisi (5'-3')
$\beta$ -actin	İleri CACCCAGCCATGTACGTTGC
	Geri CCAGCCCATGATGGTTCTGAT
bcl-2	İleri GAGGGGCTACGAGTGGGATGC
	Geri GGAGGAGAAGATGCCCGGTGC
bax	İleri CCGAGAGGTCTTTTCCGAG
	Geri CCAGCCCATGATGGTTCTGAT
p53	İleri CCTCAGCATCTTATCCGAGTGG
	Geri GGATGGTGGTACAGTCAGAGC
kaspaz-3	İleri GCGAATCAATGGACTCTGGAA
	Geri GTCAACAGGTCCATTTGTTC

qPCR reaksiyon koşulları; 2 dakika 95°C'de inkübasyondan sonra; 5 saniye 95°C'de, 40 döngü; 45 saniye 66°C'de, 45 döngü; 2 dakika 74°C'de, 45 döngü ve son olarak 72°C'de 5 dakika, 1 döngü olacak şekilde ayarlandı. mRNA ekspresyon seviyeleri 2<sup>- $\Delta\Delta$ C<sub>t</sub></sup> yöntemi (Livak ve ark, 2001) ile belirlendi.

Deneylerde tüm cDNA örnekleri ve standart örnekler aynı şartlarda ve aynı grup içerisinde deneysel hataları ve farkları azaltmak amacıyla üçer örnek olarak analiz edildi.

## 2. 4. İstatistiksel Analiz

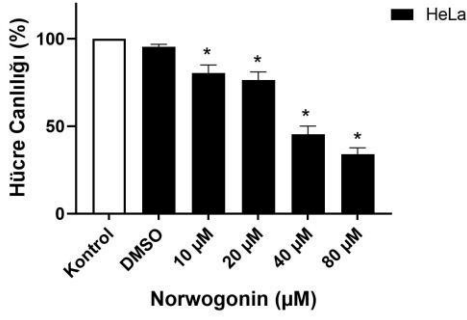
Çalışmada yapılan tüm deneyler birbirinden bağımsız olarak üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi ve standart sapma değerleri hesaplandı. Bulguların istatistiksel analizi, GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software, ABD) programı ile One Way Anova ve testi kullanılarak değerlendirildi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Norwogonin HeLa Hücrelerinde Antikanser Etkiye Sahiptir

HeLa insan rahim ağzı kanseri hücre hattına uygulanan Nor-wogonin'in hücre canlılığı üzerindeki etkisi Şekil 2'de gösterilmektedir. Bulgularımıza göre Nor-wogonin, HeLa hücrelerinde hücre canlılığını doza bağımlı olarak azalttı. Nor-wogonin'in tüm konsantrasyonları (10, 20, 40 ve 80  $\mu$ M) HeLa hücrelerinde hücre canlılığını azalttı.

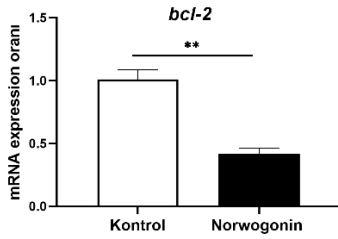
Ayrıca HeLa hücreleri için Nor-wogonin'in IC<sub>50</sub> değeri belirlendi. Bu değer 32.09 µM olarak hesaplandı.



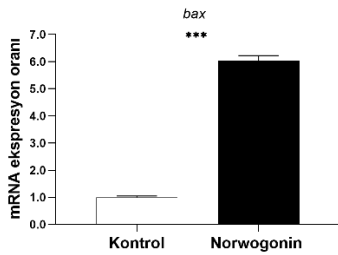
Şekil 2. 24 saat boyunca Nor-wogonin konsantrasyonları ile tedavi edilen insan rahim ağzı kanseri hücrelerinin (HeLa) canlılığındaki % değişim (\* $p < 0.05$ )

### 3.1. Norwogonin HeLa Hücrelerinde Apoptotik Etkiye Sahiptir

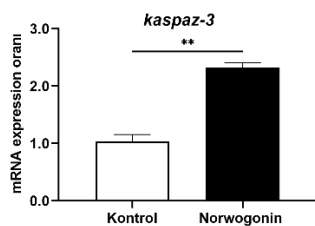
Kontrol grubu için tüm genlerin mRNA ekspresyon seviyeleri 1.0 olarak değerlendirildi ve sonuçlar kontrol grubuna göre kıyaslandı. Q-PCR sonuçlarına göre Nor-wogonin tedavisi uygulanan HeLa hücrelerinde bcl-2 gen ekspresyonu azalırken (Şekil 3), bax (Şekil 4), kaspaz-3 (Şekil 5) ve p53 (Şekil 6) genlerinin ekspresyonunun arttığı belirlendi. Şekil 3'te verilmiştir.



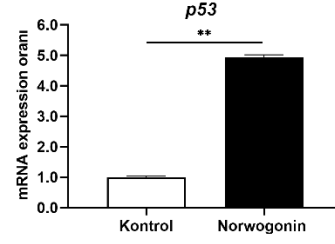
Şekil 3. Nor-wogonin ile tedavi edilen HeLa hücrelerine ve kontrol grubuna ait bcl-2 mRNA ekspresyon oranı ( $p < 0,001 = **$ )



Şekil 4. Nor-wogonin ile tedavi edilen HeLa hücrelerine ve kontrol grubuna ait bax mRNA ekspresyon oranı ( $p < 0,0001 = ***$ )



Şekil 5. Nor-wogonin ile tedavi edilen HeLa hücrelerine ve kontrol grubuna ait kaspaz-3 mRNA ekspresyon oranı ( $p < 0,001 = **$ )



Şekil 6. Nor-wogonin ile tedavi edilen HeLa hücrelerine ve kontrol grubuna ait bcl-2 mRNA ekspresyon oranı ( $p < 0,001 = **$ )

Flavonoidler gibi bitki kökenli doğal ürünler, birçok ilaç ve diyet takviyesinin önde gelen kaynaklarıdır (Liu ve ark, 2005; Huynh ve ark, 2017). Polihidroksiflavonlar sınıfına dahil olan ve yapı olarak nispeten benzer olan Wogonin'in ve Nor-wogonin'in çeşitli biyolojik etkileri bulunmaktadır (Chipuk ve ark; 2004). Wogonin ve Nor-wogonin arasındaki yapısal fark, Wogonin'in C8'inde bir metoksil (OCH<sub>3</sub>) grubunun bulunması ve Nor-Wogonin'in C8'inde bir hidroksil (OH) grubunun (Miyashita ve ark, 1994) varlığından kaynaklanmaktadır. Nor-wogonin'in insan lösemi (HL-60) hücrelerinde Wogonin'den daha etkili bir apoptotik indükleyici olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark, 2020). Wogonin ile karşılaştırıldığında, Nor-wogonin'in sitotoksik/antikanser etkisi hakkında literatürde yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada Nor-wogonin'in insan rahim ağzı kanseri hücrelerinde antikanser ve apoptotik etkilerini araştırarak literatüre katkı sağlamayı amaçladık. Bulgularımıza göre Nor-wogonin, HeLa hücrelerinde hücre canlılığını yapılan çalışmalarda olduğu (Abd El-Hafeez ve ark, 2019; Chow ve ark, 2008) gibi doza bağlı azalttığı belirlendi. Nor-wogonin'in, insan üçlü meme kanseri hücrelerinin hücre canlılığını azalttığı ve MDA-MB-231, BT-549, HCC70 ve HCC1806 hücrelerindeki IC<sub>50</sub> değerlerinin sırasıyla 32.24, 56.2, 39.05 ve 37.3 µM olduğu bildirilmiştir (Abd El-Hafeez ve ark, 2019). Benzer şekilde Nor-wogonin'in HeLa hücrelerindeki hesaplanan IC<sub>50</sub> değeri MDA-MB-231 ve HCC1806 hücrelerinde hesaplanan IC<sub>50</sub> değerine yakın bir değer (32.09 µM) olduğu tesbit edildi. Ek olarak, yapılan bir başka çalışma ile Nor-wogonin, HL-60 insan lösemi ve SW48 insan kolon kanseri hücrelerinde hücre canlılığını azalttığı, HL-60 ve SW48 hücrelerinin IC<sub>50</sub> değerleri sırasıyla 21.7 µM ve 15.5 µM olduğu belirlenmiştir (Chow ve ark, 2008), bu değerlerin HeLa hücrelerinde hesapladığımız IC<sub>50</sub> değerinden düşük olduğu görülmektedir.

Flavonoidler gibi doğal bileşikler, potansiyel terapötik etkileri ve sağlıklı hücrelere sınırlı toksisiteleri nedeniyle kanserin önlenmesi ve tedavisi için önemli ajanlar olarak kabul edilmektedir. Karsinogenezde flavonoidler hücre içi sinyal iletim yollarına müdahale ederek proliferasyonu, anjiyogenezi, metastazi baskılar ve apoptozu artırır (Srivastava ve ark, 2018; Ravishankar ve ark, 2016). Hücrelerdeki genler tarafından kontrol edilen apoptoz, hücrenin aktif ölüm sürecinin bir parçasıdır. Çalışmamızda Nor-wogonin'in HeLa hücrelerinde apoptotik süreçlerinde görev alan antiapoptotik bcl-2, proapoptotik bax, kaspaz-3 ve p53 genlerinin ekspresyon düzeylerini de araştırdık. HeLa hücrelerinde bcl-2 gen ekspresyonunun azaldığını, bax, kaspaz-3 ve p53 genlerinin ekspresyonunun arttığını belirledik.

Apoptoza giren hücrelerde kaspaz kaskadı aktivasyonu meydana gelir. Bu çalışmada, Nor-wogonin, HeLa hücrelerinde kaspaz-3 gen ekspresyonunun arttığını gözledik. Bax ve bcl-2 gen ekspresyon oranı apoptozun tetiklenmesinde ve hücre ölümünün gerçekleşmesinde önemlidir (Liu ve ark, 2005). Bulgularımıza göre Nor-wogonin uygulanan HeLa hücrelerinde, bcl-2/bax genlerinin ekspresyon oranının apoptozu tetiklediği söylenebilir.

Tümör baskılayıcı protein p53, bax ve bcl-2 gen ekspresyonunu düzenlemekten, DNA onarım mekanizmalarını aktive etmekten, hücre döngüsü kontrol noktalarından ve apoptoz yanıtından sorumludur. DNA'ya zarar veren ajanlar, apoptotik programı aktive etmek için pro-apoptotik bax genini doğrudan aktive etmede öncü bir rol oynayan p53'ü indükler (Chipuk ve ark; 2004; Miyashita ve ark, 1994). Bu çalışmada Nor-wogonin'in, HeLa hücrelerinde p53 ekspresyonunu arttırdığı belirlendi.

## 4. Sonuç

Sonuçlarımız birlikte değerlendirildiğinde Nor-wogonin insan Rahim ağzı kanseri (HeLa) hücrelerinde antikanser etki göstermiştir. Ayrıca proapoptik genlerden bax, kaspaz-3 ve p53 gen ekspresyonlarını artırma ve antiapoptik bcl-2 gen ekspresyonunu azaltma suretiyle gen düzeyinde hücreleri apoptoza yönlendirdiği söylenebilir. Ancak, Nor-wogonin'in hücre ölümünü hangi moleküler mekanizmalar aracılığıyla gerçekleştirdiğinin detaylı olarak aydınlatılabilmesi ve biyouyumluluk düzeyinin belirlenmesi için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2021-FEN-B-001 proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

## Kaynakça

Abd El-Hafeez, A. A., Khalifa, H. O., Mahdy, E. A. M., Sharma, V., Hosoi T., Ghosh, P., et al. (2019). Anticancer effect of nor-wogonin (5, 7, 8-trihydroxyflavone) on human triple-negative breast cancer cells via downregulation of TAK1, NF- $\kappa$ B, and STAT3. *Pharmacol Rep.* 71(2), 289-298.

Banik, K., Khatoon, E., Harsha, C., Rana, V., Parama, D., Thakur, K. K., Bishayee, A., Kunnumakkara, A. B. (2022). Wogonin and its analogs for the prevention and treatment of cancer: A systematic review. *Phytotherapy Research.*

Bose, S., Banerjee, S., Mondal, A., Chakraborty, U., Pumarol, J., Croley, C. R., & Bishayee, A. (2020). Targeting the JAK/STAT signaling pathway using Phytocompounds for cancer prevention and therapy. *Cell*, 9(6), 1451.

Ceylan, H., Budak, H., Kocpinar, E. F., Baltacı, N. G. & Erdogan, O. (2019). Examining the link between dose-dependent dietary iron intake and Alzheimer's disease through oxidative stress in the rat cortex. *J Trace Elem Med Biol.* 56, 198-206.

Chipuk, J. E., Kuwana, T., Bouchier-Hayes, L., Droin, N. M., Newmeyer, D. D., Schuler, M., et al. (2004). Direct activation of Bax by p53 mediates mitochondrial membrane permeabilization and apoptosis. *Science*, 303, 1010-1014.

Chow, J. M., Huang, G. C., Shen, S. C., Wu, C. Y., Lin, C. W. & Chen, Y. C. (2008). Differential apoptotic effect of wogonin

and nor-wogonin via stimulation of ROS production in human leukemia cells. *J Cell Biochem*, 103, 1394-1404.

Cragg, G. M., & Pezzuto, J. M. (2016). Natural products as a vital source for the discovery of cancer chemotherapeutic and Chemopreventive agents. *Medical Principles and Practice*, 25, 41-59

Daimary, U. D., Dey, P., Rana, V., Banik, K., Kumar, A., Choudhary, H., & Kunnumakkara, A. (2020). Emerging roles of cardamonin, a multitargeted nutraceutical in the prevention and treatment of chronic diseases. *Curr Res Pharmacol Drug Discov*, 10, 2:100008.

Harsha, C., Banik, K., Bordoloi, D., & Kunnumakkara, A. B. (2017). Antiulcer properties of fruits and vegetables: A mechanism based perspective. *Food and Chemical Toxicology*, 108(Pt A), 104-119.

Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology and Therapeutics*, 96, 67-202.

Hui, K. M., Huen, M. S., Wang, H. Y., Zheng, H., Sigel, E., Baur, R., et al. (2002). Anxiolytic effect of wogonin, a benzodiazepine receptor ligand isolated from *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Biochem Pharmacol*, 64(9), 1415-1424.

Huynh, D. L., Sharma, N., Singh, A. K., Sodhi, S. S., Zhang, J. J., Mongre, R. K., Ghosh, M., Kim, N., Park, Y. H. & Jeong, D. K. (2017). Anti-tumor activity of wogonin, an extract from *Scutellaria baicalensis*, through regulating different signaling pathways. *Chin J Nat Med*, 15(1), 15-40.

Khatoon, E., Banik, K., Harsha, C., Sailo, B. L., Thakur, K. K., Khwairakpam, A. D., et al. (2020). Phytochemicals in cancer cell chemosensitization: Current knowledge and future perspectives. *Seminars in Cancer Biology*, S1044-579X(20), 30150-4.

Koran, K., et al., (2017). Synthesis, structural and thermal characterizations and in vitro cytotoxic activities of new cyclotriphosphazene derivatives. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 192(9), 1002-1011.

Liu, J., Huang, R., Lin, D., Peng, J., Wu, X. & Lin, Q. (2005). Expression of survivin and bax/bcl-2 in peroxisome proliferator activated receptor- $\gamma$  ligands induces apoptosis on human myeloid leukemia cells in vitro. *Ann Oncol*, 16, 455-459.

Livak, K. J. & Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta CT}$  method. *Methods*, 25(4), 402-408.

Martens, S. & Mithöfer, A. (2005). Flavones and flavone synthases. *Phytochemistry*, 66(20), 2399-2407.

Miyasaki, Y., Rabenstein, J. D., Rhea, J., Crouch, M. L., Mocek, U. M., Kittell, P. E., et al. (2013). Isolation and characterization of antimicrobial compounds in plant extracts against multidrug. *PlosOne*, 8, 4.

Miyashita, T., Krajewski, S., Krajewska, M., Wang, H. G., Lin, H., Liebermann, D. A., et al. (1994). Tumor suppressor p53 is a regulator of bcl-2 and bax gene expression in vitro and in vivo. *Oncogene*, 9, 1799-1805.

Mosmann, T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of Immunological Methods*, 1983. 65(1), 55-63.

Parama, D., Boruah, M., Yachna, K., Rana, V., Banik, K., Harsha, C., et al. (2020). Diosgenin, a steroidal saponin, and its analogs: Effective therapies against different chronic diseases. *Life Sciences*, 260, 118182.



- Ravishankar, D., Rajora, A. K., Greco, F. & Osborn, H. M. I. (2013). Flavonoids as prospective compounds for anti-cancer therapy. *Int J Biochem Cell Biol*, 45, 2821-2831.
- S Herzog, T. J & Wright J. D. (2007). The impact of cervical cancer on quality of life--the components and means for management. *Gynecol Oncol*, 107(3), 572-577.
- Singh, M., Maninder, K. & Om, Si. (2014). Flavones: An important scaffold for medicinal chemistry. *Eur J Med Chem*, 84, 206-239.
- Srivastava, S., Somasagara, R. R., Hegde, M., Nishana, M., Tadi, S. K., Srivastava, M, et al. (2016). Natural Flavonoid Interacts with DNA, Arrests Cell Cycle and Causes Tumor Regression by Activating Mitochondrial Pathway of Apoptosis. *Sci Rep*, (12)6, 24049.
- Tewari, D., Patni, P., Bishayee, A., Sah, A. N., & Bishayee, A. (2019). Natural products targeting the PI3K-Akt-mTOR signaling pathway in cancer: A novel therapeutic strategy. *Seminars in Cancer Biology*, (19), 30405–5.
- Waggoner, S. E. (2003). Cervical cancer. *The Lancet*, (361)9376, 2217-2225.
- Wang, Z., Zhang, Q., Zhou, L., Liu, G., Wu, Q. & Chen, C. (2020). Nor-wogonin flavone suppresses the growth of human colon cancer cells via mitochondrial mediated apoptosis, autophagy induction and triggering G2/M phase cell cycle arrest. *J Buon*, 25(3), 1449-1454.



# Baskı Devre Kart Malzemesi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi

Ahmet Cihan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9110-2368), [ahmetcihan@duzce.edu.tr](mailto:ahmetcihan@duzce.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083606)

**ATIF/REFERENCE:** Cihan, A. (2022). Baskı Devre Kart Malzemesi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 623-627.

## Öz

Elektronik bileşenleri bir arada tutan ve olması gereken bağlantıları sağlayan baskı devre kartları, günümüz elektronik sektörünün olmazsa olmaz bileşenlerinden birisidir. Elektronik devre tasarımcıları açısından kullanılacak kartın parametreleri, yüksek frekans devrelerinde devre tasarımını oldukça önemli biçimde etkilemektedir. Bu çalışmada, yapılacak bir baskı devre tasarımı için en uygun kart malzemesinin seçimi problemi ele alınmaktadır. Seçilecek baskı devre kart malzemesine çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan analitik hiyerarşi süreci ile karar verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Baskı Devre Kartı Malzeme Seçimi, Analitik Hiyerarşi Süreci, Çok Kriterli Karar Verme.

## Analytical Hierarchy Process Method in Selection of Printed Circuit Board Material

### Abstract

Printed circuit boards, which hold electronic components together and provide the necessary connections, are one of the indispensable components of today's electronics industry. In terms of electronic circuit designers, the parameters of the card to be used affect the circuit design in high frequency circuits quite significantly. In this study, the problem of choosing the most suitable card material for a printed circuit design is discussed. The printed circuit board material to be selected was decided by the analytical hierarchy process, which is one of the multi-criteria decision making methods.

**Keywords:** Printed Circuit Board Material, Analytical Hierarchy Process, Multi Criteria Decision Making.

\* Sorumlu Yazar: [ahmetcihan@duzce.edu.tr](mailto:ahmetcihan@duzce.edu.tr)

## 1. Giriş

Sanayi sektöründeki birçok sektörle kıyaslandığında elektronik sektörü yeni sayılabilecek bir sektör olmasına rağmen son elli senede ufuk açıcı seviyede bir gelişim göstermiştir. Elektronik sektöründeki gelişim, düşük maliyetli bilgisayarların ortaya çıkışına öncülük etmiş ve yeni bir teknolojik çağın başlamasına yol açmıştır.

Baskı devre kartları oldukça uzun zamandır elektronik sektörde devre elemanlarını bir arada tutmak için kullanılan önemli bileşenlerden birisidir. Yüksek hız gerektiren uygulamalar dolayısı ile bu bileşenlerin gereksinimleri de değişime uğramıştır. Mikroşerit teknolojisinin gelişimi sonucu bazı bileşenler baskı devre kartlarının üzerinde oluşturulmaya başlanmış ve kartlarda bulunan dielektrik malzemeden dolayı oluşan kayıpların etkisinin azaltılması önemli hale gelmiştir.

Yüksek güç devrelerinde oluşan ısının atılması için baskı devre kartı seçimi ve elemanların yerleşim düzeni önem kazanmaya başlamıştır. Paket programlar, yerleşim düzeninin belirlenmesi konusunda tasarımcılara yardımcı olmaktadır. Ancak yerleşim düzenini belirleyen programlar, bazı koşulları ihmal ederek yerleşim düzenini ayarlamaya çalışmaktadır. Isınma problemi de devrenin çalışmasını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir [1].

Baskı devre kartlarında eleman yerleşim düzeni, dielektrik malzemesi seçimi gibi teknik konuların yanı sıra günümüz rekabet ortamında işletmeler açısından en önemli sorunlardan birisi de maliyetin azaltılması konusudur. Ayrıca işletmelerin üretimlerini olabildiğince hızlı biçimde hayata geçirebilmeleri, yeni ürünlerini diğer işletmelerden önce piyasaya sürmeleri pazarda ilk olabileme avantajını elde edebilme açısından önem taşımaktadır.

Birden çok sayıda kriterin olduğu karar verme problemlerinin ele alınmasında kullanılan teknikler, çok kriterli karar verme teknikleri olarak bilinmektedir. Bu tekniklerin bir kısmı; analitik hiyerarşi süreci (AHS), analitik ağ süreci (AAS), ideal çözüme olan benzerlik sırası tekniği (TOPSIS), eleme ve gerçeklik seçim çevirisi (ELECTRE) olarak sayılabilir [9], [12]. Çok kriterli karar verme teknikleri karar vericilere alacakları kararlarda yardımcı olmaktadır. Ancak her karar vericinin değerlendirme kriterleri farklı olabileceğinden karar vericilerin aynı tekniği kullanarak değişik sonuçlara ulaşması mümkündür.

Baskı devre kartı seçimi için belirli bir standart bulunmamaktadır. Ancak baskı devre kartlarının üzerinde gerçekleştirilebilen mikroşerit teknolojisi, hem iletim hattı ve filtre gerçekleştirme uygulamalarında [2], [3] hem de anten uygulamalarında [4], [5], [6] sıklıkla kullanılmaktadır.

Konuk vd. mikroşerit anten tasarımı yaptıkları [7] çalışmalarında iki farklı kart türü kullanmışlar, kullanılan baskı devre kart malzemesinin farklı seçilmesi sonucunda hem tasarım parametrelerinin değişmesi gerektiğini hem de uygulama sonucunda elde edilen çıktı parametrelerinin değiştiğini benzetim tekniği ile göstermişlerdir.

Baskı devre kartlarının radyo frekans uygulamalarının yanı sıra kartların daha hızlı üretimleri için yapılmış olan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda genel olarak delikli baskı devre kartlarında açılması gereken deliklerin gezgin satıcı problemi olarak modellenerek, modelin çözülmesi hedeflenmektedir. Karakoç [8] çalışmasında görüntü işleme tekniklerini kullanarak

delik yerlerini ifade ettiği gezgin satıcı problem modelini oluşturmuş, genetik algoritma kullanarak oluşturduğu modelin çözümünü elde etmeye çalışmıştır.

Çakır vd. [1] çalışmalarında baskı devre kartı tasarımlarında kullanılan netlist dosya formatından kullanılan eleman ve elemanlar arası bağlantı bilgilerini okuyup kart yerleşimini en uygun yapmaya çalışan bir genetik algoritma önermişlerdir. Önerdikleri algoritmada ele aldıkları uygunluk işlevi, en az alan kaplayan kart tasarımını belirlemeye yöneliktir.

Saraloğlu ve Can [9] çalışmalarında çok kriterli karar verme tekniklerinden birisi olan çok öznitelikli ideal gerçek karşılaştırmalı analiz (Multi-Attribute Ideal Real Comparative Analysis - MAIRCA) tekniğini, ele aldıkları 18 farklı malzeme seçeneği arasından seçim yapmak için kullanmışlar, seçeneklerin ağırlıklarının ise kriterler arası korelasyon yoluyla kriterlerin önemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation – CRITIC) yöntemi ile belirlemişlerdir. Çalışmalarında dielektrik sabiti, kayıp tanjantı ve ısı genleşme katsayısı değerlerini kriter olarak kullanmışlardır.

Çok kriterli karar verme tekniklerinden en bilinenlerinden birisi olan analitik hiyerarşi süreci yöntemi çok farklı seçim problemlerine uygulanmıştır. Yu vd. [10] çalışmalarında elektrik-elektronik ürünlerin malzeme geri dönüşümü ve bertarafı için bulanık üyelik ve analitik hiyerarşi sürecini içeren genel bir karar yöntemi önermişlerdir. Jayant vd. [11] çalışmalarında ters lojistik servis sağlayıcı seçimi problemini ideal çözüme olan benzerlik sırası tekniği ve analitik hiyerarşi süreci tekniği kullanarak ele almışlar, cep telefonu endüstrisi için bir uygulama yapmışlardır. Ömürbek vd. [12] yaptıkları çalışmada yapı denetim firmalarını değerlendirmek için analitik hiyerarşi süreci tekniği ile kriter ağırlıklarını belirleyerek eleme ve gerçeklik seçim çevirisi yöntemi ile basit katkı ağırlığı (Simple Additive Weighting – SAW) yöntemini karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada yüksek frekans devreleri için kullanılan dört farklı baskı devre kart türü karşılaştırılmaktadır. Kart seçimini etkileyen kriterler belirlenmiş ve belirlenen kriterlere göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Analitik hiyerarşi süreci ile ele alınan kriterler dikkate alınarak hangi kartın seçilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde çalışmada kullanılan analitik hiyerarşi süreci tekniği açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde gerçekleştirilen uygulama detayları ile elde edilen bulgular verilmektedir. Dördüncü bölümde bulgular tartışılmakta ve son bölümde ise çalışma sonucu ortaya koyulan sonuçlar özetlenerek, gelecekte yapılabilecek çalışmalar ifade edilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada analitik hiyerarşi süreci yöntemi kullanılmıştır. Analitik hiyerarşi süreci, belirlenen kriterler göz önünde bulundurulmuş seçenekler arasından seçim yapmayı sağlayan oldukça önemli bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Analitik hiyerarşi süreci temel olarak ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Belirlenen kriterler ve varsa alt kriterler birbirleri ile kıyaslanırlar. Bu kıyaslamada sözel ifadeler kullanılır ve sözel ifadelerin göreceli önem dereceleri Saaty tarafından önerilen sayısal değerlere dönüştürülür. Sayısal dönüşümde kullanılan ifadeler Tablo 1 ile verilmektedir [10].

Bu sayısal değerler, eğer kıyaslama sonucu ters yönlü ise çarpma işlemine göre ters biçiminde yazılır. Bir ikili karşılaştırma

dizeyi eşitlik 1 ile verilmektedir. Burada n karşılaştırılan birim sayısı olmakla beraber köşegen değerleri, birimlerin kendileri ile karşılaştırılmasını ifade ettiğinden daima 1 değerini almaktadır.

$$KM = \begin{bmatrix} KM_{11} & \dots & KM_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ KM_{n1} & \dots & KM_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

hesaplanır. Bunun için öncelikle her satırın geometrik ortalaması hesaplanır. Bu hesaplama işlemi eşitlik 2 ile verilmektedir [10].

$$GO_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n KM_{ij}} \quad (2)$$

İkili karşılaştırmaların yapılması ile elde edilen dizeylerin en büyük özdeğerlerine karşılık gelen özyöneyleyi yaklaşık olarak

Tablo 1. Saaty tarafından önerilen göreceli önemler dönüşüm tablosu [10]

Görelî Önem	Tanım
1	Eşit önem
3	Düşük seviyede önemli
5	Güçlü seviyede önemli
7	Açıkça daha önemli
9	Kesinlikle daha fazla önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Satırların geometrik ortalamaları elde edildikten sonra özyöneyleyi her bir elemanı hesaplanabilir. Bu hesaplama için eşitlik 3 kullanılmaktadır.

$$ÖY_j = \frac{GO_j}{\sum_{i=1}^n GO_i} \quad (3)$$

Tüm kriterler için özyöneyleyi hesaplanarak kriterlere ait ağırlıklar belirlenmiş olur. Eğer varsa alt kriterler için de ağırlıklar benzer biçimde belirlendikten sonra genel ağırlıklar, hiyerarşi göz önüne alınarak üst kademelerdeki ağırlıklar ile çarpılarak hesaplanır.

İlgili dizeyler için tutarlılık katsayısı hesaplanmalıdır. Bu hesaplama işlemi eşitlik 4 ve eşitlik 5 kullanılarak yapılmaktadır

Tablo 2. Rassallık endeks değerleri [10]

Dizey boyutu	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
Dizey boyutu	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59	

ve dizeyin boyutuna bağlıdır. CR değerinin 0.10 değerinden küçük çıkması yapılan karşılaştırmaların kabul edilebilir olacağını ifade etmektedir.

$$CI = \frac{(\lambda_{enb} - n)}{(n - 1)} \quad (4)$$

$$CR = CI / RI \quad (5)$$

Eşitlik 5'te verilen RI değeri, tutarlılık katsayısı hesaplanan dizeyin boyutuna bağlı olan rassallık endeks değeridir ve Tablo 2'den elde edilebilir [10].

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulama için öncelikle kart seçimini etkileyen kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Tablo 3 ile verilmektedir.

Tablo 3. Kart seçiminde göz önünde bulundurulacak kriterler

Kriterler
Maliyet
Baskı devre boyutu
Uygulanabilirlik
Piyasadan temin edilebilirlik
Devrede oluşacak sinyal kaybı

Karar vericinin seçebileceği farklı baskı devre kart seçenekleri ise Tablo 4 ile verilmektedir.

Tablo 4. Ele alınan baskı devre kart türleri

Kart Türü (Seçenekler)
FR2
FR4
4350B
CEM3

Baskı devre kart malzemelerine göre karar verici kart seçimi yapılmıştır. Karşılaştırmalarda kartların eşit dielektrik malzeme kalınlığına sahip olduğu varsayılmıştır. Kriterler için yapılan ikili karşılaştırmalar ile gerekli dizeler oluşturulmuştur. Bu karşılaştırmalardan sonra dizelerin özyöneylemleri ve özdeğerleri hesaplanmış, karşılaştırma dizelerinin tutarlılık kontrolleri

yapılmıştır. Kriter karşılaştırma dizelerinin tamamının tutarlı olduğu görülmüştür. Karar dizelerine göre belirlenen ağırlıklar Tablo 5 ile verilmektedir.

Tablo 5. Ele alınan baskı devre kart türleri için hesaplanan ağırlıklar

Ağırlıklar	Seçenekler			
	FR2	FR4	4350B	CEM-3
Maliyet	0.22	0.35	0.03	0.44
Baskı devre boyutu	0.17	0.17	0.50	0.17
Uygulanabilirlik	0.05	0.15	0.65	0.15
Piyasadan temin edilebilirlik	0.26	0.56	0.06	0.12
Devrede oluşacak sinyal kaybı	0.05	0.09	0.73	0.13

İkinci aşamada karar vermek için ele alınan kriterler arası önem seviyesinin belirlenmesi amacı ile karar dizeyi oluşturulmuştur. Tutarlılık kontrolü yapılmıştır ve dizelerin tutarlı

olduğu görülmüştür. Elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 6 ile verilmektedir.

Tablo 6. Kriter karşılaştırmaları ile elde edilen kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlığı
Maliyet	0.18
Baskı devre boyutu	0.07
Uygulanabilirlik	0.25
Piyasadan temin edilebilirlik	0.43
Devrede oluşacak sinyal kaybı	0.08

Son adımda ise her kriter için elde edilen kriter ağırlıkları ile kriterlere ait seçenek ağırlıklarının ağırlıklı toplamları hesaplanmıştır. Bu hesaplama ile elde edilen sonuç ağırlıkları,

hangi seçeneğin öncelikle tercih edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Seçenekler için elde edilen bu ağırlıklar Tablo 7 ile verilmektedir.

Tablo 7. Elde edilen seçenek önem ağırlıkları

Seçenekler	FR2	FR4	4350B	CEM-3
Ağırlıklar	0.18	0.35	0.28	0.19

Tablo 7’de elde edilen seçenek ağırlıklarına bakıldığında FR4 malzemesinin seçilmesinin yöntem tarafından önerildiği

görülmektedir. Bunun yanında ikinci sırada seçilmesi gerektiği belirlenen 4350B malzemesinin önem ağırlığı da yüksek

çıkıştır. Oldukça yüksek maliyet dezavantajına karşılık çok düşük sinyal kaybına sahip olması, önem açısından 4350B malzemesini CEM-3 malzemesinin önüne geçirmiştir. FR4 malzemesinin hem piyasa bulunabilirliği hem de maliyet avantajı, 4350B malzemesine karşı öncelikli olarak tercih edilmesine sebep olmuştur. FR2 malzemesi en düşük maliyete sahip olmasına rağmen sinyal kaybının çok yüksek olması bu malzemenin yöntem tarafından önerilmemesi ile sonuçlanmıştır.

Tablo 5 incelendiğinde boyutun çok küçük olmak durumunda kaldığı, sinyal kaybının çok kritik olduğu, uygulanabilirliğin yüksek olması gereken uygulamalarda ise 4350B malzemesinin tercih edilmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, ele alınan dört farklı baskı devre kart malzemesi için analitik hiyerarşi süreci kullanılarak malzeme seçimi yapılmıştır. Kullanılan yöntemin önerisi maliyet ve bulunabilirlik avantajı bulunan FR4 malzemesi olmuştur. Gelecek çalışmalarda, elde edilen sonuçların diğer çok kriterli karar verme teknikleri ile karşılaştırılması planlanmaktadır.

#### Kaynakça

- [1] Altıntaş, V. , Çakır, A. & Küçüksille, E. U. (2018). Genetik Algoritma İle Baskı Devre Yerleşim Optimizasyonu . Teknik Bilimler Dergisi , 8 (2) , 5-10 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbed/issue/38662/418637>
- [2] Görür, A. K. (2018). İnterdijital kapasitör yüklü geniş bantlı mikroşerit bant durduran filtre tasarımı . Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 24 (5) , 846-849 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/39683/469414>
- [3] Öztürk, B. & Coşkun, Ö. (2019). 2.45 GHz Frekasında Optimum Bant Durduran Filtre Tasarımı ve Optimizasyonu . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 10 (2) , 189-197 . DOI: 10.29048/makufebd.571353
- [4] Güngörer, B. , Tekbaş, M. & Kayabaşı, A. (2019). 2.4 GHz Frekansında Çalışan Farklı Boyut ve Besleme Yöntemli Dikdörtgen Mikroşerit Anten Tasarımları ve Gerçekleştirilmesi . Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi , 1 (1) , 50-58 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmujens/issue/57687/820527>
- [5] Bayer Keskin, S. E. (2019). 2.4 GHz GENİŞ BANT MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI . Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi , 5 (1) , 1-14 . DOI: 10.34186/klujes.578590
- [6] Demirci, M. & Ermiş, S. (2021). 5G Teknolojisi için Çift Bantlı(28/38 GHz) Dikdörtgen Mikroşerit Anten Tasarımı . Bilişim Teknolojileri Dergisi , 14 (2) , 171-181 . DOI: 10.17671/gazibtd.813103
- [7] Konuk Ege, G. , Kesen, U. , Yüce, H. & Genç, G. (2021). FR4 ve FR2 Baskı Devre Kartlarının Mikroşerit Anten Uygulamasında Tasarımı ve Simülasyonu . Journal of Materials and Mechatronics: A, 2 (1) , 51-59 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmm/issue/62563/829855>
- [8] Karakoç, M. (2018). Baskılı Devre Kartlarındaki Delik Alanlarının Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Tespit Edilmesi ve Potansiyel Delim Güzergâhının Genetik Algoritmalar ile Eniyilemesi . Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 22 (1) , 336-345

- [9] Saraloğlu Güler, E. & Can, G. F. (2020). MATERIAL SELECTION FOR MICROSTRIP ANTENNA USING CRITIC-MIACRA INTEGRATION AS A PRACTICAL APPROACH . Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering , 21 (1) , 1-20 . DOI: 10.18038/estubtda.531047
- [10] Yu, Y., Jin, K., Zhang, H. C., Ling, F. F., & Barnes, D. (2000). A decision-making model for materials management of end-of-life electronic products. Journal of Manufacturing Systems, 19(2), 94-107. [https://doi.org/10.1016/s0278-6125\(00\)80003-5](https://doi.org/10.1016/s0278-6125(00)80003-5)
- [11] Jayant, A., Gupta, P., Garg, S. K., & Khan, M. (2014). Topsis-AHP based approach for selection of Reverse Logistics Service Provider: A case study of mobile phone industry. Procedia Engineering, 97, 2147-2156. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.458>
- [12] Ömürbek, N. , Karaatlı, M. & Cömert, H. G. (2016). AHP-SAW ve AHP-ELECTRE Yöntemleri ile Yapı Denetim Firmalarının Değerlendirmesi . Yönetim Bilimleri Dergisi , 14 (27) , 171-199 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/comuybd/issue/43601/533904>



# Önemli Kış Turizm Merkezi Olan Erzurumunda Pasif Kar Örnekleyicisi ile Farklı Yüzey ve Derinliklerdeki Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Konsantrasyon ve Bulk Çökeltme Akılarının Belirlenmesi

Cihan Paloluoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, BUMER Müdürü, Bayburt Üniversitesi, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8635-8315), [paloluoğlu@bayburt.edu.tr](mailto:paloluoğlu@bayburt.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083797)

**ATIF/REFERENCE:** Paloluoğlu, C. (2022). Determination of Concentration and Bulk Precipitation Fluxes of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) at Different Surfaces and Depths with Passive Snow Sampler in Erzurum, an Important Winter Tourism Center. *European Journal of Science and Technology*, (34), 628-638.

## Öz

Yapılan çalışmada, 82 adet atmosferik çökelen PCB türünü belirlemek için, 4 haftalık Erzurumun Kent (Atatürk üniversitesi kampüsü: AÜK) ve Kırsal (Palandöken dağ bölgesi: PDB) alanlarında kar örnekleme gerçekleştirildi. Bu amaçla partikül faz PCB'lerin atmosferik çökeltme konsantrasyonları (pg/L), kademeli derinliklerdeki infiltrasyon konsantrasyonları (pg/L) ve toplam çökeltme akılarını (ng/m<sup>2</sup>-gün) belirlemek için pasif örnekleme yöntemi ile özel tasarlanmış kar toplama aparatı kullanılarak kar numuneleri toplandı. Elde edilen veriler meteorolojik faktörler ile de ilişkilendirildi. Çalışmada, 2 farklı noktada ve haftada bir olmak üzere toplam 24 adet pasif kar örnekleme yapıldı. Toplanan örnekler literatürde kabul görmüş uygun metotlar ile ekstraksiyon deneylerine tabi tutuldu. Örnekler GC-MS cihazında analiz edildi. Araştırılan 82 PCB türünden toplam 13'ü tespit edildi. Diğer taraftan PCB'lerin 4 haftalık partikül faz ortalamalarının toplam konsantrasyonları AÜK ve PDB için sırasıyla; 246,76 pg/L ve 70,16 pg/L olarak hesaplandı. Her iki örnekleme noktası için kademeli derinlikler (0-5 cm; 15-20 cm; 30-35 cm) kullanıldı. AÜK için PCB konsantrasyonları, 0,28 pg/L'den (PCB#8/5) 14,66 pg/L'e (PCB#28) kadar değişim gösterdiği tespit edildi. PDB için ise 0,10 pg/L'den (PCB#8/5) 4,82 (PCB#163/138) pg/L'e kadar değiştiği belirlendi. Ayrıca AÜK ve PDB' de ortalama toplam Bulk çökeltme akıları da sırasıyla; 0,96 ng/m<sup>2</sup>-gün ve 0,54 ng/m<sup>2</sup>-gün olarak tespit edildi. Diğer taraftan tespit edilen PCB türlerinin homolog grupları bakımından 6-, 3- ve 4-CB'lerin baskın olduğu görüldü. Sonuç olarak Erzurum' da belirlenen PCB türleri literatür ile karşılaştırıldığında hem sayısal hem de konsantrasyon olarak daha düşük tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Poliklorlu Bifeniller, Kar, Pasif Örnekleme, Ekstraksiyon, GC-MS, Erzurum.

## Determination of Concentration and Bulk Precipitation Fluxes of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) at Different Surfaces and Depths with Passive Snow Sampler in Erzurum, an Important Winter Tourism Center

### Abstract

In the study, snow sampling was carried out in the Urban (Atatürk University campus: AUC) and Rural (Palandöken mountain region: PMR) areas of Erzurum for 4 weeks to determine 82 atmospheric deposition PCB congeners. For this purpose, snow samples were collected using a specially designed snow collector with passive sampling method to determine atmospheric deposition concentrations (pg/L), infiltration concentrations at graded depths (pg/L) and total deposition fluxes (ng/m<sup>2</sup>-day) of particulate phase PCBs gathered. The data obtained were also associated with meteorological factors. In the study, a total of 24 passive snow sampling was done at 2 different points and once a week. The collected samples were applied to extraction experiments with appropriate methods accepted in the literature. . Samples were analyzed in the GC-MS instrument. A total of 13 of the 82 PCB types investigated were detected. On the other hand, the total concentrations of the 4-week particle phase averages of PCBs for AUC and PDB, respectively; It was calculated as 246.76 pg/L and 70.16 pg/L. Graded depths (0-35 cm) were used for both sampling points. PCB concentrations for AUC were found to vary from 0.28 pg/L (PCB#8/5) to 14.66 pg/L (PCB#28). For PMR, it was determined that it ranged from 0.10 pg/L (PCB#8/5) to 4.82 (PCB#163/138) pg/L. In addition, the average total bulk deposition fluxes in AUC and PDB are respectively; It was determined as 0.96 ng/m<sup>2</sup>-day and 0.54 ng/m<sup>2</sup>-day. On the other hand, it was seen that 6-, 3- and 4-CBs were dominant in terms of homologous groups of detected PCB congeners. As a result, PCB congeners determined in Erzurum were found to be lower both numerically and in concentration when compared with the literature.

**Keywords:** Polychlorinated Biphenyls, Snow, Passive Sampling, Extraction, GC-MS, Erzurum.

## 1. Giriş

Poliklorlu bifeniller, klor iyonlarının orto, meta ve para biçiminde farklı şekillerde bağlanması ve yapısındaki klorun hidrojen atomları ile yer değiştirmesinden meydana gelen yarı uçucu / uçucu bileşiklerdir. Sadece Antropojenik (insan yapımı sentetikler) kaynakları bulunan PCB'lerin doğal kaynaklarının hiç bulunmaması ile birlikte kanserojenik, mutajenik ve toksik etkiler ispatlanmış kimyasallardır (Bozlaker vd., 2008; Usman vd., 2015; Paloloğlu, 2016). PCB'ler normal şartlarda sıvı yağ görünümünde olup renksiz ve kokusuzdur. Suda çözünmezler organik çözücülerde çözünürler. Aynı zamanda elektriği iletme yetisi yüksek oranda iletkenliklerinden ve patlayıcı olmadıklarından dolayı birçok endüstri kuruluşlarında, elektriksel malzemelerde, hidrolik donanımlarda, ısı transferleri ve benzeri bir çok ticari alanlarda kullanılmaktadırlar. Ayrıca PCB'lerin türlerine göre değişen erime noktaları (71-305,9 °C), kaynama noktaları (259-456 °C), 25 °C'deki buhar basınçları ( $6,3 \times 10^{-6}$  - 4,9 Pa), sudaki çözünürlükleri ( $7,6 \times 10^{-4}$  -  $9,3 \text{ g/m}^3$ ) ve buharlaşma ( $8,5 \times 10^{-7}$  -  $0,92 \text{ g/m}^2\text{sa}$ ) gibi özelliklerinden dolayı, buldukları ortamlardan farklı ortamlara taşınım ve dağılımlarında her bir tür için farklılık göstermektedir. Ve aynı zamanda PCB'lerin klor içeriği arttıkça çözücülerdeki çözünürlükleri de azalmaktadır (Gedik, 2010; Luo vd., 2015). Tüm bu özelliklerinden dolayı PCB'ler çökeltilen alıcı ortamlardan kolayca besin zincirine katılarak canlılarda biyolojik birikime sebep olmaktadır (Yeo vd., 2004; Bozlaker vd., 2015; Tang vd., 2015; Paloloğlu, 2016).

Diğer taraftan WHO tarafından 12 adet PCB kongenerin (PCB#77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189) diğer türlerden daha fazla toksisite özelliğine sahip olduğunu beyan edilmektedir. Bu toksik PCB'lerin ana kaynağı ise endüstrilerde yağlı boyalar, kapasitör ve transformatörlerdir (Liu vd., 2019). Aynı zamanda bilimsel çalışmalarda araştırılan ve en çok gözlenen 50 PCB kongeneride PCB#8, 18, 15, 16, 31, 28, 33, 22, 52, 49, 47/48, 44, 74, 66/95, 60, 101, 99, 97, 77/110, 149/123, 118, 105, 141, 137, 138/163, 187, 171, 156, 180, 200 olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca atmosferik ortamda hem gaz hemde partikül fazda miktarları en fazla tesbit edilen 7 indikatör PCB kongeneride (i-PCBs) PCB#28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 olarak sıralanmaktadır. Aynı zamanda PCB'lerin derecesine veya klor sayısına göre de sıralanan PCB'ler, homolog PCB'ler (1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10-CB) olarak tanımlanmaktadır. (Cindoruk vd., 2007; Olenycz vd., 2015; Tang vd., 2015; Paloloğlu, 2016).

Literatür araştırmaları incelendiğinde, PCB'lerin genellikle farklı alanlardaki konsantrasyon, akı ve çökme hızlarının belirlenmesinde, kullanılacak örnekleme cihazlarının etkinliği, faz dağılımları (gaz ve partikül faz), havadan alıcı yüzeylere geçişleri (hava-su, hava-toprak), homolog sayılarına göre baskınlıkları, kaynak ve kirlilik dağılımlarının belirlenmesi gibi konular çoğunlukla dikkate alınmaktadır (Du ve Rodenburg, 2007; Li vd., 2015; Wang vd., 2015). Bu çalışmalar yıllık datalar şeklinde alınabildiği gibi, aylık, haftalık veya günlükte alınabilmektedir (Dungen vd., 2015). Örneklemede kullanılacak cihazlar (aktif veya pasif örnekleme) çalışmanın amacı ve örnekleme alanı ile ilgili seçilmektedir. Aynı zamanda örneklemede PCB'lerin toplandığı malzemeye göre, laboratuvar ortamında ekstraksiyon deneyleri (gaz-sıvı, katı-sıvı, sıvı-sıvı faz) yapılmaktadır (Zhang vd., 2008; He ve Balasubramanian, 2009). Bazı çalışmalar sadece atmosferik PCB'leri kapsarken, bazı çalışmalarda ise farklı alıcı yüzeyler (kar, toprak, su vb.) kullanılmaktadır. Ayrıca literatürde PCB'ler ile ilgili yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde, PCB'lerin konsantrasyon, çökme akıları ve homolog baskınlıkları ülkeden ülkeye,

bölgeden bölgeye, hatta aynı bölgenin farklı örnekleme noktalarındaki sonuçlar bile farklı değerlerde olduğu görülmüştür. (Baek vd., 2010). Bu farklılıklar ise örnekleme yapılan bölgenin, nüfusu, endüstrisi, atık bertaraf yöntemi, meteorolojik koşulları, coğrafik özellikleri gibi farklı faktörlerden etkilenebileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan PCB'ler, fiziksel ve kimyasal özellikleri, atmosferde uzun süre kalma özellikleri, toprak ve atmosfer arasında sürekli buharlaşma ile yükselme ve çökme ile tekrar yeryüzüne dönme özellikleri, rüzgarlar ile uzun ya da kısa menzilli taşınma özellikleri, çökelen PCB'lerin farklı alıcı ortamlardan farklı yollar ile cansız ve canlı yapısına girip biyolojik birikimler ile toksik, kanserojenik ve mutajenik etki göstermelerinden dolayı son yıllarda bilim insanları arasında en çok çalışılan konular arasına girmiştir (Ullah vd., 2010; Wu vd., 2011; Wu vd., 2014; Vecchiato vd., 2015).

Atmosfere salınan PCB'ler genellikle gaz ve partikül faz biçiminde olup, yarılanma ömürleri ile de ilişkili olarak bir takım hava olayları neticesinde tekrar yeryüzüne ıslak, kuru yada bulk çökme olarak çökelmektedirler (He ve Balasubramanian, 2009; Tang vd., 2015;). Buldukları ortamlardaki PCB'lerin miktarlarını ve çökme akılarını belirlemek için aktif ve pasif örnekleme cihazları kullanılmaktadır (Hu vd., 2010; Kim vd., 2011; Paloloğlu, 2016). PCB'lerin literatürde hem aktif hem de pasif örnekleme ile örnekleme, analizlerinin yapıldığı bir çok çalışma bulunmaktadır (Umlauf vd., 2011; Li vd., 2015). Aynı zamanda PCB'lerin ıslak, kuru ve bulk çökme örnekleme için de literatürde bir çok modifiye edilerek çalışılmış farklı örnekleme aparatları da bulunmaktadır (Fu vd., 2008; Zhang vd., 2008; Petrich vd., 2013). Ayrıca atmosferik çökme miktarlarının belirlenmesinde farklı metodlar ile çalışılmaktadır. Bunlardan atmosferik akı metodunda ( $F$  (Kuru çökme akısı ( $\text{ng/m}^2\text{gün}$ )) =  $C$  ((Kirletici konsantrasyon ( $\text{ng/m}^3$ ))  $\times V_d$  (Partikül çökme hızı ( $\text{m/gün}$ )) atmosferik konsantrasyonlardan, çökme hızlarından veya kütle dengesi modelinden yararlanılarak ıslak, kuru ya da bulk çökme akıları tesbit edilebilmektedir (Lin vd., 1993; Caliskan vd., 2020).

Bu çalışmanın literatüre kattığı özgünlüğü; (1) Erzurum'da iki farklı kent ve kırsal bölgesinde atmosferik çökelen 82 adet partikül faz PCB türlerinin konsantrasyon ve bulk çökme akılarının tesbiti için hem yüzeysel kar örnekleri hemde yüzeyden dikey aşağıya doğru farklı kademeli derinliklerdeki kar örneklerinin eş zamanlı alınarak ilk defa numune olarak kullanılmış olması, (2) kar örnekleme yapılırken çelik malzemeden özel olarak ölçülü bir şekilde tasarlanmış kar toplama aparatının kullanılmış olması (3) 2013 yılının en soğuk geçtiği kış mevsiminde 4 haftalık bir çalışma ile PCB'lerin hem kar yüzeyindeki konsantrasyonlarını, hem kademeli derinliklerde infiltre olmuş PCB'lerin varlığının ve miktarlarının belirlenmesi hem de bulk çökme akılarının belirlenmesinde pasif örnekleme yönteminin kullanılmış olması (4) ve tesbit edilen PCB'lere sıcaklık, yağış, rüzgar hızı/yönü gibi meteorolojik faktörlerin etkilerinin araştırılmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

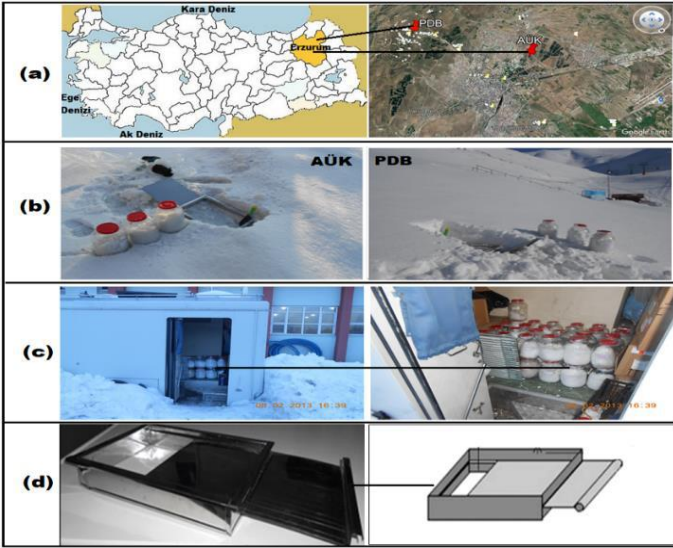
### 2.1. Örnekleme

Erzurum, Türkiye'nin kuzey doğu bölgesinde yer alan önemli bir kış turizm merkezi ve üniversite şehridir. Kentte ağır sanayi olmayıp çoğunluğu hafif sanayi, küçük esnaf işletmeleri ile birlikte, çoğunluğu memur ve öğrenci nüfusundan oluşmaktadır. Kış turizmi ve doğal termal suları ile tanınmaktadır. Kent yerleşim alanı oldukça yüksek rakımda (1900 m) bulunmaktadır.



Bu sebepten kış ayları çoğunlukla uzun ve soğuk geçmektedir. Eysel ısınmada fosil içerikli yakıtlar kullanıldığında özellikle kış ayları hava kirliliği kent merkezinde artmaktadır. Ayrıca trafikten kaynaklanan eksoz emisyonları da önemli miktarda hava kirliliğine sebep olmaktadır. Bu sebepten kent atmosferinde gözle görülebilir is tabakalarına (enversiyon) rastlanılmaktadır (Paloluoğlu, 2016).

Bu araştırmada, örnekleme noktalarından birincisi AÜK, kentsel örnekleme noktası olup şehir merkezi ile iç içe konumdadır (39° 55' 4.56" kuzey enlemi, 41° 14' 36.64" doğu boylamı). Bu sebepten AÜK örnekleme noktası her ne kadar kampüs içerisinde olsa da şehir atmosferinden PCB kaynağı açısından eşit miktarda etkilendiği düşünülmektedir (Şekil 1(a-b)). Ayrıca diğer ikinci örnekleme noktası olan PDB, kırsal alan örnekleme noktası olup (39° 50' 43.80" kuzey enlemi, 41° 17' 30.69" doğu boylamı), kent merkezine yakın mesafede bulunmaktadır (Şekil 1(a-b)). PDB örnekleme noktası kent merkezine yakın olmasından dolayı kentsel PCB kaynaklarından etkilendiği düşünülmektedir.



Şekil 1. Örnekleme noktaları, örnek saklama alanı ve kar örnekleme aparatı

16 Ocak - 06 Şubat 2013 tarihleri arasında atmosferik çökellemeyle kış döneminde kar yüzeyine çökelen PCB'lerin seviyelerini belirlemek için 2 noktada kar yüzeyi ve yüzeyden belirli derinliklere doğru (0-5 cm, 15-20 cm, 30-35 cm) kar toplama aparatı ile pasif yer örnekleme yapıldı (Şekil 1(b)). Kar örnekleme aparatı, 30 cm genişliğinde 45 cm uzunluğunda ve iç yüksekliği 5 cm olacak şekilde çelik malzemesinden tasarlandı. Özellikle kar numunesini tam ölçülü alınabilmesi için kar örnekleme aparatının iç kısmına ve üstten 3 cm derinlikte sürgüyle hareket edebilen bir kapak yerleştirildi (Şekil 1(d)). Örnekleme yapıldığında bu kapak tam çekilerek dördörtgen şeklindeki aparat üzerinde ortalama 2 cm kar kalacak şekilde kar yüzeyine yerleştirildi. Ardından sürgülü kapak içe doğru sürülerek kar numunesini ortadan kesip üst kısımda ölçülü kalan numune deney için alınan kısım olarak değerlendirildi (Şekil 1(b)). Böylece kar numunelerinin tam ölçülü alınması (30 x 3 x 45 cm<sup>3</sup>) neticesinde toplanan kar miktarı (ilk katı fazı: m<sup>3</sup>; eritildikten sonraki fazı: litre) net olarak hesaplandı. Aynı zamanda yüzeysel kar örnekleme yüzey alan ölçüsü (30 x 45 cm<sup>2</sup>) bilindiğinden akı hesaplamaları da net bir şekilde belirlendi. Ve yüzey alan olarak

kullanılan kar örnekleme aparatının yüzeyi 30 x 45 cm<sup>2</sup> kullanılarak bulk çökelleme akısı; kütle / alan x zaman formülünden tesbit edildi. Ayrıca yapılan bu çalışma, örnekleme prosedürü açısından literatürde yapılmış ilk çalışma olup, aynı zamanda Erzurum ili açısından da ilktir. Böylece kar yüzey örnekleme ile atmosferik çökelen PCB'lerin bulk çökelleme akısı, yüzey PCB konsantrasyonu ve yüzeyden kademeli derinliklerden kar numunesi alınarak infiltre PCB'lerin miktarlarının hesaplanmasını sağlandı. Kar örnekleme aparatı daha önceki yıllarda Erzurum kent merkezinde farklı 49 noktadaki PAH'ların kuru çökelleme akılarının ve konsantrasyonlarının tesbitinde Bayraktar ve arkadaşları (2016) tarafından bir ilk çalışma olarak başarıyla kullanıldı. Ayrıca yine Gaga (2004) tarafından Ankara'da doktora tezinde kar örnekleme noktası için ölçü ve modeldeki kar örnekleme aparatı kış mevsiminde PAH konsantrasyonlarının tesbitinde kullanıldı (Şekil 1(d)). Diğer taraftan kış mevsiminde yapılan pasif kar örnekleme çalışmasında, 4 hafta boyunca 2 örnekleme noktası için 3'er kademeli derinliklerden alınan örneklerle toplam 24 adet kar örneği toplandı. Örnekleme için çalışmada kullanılacak tüm ekipmanları çalışmaya hazır hale getirildikten sonra örnekleme noktalarından ilk numuneler alınırken, örnekleme alanı içerisinde öncelikle ayak basılmamış uygun bir kar yüzey alanı seçildi. Ardından bu yüzeyin yaklaşık 1 m<sup>2</sup> alanlık kısmı kare şeklinde işaretlendi. Bu işaretli alan kendi içinde 4 eşit parçaya bölünerek her bir parçadan haftalık sırasıyla kar yüzeyinden ve derinliğinden kar örnekleme aparatı ile örnekleme tamamlandı (Şekil 1(b)). Böylece ilk haftanın örnekleme noktası diğer haftaların background olarak değerlendirilip haftalık PCB konsantrasyonu ve akı dağılımında bu sayede belirlendi. Kar örnekleme noktasında 1 m<sup>2</sup> alan içerisinde her bir köşesinden numune alınırken, köşelere yerleştirilen kar örnekleme aparatının boyutları içerisinde kalan (30 cm x 45 cm x 5 cm) alandan sırasıyla 0-5 cm, 15-20 cm ve 30-35 cm derinliklerden 30 x 45 x 5 cm<sup>3</sup> hacimde (yaklaşık 1'er litre) olacak şekilde kar numuneleri çelik kürek yardımı ile kar alma aparatının içerisinde dikkatlice alındı. Örneklemede toplanan kar numuneleri 5 L'lik cam kavanozlar içerisinde konularak kavanozların ağzı alüminyum folyo ile sarılıp sıkıca kapatıldı. Kar örnekleme noktasında toplanmış numuneler AÜK'de mühendislik fakültesinin arka tarafında ve laboratuvarlara yakın kısmında bulunan ısı yalıtımlı bir konteynir içerisinde (iç sıcaklığı ortalama -10 ila -20 °C arasında) ekstraksiyon deneyleri yapılmaya kadar muhafaza edildi (Şekil 1(c)). Ayrıca tesbit edilen atmosferik çökelen PCB'lere günlük sıcaklık, basınç, nem, rüzgar yönü, yağış gibi parametrelerin ne kadar etki edip etmeyeceğini belirleyebilmek için, Erzurum meteoroloji bölge müdürlüğünden Erzurum kent merkezine ait meteorolojik parametreler alındı (Tablo 1).

Tablo 1. Kış örnekleme dönemine ait meteorolojik verileri

Tarih	a	b	c	d	e
16.01.2013	G	3,00	0,1	-11,0	0
17.01.2013	GB	13,8	1,3	-14,3	0
18.01.2013	BGB	7,20	0,7	-19,0	0
19.01.2013	B	13,3	0,9	-9,00	0
20.01.2013	B	14,4	2,3	-2,20	0
21.01.2013	B	7,70	1,1	-7,10	0
22.01.2013	BKB	10,2	0,6	-18,8	0
23.01.2013	BGB	6,60	0,7	-13,1	0
24.01.2013	B	8,20	1,0	-6,40	1,4
25.01.2013	GB	11,8	1,7	-19,5	0
26.01.2013	GB	13,8	0,6	-12,2	0,2

27.01.2013	DKD	12,8	1,9	-3,30	0
28.01.2013	D	10,2	1,3	-4,40	0
29.01.2013	BGB	5,60	0,5	-6,80	5,6
30.01.2013	DKD	7,20	2,7	-8,40	0
31.01.2013	D	14,4	0,5	-5,00	0,4
01.02.2013	B	7,20	0,5	-0,70	0,2
02.02.2013	B	11,8	1,7	-2,90	4,4
03.02.2013	KKD	3,60	3,1	-9,30	0
04.02.2013	K	3,00	0,2	-8,90	0
05.02.2013	GB	5,10	0,5	-4,20	0
06.02.2013	D	11,8	0,1	-1,20	0

K: Kuzey; G: Güney; B: Batı; D: Doğu

- a: Hakim rüzgar yönü,  
b: Günlük maksimum rüzgar hızı (10 metrede; m/s),  
c: Günlük ortalama rüzgar hızı (m/s),  
d: Sıcaklık (°C),  
e: Günlük toplam yağış (mm)

## 2.2. Ekstraksiyon ve Analiz

Veri Örnekleme çalışmalarına başlanmadan önce, örnekleme sahasında kullanılacak cam kavanozlar, kar örnekleme aparatı ve çelik kürek gibi tüm malzemeler önce sıcak deterjanlı su ile yıkanıp temizlendi ardından soğuk su ile durulandı. Ayrıca üzerlerinde herhangi bir organik kirletici kalmaması için de son kez hekzan ve aseton gibi organik çözücüler ile yıkanıp, kurutulup, saklama poşetlerinde örnekleme çalışmasına kadar kapalı ortamda muhafaza edildi. Aynı zamanda laboratuarda kullanılacak filtreler, temizleme kolonundaki sodyum sülfat, florosil, alümina gibi kimyasal ve ekipmanlar da ekstraksiyon deneylerinden önce her bir malzeme kendi özelliklerine göre organik kirleticilerden arındırılıp çalışmaya hazırlandı ve daha sonra deney basamaklarında kullanılmaya kadar cam desikatörlerde muhafaza edildi (Kim vd., 2011; Umlauf vd., 2011).

Kar örneklemeinde toplanan 5 L'lik cam kavanozlardaki numuneler deney aşamasına geçildiğinde ısı yalıtımlı konteynirden alınarak laboratuvar ortamına getirildi. Önce oda sıcaklığında eriyene kadar bekletildi. Ardından cam şişeler içerisinde homojen karışım sağlanması için iyice çalkalanarak karıştırıldı. Daha sonra cam fiber filtre (GFF) nin kullanıldığı vakum filtrasyonundan tüm karışım geçirildi. Böylece GFF üzerinde kalan katı kısmın içerisinde bulunan partikül faz PCB konsantrasyonlarının tespiti için katı-sıvı faz ekstraksiyon basamakları uygulandı. Ardından da elde edilen numuneler temizleme kolonundan (clean-up) geçirilerek fraksiyon ayırımı işlemleri yapıldı. Hacim azaltma basamaklarından sonrada 2 mL'lik cam vialler içerisinde 1mL'lik hekzan çözeltisine alınan numuneler, GC-MS cihazında analiz işlemleri için hazır hale getirildi.

Katı-sıvı faz ekstraksiyon basamaklarında; ilk önce toplanan numunelerin deneysel işlemlerine başlamadan önce geri kazanımların (recover) belirlenebilmesi için 5 ppb'lik PCB#14, PCB#65, PCB#166 vekil standartları (surrogate) eklendi. Daha sonra erimiş kar örnekleri vakum filtrasyonundan geçirilen ve GFF'de tutulan partikül fazdaki atmosferik PCB'lerin de ekstrakte edilmesi için katı-sıvı faz ekstraksiyon işlemleri uygulandı. Bu aşamada süzüntü suyunun geçtiği GFF, cam beher içerisine yerleştirilerek üzerine 70 mL'lik DCM:PE (dikloro metan : petrol eteri) 1:1 oranında eklendi. Ardından titreşim ile filtreden çözücü sıvı ortama geçişlerin sağlanması için de

Ultrasonik banyo kullanıldı. Titreşimli ekstrakte süresi 15 dakikada bir ısınan banyo suyu ile soğuk su yer değiştirilerek 1 saat boyunca ekstrakte işlemi yapıldı. Ardından hacim azaltma işlemleri için Ultrasonik banyodan alınan örnekler Rotaride (döner buharlaştırıcı) son hacim ortalama 5 mL'ye kadar azaltıldı. 5 mL hacimdeki örnek hekzan ile ön zenginleştirme adımları için, üzerine 15 mL hekzan ilave edilerek tekrar ortalama 5 mL'ye ininceye kadar hacim azaltma işlemi uygulandı. Böylece örnek katı fazdan sıvı faz ortamına alındı. Ardından partikül fazı PCB örnekleri 40 mL'lik cam vialerde derin dondurucuda (-18 °C) clean-up işlemine kadar saklandı. Sırası geldikçe cam viallerdeki örneklerin Rotari cihazında hacimleri ortalama 5 mL'ye azaltılmaya kadar hekzan ilavesi yapıldı. Örneklerin hacmi ortalama 5 mL'ye azaltıldıktan sonra yüksek saflıktaki azot gazı (%99,999) altında tekrardan örneklerin hacimleri düşütülerek nihai olarak 2 mL'ye indirildi. Daha sonra 2 mL'lik örnekler en alttan yukarıya doğru clean-up kolonuna yerleştirilen cam yünü ve 3g silisik asit (%3 su), 2g alümina (%6 su), 1g florasil ve 1g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kimyasallarının bulunduğu clean-up kolonundan itina ile akıtılarak geçirildi. Örnekler kolondan süzülmeden önce clean-up kolonunun altına 40 mL'lik cam vial yerleştirildi. Örnekler daha sonra temizleme kolonuna akıtılarak tüm örneğin temizleme kolonundan geçirip süzülme işlemi gerçekleştirildi. Ardından 30 mL PE ilave edilerek PCB örnekleri tamamen 40 mL'lik cam vial içerisine aktarıldı. Cam vial aktarılan ortalama 30 mL'lik PCB örnekleri tekrardan Rotari cihazı ile hacimleri ortalama 5 mL'ye kadar azaltıldı. Daha sonra hekzan ile zenginleştirmek için kalan hacmin üzerine 15 mL hekzan ilave edilerek yeniden örnek hacmi 5 mL'ye kadar düşürüldü. Bu uygulama 2 kere daha yapılarak örnekler hekzan içerisine toplandı. Ortalama 15 mL'lik örnekler nihai olarak yüksek saflıktaki azot gazı ile örnek hacmi 0,5 mL'ye kadar düşürüldü. 0,5 mL ye düşürülen örnekler 2 mL'lik teflon kapaklı cam viallere aktarıldı. Ve tekrardan azot gazı altında 3 tekrarlı olacak şekilde hekzanla zenginleştirilip son hacim 1 mL olacak şekilde tamamlandı. Böylece 2 mL'lik cam viallere alınan PCB örneklerinin analiz işlemleri için GC-MS cihazına hazır hale getirildi.

Ekstraksiyon işlemleri tamamlanan PCB numunelerinin konsantrasyonlarının belirlenmesi için GC-MS cihazında analiz işlemleri yapıldı (Agilent marka; HP 7890 A model gaz kromatografi - 5975 kütle spektrometre dedektörü) Bu cihaz taşıyıcı gaz (%99,999 saflıkta Helyum gazı) ve kolondan (Agilent marka; 30 m × 250 µm × 0,25 µm; HP 5MS capillary kolon) oluşan kromatografi cihazıdır. Ayrıca GC-MS cihazı sayesinde tüm ortamlarda eser miktarda bulunabilecek kirleticilerin konsantrasyonlarını belirlemede aktif olarak literatürde kullanılmaktadır (Cindoru vd., 2007; Birgül vd., 2010; Arinaitwe vd., 2018). Diğer taraftan analiz işlemlerinde kullanılan fırın sıcaklık programı Cindoruk ve Tasdemir (2010), Odabaşı vd., (1999) ve Paluoğlu'nun (2016) kullanmış olduğu yöntemlerden faydalanılarak düzenlendi (2 dak 70 °C'ye yükseltme, dakikada 25 °C artışla 150 °C'ye yükseltme, dakikada 3 °C artışla 250 °C'ye yükseltme, dakikada 8 °C artış ile 280 °C'ye varış ve 280 °C'de 6 dakika bekletme ile toplam da 50,283 dakika okutma zamanı). Ayrıca GC-MS cihazına PCB türlerinin tanıtılmasında uygulanan kalibrasyon işlemi için hekzan çözücüsü içinde 6 farklı standart kullanıldı. Diğer taraftan kar numunelerinin analizlenmesinde oluşabilecek kayıpları hesaplayabilmek için de 5'er ng/mL'lik PCB#14 (3,5-diklorobifenil), PCB#65 (2,3,5,6-tetraklorobifenil) ve PCB#166 (2,3,4,4',5,6-hekzaklorobifenil) Surrogate standartları kullanıldı. Ayrıca 1'er ng/mL'lik PCB#30 (2,4,6 triklorobifenil) ve PCB#204 (2,2',3,4,4',5,6,6') hacim düzeltme standartlarında, GC-MS enjeksiyonundan hemen önce

her örnek vialine eklenerek örneklerdeki hacim ayarlanması için kullanıldı. Böylece hem geri kazanım hesapları hem de hacim düzeltme işlemleri literatürde uygulanan kabul görmüş metotlar ile güvenilir bir şekilde tamamlandı. Ayrıca analiz çalışmalarında kalibrasyon piklerinde görülen bozulma durumlarında tekrardan yeni kalibrasyon işlemleri uygulandı.

### 2.3. Kalite Kontrol / Kalite Güvenilirliği

Bu çalışmanın analiz işlemlerinde ve öncesinde uygulanan tüm yöntemlerin güvenilir olması bakımından literatürde kabul görmüş metodlardan yararlanıldı (Cindoruk ve Tasdemir, 2010; Arinaitwe vd., 2018). Literatürde benzer diğer çalışmalar ile bu çalışma metodları birbirine çok yakın olmasından dolayı PCB'lerin konsantrasyon hesaplamaları için şahitler (blanks), bulunma sınır değerleri, analitik standartlar ve diğer bütün analiz işlemleri ile ilgili kalite güvenilirliği ve kalite kontrolü açısından oldukça uygun bir çalışma yöntemi seçildi. Aynı zamanda bu çalışmada PCB#4/10, PCB#9/7, PCB#6, PCB#8/5, PCB#19, PCB#12/13, PCB#18, PCB#15/17, PCB#16/32, PCB#26, PCB#31, PCB#28, PCB#21, PCB#53, PCB#22, PCB#45, PCB#52, PCB#47, PCB#49/48, PCB#44, PCB#37/42, PCB#71/41/64, PCB#100, PCB#74, PCB#70/61, PCB#91, PCB#56/60, PCB#92, PCB#84, PCB#89/101, PCB#99, PCB#119, PCB#83, PCB#81/87, PCB#86, PCB#85, PCB#77/110, PCB#135/144, PCB#114/149, PCB#118, PCB#123, PCB#131, PCB#153, PCB#132/105, PCB#163/138, PCB#126, PCB#128, PCB#167, PCB#174, PCB#202/171/156, PCB#172, PCB#180, PCB#200, PCB#170/190, PCB#169, PCB#199, PCB#207, PCB#194, PCB#205, PCB#206 olmak üzere toplamda 82 PCB türünün varlığı, miktarı ve bulk çökeltme akı değerleri araştırıldı. Ayrıca örnekleme çalışmaları sırasında 2 adet laboratuvar ve 4 adette arazi blank (şahit) örnekleme yapıldı ve analiz işlemlerinden sonra GC'de analizi tamamlanan 24 adet numunedeki PCB'lerin herbiri için tek tek kromatogram eğrisinde araştırma yapıldı. Böylece sinyal / gürültü oranları tesbit edildi. Bu oranda 3'ün altında kalan hiçbir PCB verisi hesablara katılmadı. Böylece 24 adet pasif kar örnekleme numunesinin kalibrasyon eğrisindeki görünme oranları (sinyal / gürültü > 3 ) ile belirleme sınır değerleri de (LOD) tesbit edildi. Ayrıca kent ve kırsal örnekleme noktalarında kar örnekleme aparatı ile toplanmış kar örneklerinin eritilerek süzülükleri filtrelerin ortalama geri kazanım oranları ise %81 PCB#14, %89 PCB#65 ve %101 PCB#166 olarak belirlendi.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. PCB Konsantrasyonları

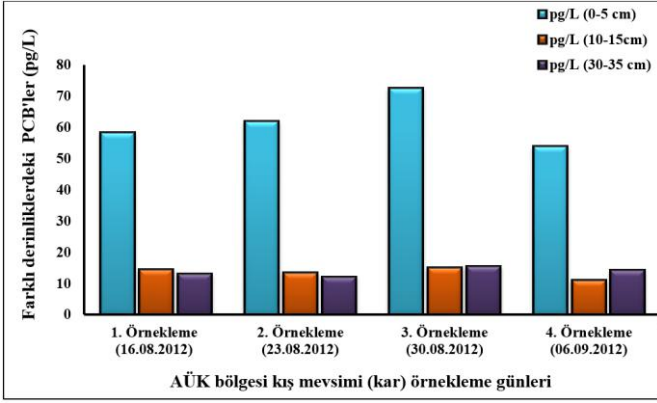
Geniş AÜK ve PDB örnekleme bölgelerinde, 4 haftalık periyotlarla kademeli derinliklerde tesbit edilen kış mevsimine ait atmosferik çökelen PCB'lerin konsantrasyon değerleri Tablo 2' de verildi. AÜK bölgesi için kademeli bir şekilde (0 - 35 cm arasında) alınan kar örneklerindeki atmosferik partikül faz ortalama PCB konsantrasyonları 0,28 pg/L'den (PCB#8/5) 14,66 pg/L'e (PCB#28) kadar değişim sergiledi. Diğer taraftan PDB'ye ait atmosferik partikül faz ortalama PCB konsantrasyonları ise 0,10 pg/L'den (PCB#8/5) 4,82 (PCB#163/138) pg/L'e kadar değişim sergilediği belirlendi. Bu verilere göre kış mevsiminde AÜK bölgesinde ölçülen ortalama toplam PCB konsantrasyon değeri PDB'de ölçülenden yaklaşık 4 kat daha fazla olduğu görüldü. Böylece kent ve kırsal alan arasındaki kirlilik girdisinin ne kadar fark ettiği elde edilen veriler ile de ispatlanmış oldu. Bu durum diğer birçok literatür çalışmalarıyla da benzerlik göstermektedir

(Swackhamer vd., 1998; Garcia-Alonso ve Perez-Pastor, 2003; Wang vd., 2008; Syed Hussain vd., 2013). Ayrıca kış mevsiminde yapılan atmosferik çökelen PCB örnekleme kent ve kırsal alan atmosferinde partikül fazda araştırılan 82 PCB türünden sadece 13 PCB türüne (PCB#8/5, 18, 31, 28, 52, 89/101, 118, 153, 163/138, 180) rastlanıldı.

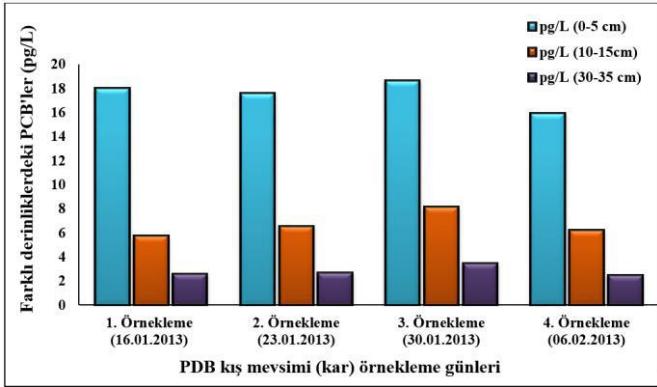
Diğer taraftan AÜK ve PDB'de, haftalık olarak yapılan kar örnekleme kademeli her bir derinlikte 0-5 cm, 10-15 cm, 30-35 cm'de tesbit edilen atmosferik çökelen PCB'lerin konsantrasyon değerlerinin karşılaştırıldığı sütun grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'de sunuldu. Kar yüzeyinden aşağıya doğru kademeli bir şekilde alınan örnekler incelendiğinde, genellikle yere çökelen PCB'ler yüzeyden aşağıya doğru inildikçe belirli derinliklerde (>30 cm) çok az miktarda da olsa tesbit edildi (Quiroz vd., 2009). Ancak ölçülen PCB konsantrasyonları çoğunlukla kar yüzeyinde (5-10 cm arasındaki derinliklerde) yoğun olarak belirlendi. (Syed Hussain vd., 2013; Hussain vd., 2019). Bu durum ilk olarak karın gevşek ve daha çok geçirimli bir yapıya sahip olduğunu akla getirmektedir. Ayrıca kış aylarında karın her kademe derinliğinde PCB türlerine azda olsa rastlanması, kar yağışı sayesinde askıda kalan PCB türlerinin yere ıslak çökeltme ile indirilmesi ve zamanla zeminde kar yüksekliğinin artmasıyla beraber her kademe derinlikte de PCB türlerinin bulunmalarına sebep olduğu düşünülmektedir (Swackhamer vd., 1998).

Tablo 2. AÜK ve PDB'de kış dönemine ait atmosferik çökelen PCB'lerin yüzey ve kademeli derinliklerden elde edilmiş ortalama konsantrasyonları (pg/L)

AÜK Bölgesi Pasif Kar Örneklemesi												
PCB'ler	16.01.2013			23.01.2013			30.01.2013			06.02.2013		
	Kar derinliği (cm)			Kar derinliği (cm)			Kar derinliği (cm)			Kar derinliği (cm)		
	0-5	10-15	30-35	0-5	10-15	30-35	0-5	10-15	30-35	0-5	10-15	30-35
PCB#8/5	1,011	0,392	0,278	1,063	0,357	0,286	1,534	0,373	0,384	0,838	0,285	0,338
PCB#18	1,890	0,407	0,464	2,044	0,470	0,437	2,737	0,428	0,520	1,957	0,440	0,453
PCB#31	1,752	0,621	0,558	2,188	0,520	0,306	2,775	0,493	0,553	1,978	0,410	0,417
PCB#28	11,910	2,478	1,829	12,683	2,078	2,015	14,662	2,432	2,321	11,684	2,243	2,321
PCB#52	9,215	1,597	1,654	9,576	1,620	1,641	10,700	1,746	1,915	8,672	1,169	1,736
PCB#89/101	5,075	1,388	1,165	5,517	1,189	0,934	7,000	1,700	1,437	5,351	0,092	1,238
PCB#118	6,045	1,472	1,670	6,380	1,654	1,606	7,335	1,582	1,865	5,431	1,263	1,760
PCB#153	7,600	2,197	2,166	8,524	2,144	1,999	10,134	2,487	2,731	7,247	2,051	2,336
PCB#163/138	10,639	3,983	3,270	10,730	3,420	2,879	11,507	3,702	3,702	8,316	3,049	3,554
PCB#180	3,140	B	B	3,180	B	B	4,237	B	B	2,507	B	B
<b>Toplam</b>	<b>58,277</b>	<b>14,535</b>	<b>13,053</b>	<b>61,885</b>	<b>13,451</b>	<b>12,103</b>	<b>72,620</b>	<b>14,943</b>	<b>15,427</b>	<b>53,980</b>	<b>11,001</b>	<b>14,152</b>
<b>B: Bulunamadı</b>												
PDB Pasif Kar Örneklemesi												
PCB'ler	16.01.2013			23.01.2013			30.01.2013			06.02.2013		
	Kar derinliği (cm)			Kar derinliği (cm)			Kar derinliği (cm)			Kar derinliği (cm)		
	0-5	10-15	30-35	0-5	10-15	30-35	0-5	10-15	30-35	0-5	10-15	30-35
PCB#8/5	0,340	0,157	0,128	0,329	0,163	0,111	0,329	0,176	0,166	0,313	0,152	0,100
PCB#18	0,625	0,149	0,128	0,557	0,197	0,115	0,573	0,206	0,233	0,543	0,181	0,104
PCB#31	0,428	0,127	0,128	0,416	0,146	0,139	0,599	0,258	0,142	0,347	0,125	0,116
PCB#28	2,693	0,649	0,303	2,944	0,694	0,303	3,026	0,771	0,467	2,345	0,668	0,285
PCB#52	2,670	0,599	0,188	2,605	0,624	0,204	2,741	0,679	0,278	2,339	0,570	0,190
PCB#89/101	0,711	0,287	0,114	0,846	0,311	0,116	0,932	0,468	0,135	0,742	0,277	0,100
PCB#118	1,650	0,192	0,109	1,549	0,207	0,118	1,637	0,239	0,121	1,355	0,191	0,109
PCB#153	3,614	0,794	0,596	3,369	1,035	0,621	3,521	1,408	0,763	3,471	1,073	0,593
PCB#163/138	4,801	1,542	0,781	4,461	1,644	0,840	4,818	2,020	1,018	4,104	1,513	0,770
PCB#180	0,473	1,232	0,107	0,481	1,522	0,114	0,480	1,932	0,131	0,380	1,444	0,102
<b>Toplam</b>	<b>18,005</b>	<b>5,729</b>	<b>2,582</b>	<b>61,885</b>	<b>13,451</b>	<b>12,103</b>	<b>18,657</b>	<b>8,157</b>	<b>3,455</b>	<b>15,940</b>	<b>6,195</b>	<b>2,466</b>
<b>B: Bulunamadı</b>												



Şekil 2. AÜK bölgesinde kış mevsimine ait atmosferik çökelen toplam PCB'lerin kademeli derinliklerdeki (0-5 cm, 10-15 cm, 30-35 cm) miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 3. PDB'de kış mevsimine ait atmosferik çökelen toplam PCB'lerin kademeli derinliklerdeki (0-5 cm, 10-15 cm, 30-35 cm) miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 2 ve 3' den de görüleceği üzere kar-da bulunan PCB'lerin partikül faz konsantrasyon değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman, ilk haftaların örneklem sonuçları birbirine yakın iken, son haftanın kar örneklerinde PCB'lerin partikül faz konsantrasyon değerlerinde düşüş gözlemlendi. Bu durumun meteorolojik faktörlerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir ve özellikle günlük ortalama yağış miktarlarına (mm) bakıldığında (Tablo 1) son haftalar diğer ilk haftalara göre yağış miktarlarının haftalık toplamda daha fazla olduğu görüldü. Böylece son haftanın örneklerinde yere çökelen partikül faz PCB miktarını kar yüzeyinden aşağıya doğru infiltrasyona uğrayabileceğinden PCB'lerin partikül faz konsantrasyon değerlerini düşürebileceğini aklı getirmektedir. Diğer bir etken faktöründe özellikle yaz aylarında yüksek oranlarda tespit edilen rüzgar hızının olduğu düşünülmektedir. Yine aynı şekilde Tablo 1' den de görüleceği üzere son haftaya ait hakim rüzgar hızının ilk haftalardan fazla olması kar yüzeyinden rüzgar hızıyla doğru orantılı olacak şekilde süpürme mekanizması ile yere çökelen partikül faz PCB miktarlarını azaltabileceği düşünülmektedir.

Diğer taraftan literatür çalışmalarına bakıldığında kar örnekleme atmosferik ve toprak örneklemeinden oldukça az araştırıldığı görülmektedir (Mamontova vd., 2007; Luo vd., 2015; Wang vd., 2017). Literatürde tespit edilen değerler, yapılan bu çalışmadaki pasif kar örnekleme PCB konsantrasyon değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin Arellona ve arkadaşlarının (2014) Avusturya'nın Tyroken

Alplerin'de kışın 6 farklı noktada kar örnekleme yapılmışlar ve kar yüzeyinin altından (62-135 cm arasındaki derinlikten) kar örnekleri olarak çalıştırdıkları 7 PCB türüne ait toplam konsantrasyon değerini 460-900 pg/L aralığında bulmuşlardır. Aynı ekibin 2011 kış ayında Tatra dağında 6 farklı noktada yaptıkları çalışmada ise, 7 PCB türünün toplam konsantrasyonlarını 550-1600 pg/L arasında tespit etmişlerdir. Benzer diğer bir çalışma olan, Baek vd., (2011) aldıkları yüzeysel kar örneklerinin toplam konsantrasyonlarını 110-580 pg/L arasında belirlemişlerdir. Erzurum kent ve kırsalında belirlenen kar yüzeyi ve derinliklerindeki PCB türleri diğer çalışmalara oranla yaklaşık 5 kat daha küçük olduğu görüldü. Literatürde her ne kadar kar ile ilgili az çalışma olsa da mevcut çalışmalardan anlaşılmaktadır ki, kar yüzeyi ve derinliklerinde PCB türlerine ciddi oranlarda rastlanılmaktadır.

Diğer taraftan pasif kar örneklemeinde araştırılan 82 adet PCB türlerinin çoğusuna bu çalışmada rastlanılmadı. Bu çalışmada sadece PCB#8/5, 18, 31, 28, 52, 89/101, 118, 153, 163/138 ve 180 olmak üzere toplam 13 PCB türü tespit edildi. Tablo 1' de görüldüğü gibi bazı PCB türleri hem kentsel hemde kırsal alanda yüksek konsantrasyonlarda bulundu (PCB#163/138, 153, 28, 52). Ayrıca AÜK pasif kar örnekleme bölgesi için en yüksek konsantrasyona sahip 5 PCB türü (PCB# 28, 52, 163/138 ve 153), belirlenen diğer PCB türlerine göre daha yüksek miktarlarda bulunurken, PDB'de pasif kar örnekleme noktası için de en yüksek konsantrasyona sahip 5 PCB türü de (PCB# 28, 52, 163/138 ve 153) diğer PCB türlerine göre oldukça yüksek konsantrasyonlarda olduğu tespit edildi.

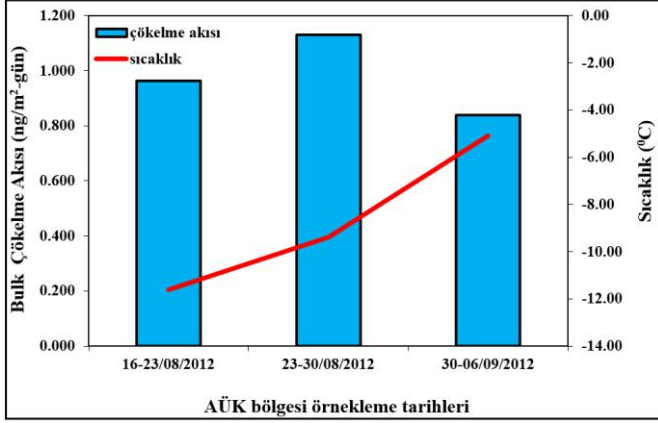
Analizlenen örneklerdeki PCB konsantrasyon sınımları; örnekleme bölgesinin topografik ve coğrafik yapısına, meteorolojik şartların değişkenliğine, diğer kaynaklardan (pasif yer örnekleme alanına yaklaşık 23-30 km uzaklıktaki Erzurum düzenli katı atık depolama sahasından) meydana gelen atmosferik taşınımlara ve ayrıca PCB türlerinin kuru yada yağış çökelmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca PCB'lerin atmosferde uzun süre kalıcı özelliklerinden dolayı, bozulmadan uzak bölgelere taşındığı bilinmektedir (Wu vd., 2011; Baek vd., 2011). Bu sebeple bu çalışmada da PCB konsantrasyonlarını artıran en temel faktöründe yakın ve uzak kaynaklardan hakim rüzgarlarla taşınım olduğu düşünülmektedir (Polkowska vd., 2000; Klanova vd., 2008; Wang vd., 2012; Olenycz vd., 2015).

Diğer taraftan pasif kar örneklemeinde düşük molekül ağırlığa sahip 3-, 5- ve 6-CB homolog grupları daha baskın olduğu belirlendi. 6-CB'ler diğer düşük -CB'lere göre buharlaşma eğilimi daha az olması sebebiyle, pasif kar örnekleme noktalarında ölçülen PCB konsantrasyonlarının daha fazla çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Elde edilen PCB türleri içinde çökeltme örnekleri olması açısından genellikle 6-CB'ler (%36) hemen hemen tüm örneklerde baskın halde oldukları tespit edildi. Ardından da 3-CB'ler (25,9), 5-CB'ler (%17,7), 4-CB'ler (%13,8) ve 7-CB'ler (%3,6) olarak takip etmektedir.

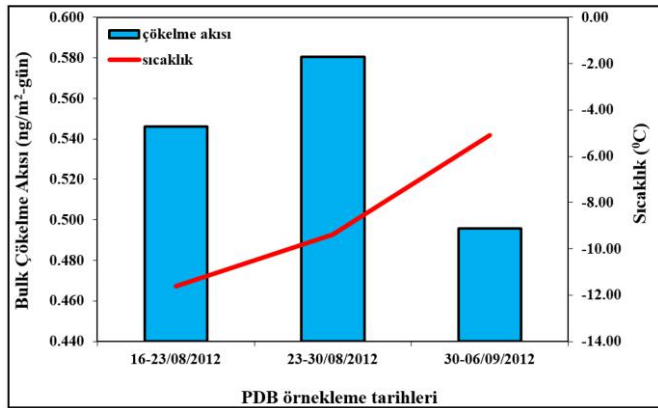
### 3.2. Bulk Çökeltme Akıları

Pasif kar örnekleme ile AÜK kış mevsimi için ölçülen ΣPCB bulk çökeltme akılarının değişimi Şekil 4' de verildi. AÜK bölgesi ortalama akı değerleri 0,02 ile 0,20 ng/m<sup>2</sup>-gün arasında değişmektedir. Ayrıca ortalama bulk çökeltme akısı 0,96 ng/m<sup>2</sup>-gün olarak belirlendi. Elde edilen verilere göre partikül faz

PCB'ler üzerinde meteorolojik faktörlerin etkisi oldukça önemli olduğu belirlendi. Diğer taraftan PDB'de ölçülen toplam PCB bulk çökeltme akıları ise Şekil 5'de sunuldu. Bu bölgedeki bulk çökeltme ortalama akı değerleri kış mevsiminde 0,01 ng/m<sup>2</sup>-gün ile 0,14 ng/m<sup>2</sup>-gün arasında tesbit edildi. Ayrıca ortalama bulk çökeltme akısı 0,54 ng/m<sup>2</sup>-gün olarak tesbit edildi. Bu değerler AÜK bölgesinde ölçülen, akı değerleri PDB bölgesinde ölçülen değerden yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu görüldü.



Şekil 4. AÜK bölgesi kış mevsiminde ölçülen partikül fazdaki ΣPCB'lerin bulk çökeltme akıları sıcaklık ilişkisi



Şekil 5. PDB'de kış mevsimi ölçülen partikül fazdaki ΣPCB'lerin bulk çökeltme akıları sıcaklık ilişkisi

Bu sonuçlar örnekleme kış mevsiminde yapılması ve PCB'lerin tutunduğu partiküllerin (iri ve ince mod) farklı boyutlarda olmasından kaynaklandığını akla getirmektedir. Ayrıca yapılan literatür çalışmalarında iri partiküllerin kentsel alanlarda yüksek oranlarda bulunabileceğini göstermektedir (Finlayson ve Pitts, 1986; Franz vd., 1998). AÜK ve PDB'de ölçülen PCB türlerine ait ortalama bulk çökeltme akı değerleri Tablo 3'de verildi. AÜK bölgesinde kış mevsiminde araştırılan 82 PCB türünden çoğusuna rastlanılmadı. Ve en yüksek ortalama akı değerleri PCB#28 (0,20 ng/m<sup>2</sup>-gün) ve PCB#163/138 (0,16 ng/m<sup>2</sup>-gün) türlerinde olduğu görüldü. Toplam bulk çökeltme akı değeri ise 0,96 ng/m<sup>2</sup>-gün olarak belirlendi. Diğer taraftan PDB'de de kış mevsiminde araştırılan 82 PCB türünden çoğusuna AÜK bölgesindeki gibi rastlanılmadı. PDB'de tesbit edilen en yüksek ortalama akı değeri AÜK bölgesinde olduğu gibi PCB#28 (0,09 ng/m<sup>2</sup>-gün) ve PCB#163/138 (0,14 ng/m<sup>2</sup>-gün) bileşenlerinde olduğu tesbit edildi. PDB'de toplam çökeltme bulk akı değeri ise 0,54 ng/m<sup>2</sup>-gün olarak tesbit edildi. PCB'lerin

konsantrasyon değerlerinde olduğu gibi bulk çökeltme akı değerlerinde de, AÜK bölgesindeki bulk çökeltme akı değeri PDB bölgesinden yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu tesbit edildi.

Tablo 3. AÜK ve PDB'de ölçülen PCB'lerin bulk çökeltme akı değerleri

Kongener	Bulk Çökeltme Akı Değerleri (ng/m <sup>2</sup> -gün)							
	AÜK (partikül faz)				PDB (partikül faz)			
PCB'ler	Ort	SS	Mak	Min	Ort	SS	Mak	Min
PCB#8/5	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
PCB#18	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02
PCB#31	0,03	0,01	0,04	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01
PCB#28	0,20	0,02	0,23	0,18	0,09	0,01	0,09	0,07
PCB#52	0,15	0,01	0,17	0,13	0,08	0,01	0,09	0,07
PCB#89/101	0,09	0,01	0,11	0,08	0,03	0,00	0,03	0,02
PCB#118	0,10	0,01	0,11	0,08	0,05	0,00	0,05	0,04
PCB#153	0,13	0,02	0,16	0,11	0,11	0,00	0,11	0,10
PCB#163/138	0,16	0,02	0,18	0,13	0,14	0,01	0,15	0,13
PCB#180	0,05	0,01	0,07	0,04	0,01	0,00	0,01	0,01
<b>Toplam</b>	<b>0,96</b>				<b>0,54</b>			

**B:** Bulunamadı; **Ort:** Ortalama; **SS:** Standart Sapma; **Mak:** Maksimum; **Min:** Minimum

AÜK bölgesinde ölçülen en yüksek bulk çökeltme akı değeri, 3-CB'ye aittir. Diğerleri ise sırasıyla; 2-CB, 5-CB, 4-CB, 7-CB ve 6-CB'ler olarak takip etmektedir. Ayrıca PDB'de de en yüksek bulk çökeltme akı değeri, yine 3-CB'ye aittir. Diğerleri ise sırasıyla 6-CB, 5-CB, 4-CB, 7-CB ve 2-CB'ler olarak takip etmektedir. Homolog grupların bulk çökeltme akıları ile partikül faz PCB konsantrasyonları arasında yapılan korelasyondan önemli bir ilişki tesbit edildi. Ayrıca Cindoruk ve Taşdemir (2007) yaptıkları çalışmada bulk çökeltme akı değerlerinden en yüksek homolog dağılımı ile (3-CB'ler, 4CB'ler ve 5CB'ler) bu çalışmada belirlenen homolog dağılımı benzerlik göstermektedir. Bulk çökeltme akısının bazı örneklerde düşük olması homolog sayısının (molekül ağırlıkları) partikül fazdaki bu PCB türlerinin konsantrasyonunun azalmasından kaynaklandığı fikri akla gelmektedir (Franz vd., 1998; Bozlaker vd., 2008).

Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan PCB'lerin çökeltme akı çalışmaları incelendiğinde; çok farklı sonuçlar elde edildiği görüldü. Akı değerlerindeki bu farklılıklar toplama tekniğinin çeşitliliğine, atmosferik PCB konsantrasyonlarının farklılığına, bölgenin coğrafik ve topografik farklılığına ve örnekleme zamanıyla alakalı olabileceği dayandırılmaktadır. Akı ölçümün zor olması ve genel olarak kabul görmüş standart bir ölçüm metodu bulunmaması, araştırmacıları farklı yöntemler denemeye yöneltmiştir. Ayrıca çoğu araştırmacı yarı uçucu organik kirleticilerin çökeltmelerini belirlemek için çeşitli örnekleyciler kullanmışlardır. Bunlardan bazıları aynı ekipmanda kuru ve yaş çökeltmeyi iki ayrı kapta toplayan sensörlü toplayıcılar yaygın bir şekilde kullanılırken, bazı çalışmalarda da bu sistemde kuru çökeltme boş kaplarda toplanmış, bazılarında ise su ilave edilmiştir. Ayrıca birçok çalışmada da toplam çökeltmeyi yapmada atmosfere açık su yüzeyli kaplar kullanılmış, burada hem yaş çökeltme hem de kuru çökeltme olduğundan bulk çökeltme yaş ve kuru çökeltmenin toplamı olarak kabul edildi. Bu çalışmada ise özel dizayn edilmiş 30 cm x 45 cm x 5 cm ebatında kar toplama aparatı kullanılması neticesinde elde edilen bulk çökeltme akı değerleri, kentsel ortamlar (Amerika, Japonya, İzmir, Tayvan,

vb.) için verilen sonuçlardan oldukça düşük olup kırsal kesimlere (Atlantik, Bursa, vb.) nisbeten daha yakın bulundu (Lee vd., 1996; Ogura vd., 2001; Syed Hussain vd., 2013).

#### 4. SONUÇ

Erzurum kent ve kırsal alanının iki farklı örnekleme noktasında ve kış mevsiminde yapılan bu çalışmada, 82 adet PCB türünün kar yüzeyindeki konsantrasyonları, kar yüzeyinden dikey aşağıya doğru kademeli derinliklerdeki infiltrate olmuş konsantrasyonları ve bulk çökeltme akılarının belirlenmesine yönelik örnekleme, ekstraksiyon ve analiz işlemlerini kapsayan çalışmalar gerçekleştirildi. Çalışmanın tüm basamakları kalite kontrol ve kalite güvenilirliği açısından bilim dünyasında kabul görmüş yöntemler uygulandı. Örnekleme yapıldığı farklı noktalarda eş zamanlı olarak özel tasarlanmış kar örnekleme aparatı kullanıldı. Kent ve kırsal örnekleme noktalarından elde edilen sonuçlar hem konsantrasyon hem de bulk çökeltme akı değerleri açısından oldukça birbirinden farklı değerler olduğu görüldü. Bu verilerin farklılığı, nüfus yoğunluğuna, örnekleme noktalarının coğrafik ve topografik özelliklerine, meteorolojik etkenlere, alansal kirlilik kaynaklarının yoğunluğuna ve uzun menzilli taşımardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Araştırmada PCB'lerin daha az klor sayısına sahip homolog gurubları daha yüksek miktarlarda olduğu bulundu. Özellikle 2-, 3-, 5- ve 6-CB homolog gurubları daha baskın olarak hesaplandı. Ayrıca meteorolojik faktörlerden özellikle sıcaklığın PCB konsantrasyon ve bulk çökeltme akı değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu grafikler ile de tesbit edildi. PCB'lerin konsantrasyon ve akı değerleri açısından AÜK bölgesinden elde edilen sonuçlar PDB'ye göre oldukça yüksek değerlerde olduğu da görüldü. Bunun sebebi ise başta bölgesel farklılıkların olması, meteorolojik faktörlerin topografik ve coğrafik örnekleme noktalarını etkilemesi ve yoğunlukla kent ortamı kırsala göre PCB kaynaklarına daha yakın olması bakımından önemli ölçüde etkilediği düşünülmektedir. Diğer taraftan bu çalışmada kar yüzeyden kademeli derinliklere doğru inildikçe özellikle 30 cm'den sonra bile PCB bileşenleri tesbit edildi. Aynı zamanda derinliklere inildikçe kar örneklerinin her kademesinde düşük miktarlarda da olsa PCB'lerin konsantrasyonları belirlendi. Ayrıca bu ve benzer diğer kar örnekleme çalışmalarında, en çok PCB kirliliğinin 0-5 cm aralığındaki yüzeyde tesbit edildiği belirtilmektedir. Böylece PCB tür ve miktarları kar yüzeyinden aşağıya doğru inildikçe belirlenebilse de, PCB türlerinin hem çok az sayıda olduğu hem de az miktarlarda buldukları tesbit edildi. Sonuç olarak bu çalışma diğer benzer kent bölgelerinde yapılan literatür çalışmalarına göre daha yakın sonuçlar alınırken, kırsal alanlarınkine göre de oldukça düşük değerler aldığı tesbit edildi.

#### 5. Teşekkür

Erzurum Atatürk Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, Çevre mühendisliği bölümünde bulunan sayın hocam Prof Dr. Hanefi BAYRAKTAR' a ve Çevre mühendisliği laboratuvarlarında çalışma imkanı sağlayan idari ve akademik hocalarıma teşekkür ederim.

#### Kaynakça

Arinaitwe, K., Muir, D. C. G., Kiremire, B. T., Fellin, P., Li, H., Teixeira, C., & Mubiru, D. N. (2018). Prevalence and sources of polychlorinated biphenyls in the atmospheric environment

of Lake Victoria, East Africa. *Chemosphere*, 193, 343–350. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.11.041

- Aslam, S. N., Huber, C., Asimakopoulos, A. G., Steinnes, E., & Mikkelsen, Ø. (2019). Trace elements and polychlorinated biphenyls (PCBs) in terrestrial compartments of Svalbard, Norwegian Arctic. *The Science of the Total Environment*, 685, 1127–1138. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.060
- Baek, S.-Y., Choi, S.-D., & Chang, Y.-S. (2011). Three-year atmospheric monitoring of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in polar regions and the South Pacific. *Environmental Science & Technology*, 45(10), 4475–4482. doi:10.1021/es1042996
- Baek, S.-Y., Choi, S.-D., Park, H., Kang, J.-H., & Chang, Y.-S. (2010). Spatial and seasonal distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the vicinity of an iron and steel making plant. *Environmental Science & Technology*, 44(8), 3035–3040. doi:10.1021/es903251h
- Bayraktar, H., Paloluoğlu, C., Turalioğlu, F. S., & Gaga, E. O. (2016). A multipoint (49 points) study of dry deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Erzurum, Turkey by using surrogated snow surface samplers. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(12), 12400–12413. doi:10.1007/s11356-016-6427-5
- Birgül, A., Cindoruk, S. S., Günindi, M., & Taşdemir, Y. (2010). Poliklorlu bifenillerin (PCB'lerin) toplam çökeltme akılarının seviyeleri ve mevsimsel değişimleri. *IV. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 95–105.
- Bozlaker, A., Müezzinoğlu, A., & Odabaşı, M. (2008). Atmospheric concentrations, dry deposition and air-soil exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an industrial region in Turkey". *Journal of Hazardous Material*, 153, 1093–1102.
- Caliskan, B., Küçük, A., Tasdemir, Y., & Cindoruk, S. S. (2020). PAH levels in a furniture-manufacturing city atmosphere. *Chemosphere*, 240(124757), 124757. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.124757
- Chen, S.-J., Tian, M., Zheng, J., Zhu, Z.-C., Luo, Y., Luo, X.-J., & Mai, B.-X. (2014). Elevated levels of polychlorinated biphenyls in plants, air, and soils at an E-waste site in Southern China and enantioselective biotransformation of chiral PCBs in plants. *Environmental Science & Technology*, 48(7), 3847–3855. doi:10.1021/es405632v
- Cindoruk, S. S., Esen, F., & Tasdemir, Y. (2007). Concentration and gas/particle partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) at an industrial site at Bursa, Turkey". *Atmospheric Research*, 85, 338–350.
- Cindoruk, S. S., & Tasdemir, Y. (2010). Dynamics of atmospheric polychlorinated biphenyls (PCBs): concentrations, patterns, partitioning, and dry deposition level estimations in a residential site of Turkey". *Environ Monit Assess*, 162, 67–80.
- Cindoruk, S. S., Siddik, & Tasdemir, Y. (2007). Deposition of atmospheric particulate PCBs in suburban site of Turkey. *Atmospheric Research*, 85(3–4), 300–309. doi:10.1016/j.atmosres.2007.02.002
- Du, S., & Rodenburg, L. A. (2007). Source identification of atmospheric PCBs in Philadelphia/Camden using positive matrix factorization followed by the potential source contribution function. *Atmospheric Environment (Oxford, England: 1994)*, 41(38), 8596–8608. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.07.042
- Dungen, M. W., Rijk, J., Kampman, E., Steegenga, W. T., & Murk, A. J. (2015). Steroid hormone related effects of marine

- persistent organic pollutants in human H295R adrenocortical carcinoma cells. *Toxicology in Vitro*, 29, 769–778.
- Finlayson, B. J., & Pitts, J. N. (1986). *Atmospheric Chemistry Fundamentals and Experimental Techniques*. Wiley.
- Franz, T. P., Eisenreich, S. J., & Holsen, T. M. (1998). Dry deposition of particulate polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons to lake Michigan. *Environmental Science & Technology*, 32(23), 3681–3688. doi:10.1021/es980107a
- Fu, S., Yang, Z.-Z., Li, K., & Xu, X.-B. (2008). Polychlorinated biphenyl residues in sandstorm depositions in Beijing, China. *Chemosphere*, 73(6), 962–966. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.06.049
- Garcia-Alonso, S., & Perez-Pastor, R. M. (2003). Occurrence of PCBs in ambient air and surface soil in an urban site of Madrid. *Water, Air, and Soil Pollution*, 146, 283–295.
- Gaga, E.O. (2004). Investigation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Deposition in Ankara. Doktora Tezi, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara.
- Gedik, K. (2010). Occurrence, Distribution and Sources of Polychlorinated Biphenyls at Selected Industrial Sites in Turkey. Ms Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.
- He, J., & Balasubramanian, R. (2009). A study of gas/particle partitioning of SVOCs in the tropical atmosphere of Southeast Asia. *Atmospheric Environment*, 43, 4375–4383.
- Hu, D., Lehmler, H.-J., Martinez, A., Wang, K., & Hornbuckle, K. C. (2010). Atmospheric PCB congeners across Chicago. *Atmospheric Environment (Oxford, England: 1994)*, 44(12), 1550–1557. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.01.006
- Hussain, B. A., Westgate, J. N., Hayward, S. J., Shunthirasingham, C., Brown, T. N., Hung, H., ... Wania, F. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in soils and atmosphere of Western Canadian mountains: The role of source proximity, precipitation, forest cover and mountain cold-trapping. *Atmospheric Environment: X*, 1.
- Kim, D.-G., Choi, K.-I., & Lee, D.-H. (2011). Gas-particle partitioning and behavior of dioxin-like PCBs in the urban atmosphere of Gyeonggi-do, South Korea. *Atmospheric Research*, 101(1–2), 386–395. doi:10.1016/j.atmosres.2011.03.010
- Klanova, J., Matykiewiczova, N., Macka, Z., Prosek, P., Laska, K., & Klan, P. (2008). Persistent organic pollutants in soils and sediments from James Ross Island, Antarctica. *Antarctica. Environmental Pollution*, 152, 416–423.
- Lee, W.-J., Su, C.-C., Sheu, H.-L., Fan, Y.-C., Chao, H.-R., & Fang, G.-C. (1996). Monitoring and modeling of PCB dry deposition in urban area. *Journal of Hazardous Materials*, 49(1), 57–88. doi:10.1016/0304-3894(95)00159-x
- Li, B., Zhang, Z. Y., & Chen, Y. L. (2015). Seasonal Variation and Gas/Particle Partitioning of PCB in Air from Central Urban Area of an Industrial Base and Coastal City -Tianjin. *China . Aerosol and Air Quality Research* 15.
- Lin, J. M., Fang, G. C., Holsen, T. M., & Noll, K. E. (1993). A comparison of dry deposition modeled from size distribution data and measured with a smooth surface for total particle mass, lead, and calcium in Chicago. *Atmospheric Environment*, 27, 1131–1138.
- Liu, R., Ma, S., Li, G., Yu, Y., & An, T. (2019). Comparing pollution patterns and human exposure to atmospheric PBDEs and PCBs emitted from different e-waste dismantling processes. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 142–149. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.02.029
- Luo, C., Wang, S., Wang, Y., Yang, R., Zhang, G., & Shen, Z. (2015). Effects of EDDS and plant-growth-promoting bacteria on plant uptake of trace metals and PCBs from e-waste-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 286, 379–385. doi:10.1016/j.jhazmat.2015.01.010
- Mamontova, E. A., Tarasova, E. N., Mamontov, A. A., Kuzmin, M. I., McLachlan, M. S., & Khomutova, M. I. (2007). The influence of soil contamination on the concentrations of PCBs in milk in Siberia. *Chemosphere*, 67(9), S71–8. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.05.092.
- Odabasi, M., Vardar, N., Sofuoglu, A., & Tasdemir, Y. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs in Chicago air. *The Science of the Total Environment*, 227: 57-67.
- Ogura, I., Masunaga, S., & Nakanishi, J. (2001). Atmospheric deposition of polychlorinated-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, and dioxin-like of polychlorinated biphenyls in the Kanto Region, Japan. *Japan. Chemosphere*, 44, 1473–1487.
- Olenycz, M., Sokołowski, A., Niewińska, A., Wołowicz, M., Namieśnik, J., Hummel, H., & Jansen, J. (2015). Comparison of PCBs and PAHs levels in European coastal waters using mussels from the *Mytilus edulis* complex as biomonitors. *Oceanologia*, 57(2), 196–211. doi:10.1016/j.oceano.2014.12.001.
- Paloluoglu C. (2016). Determination of Concentrations of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Different Environments Using Various Sampling Methods in Erzurum. PhD Thesis, Ataturk University Institute of Science, Erzurum, Turkey.
- Petrich, N. T., Spak, S. N., Carmichael, G. R., Hu, D., Martinez, A., & Hornbuckle, K. C. (2013). Simulating and explaining passive air sampling rates for semivolatile compounds on polyurethane foam passive samplers. *Environmental Science & Technology*, 47(15), 8591–8598. doi:10.1021/es401532q
- Polkowska, Z., Kot, A., Wiergowski, M., Wolska, L., Wołowska, K., & Namieśnik, J. (2000). Organic pollutants in precipitation: determination of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in Gdańsk, Poland. *Atmospheric Environment (Oxford, England: 1994)*, 34(8), 1233–1245. doi:10.1016/s1352-2310(99)00180-6
- Quiroz, R., Popp, P., & Barra, R. (2009). Analysis of PCB levels in snow from the Aconcagua Mountain (Southern Andes) using the stir bar sorptive extraction. *Environmental Chemistry Letters*, 7(3), 283–288. doi:10.1007/s10311-008-0164-z
- Swackhamer, D. L., McVeety, B. D., & Hites, R. A. (1988). Deposition and evaporation of polychlorobiphenyl congeners to and from Siskiwit Lake, Isle Royale, Lake Superior. *Environmental Science & Technology*, 22(6), 664–672. doi:10.1021/es00171a008
- Syed Hussain, J., Malik, R. N., Li, J., Zhang, G., & Jones, G. C. (2013). Levels, distribution and air-soil Exchange fluxes of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environmental Punjab Province, Pakistan. *Pakistan. Ecotoxicology and Environmental Safety*, 97, 189–195.
- Tang, X., Hashmi, M. Z., Zeng, B., Yang, J., & Shen, C. (2015). Application of iron-activated persulfate oxidation for the degradation of PCBs in soil. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 279, 673–680. doi:10.1016/j.cej.2015.05.059
- Ullah, R., Asghar, R., Baqar, M., Mahmood, A., Alamdar, A., Qadir, A., ... Eqani, S. (2020). Assessment of polychlorinated



- biphenyls (PCBs) in the Himalayan Riverine Network of Azad Jammu and Kashmir. *Chemosphere*, 240.
- Umlauf, G., Christoph, E. H., Lanzini, L., Savolainen, R., Skejo, H., Bidoglio, G., ... Scherer, H. (2011). PCDD/F and dioxin-like PCB profiles in soils amended with sewage sludge, compost, farmyard manure, and mineral fertilizer since 1962. *Environmental Science and Pollution Research International*, 18(3), 461–470. doi:10.1007/s11356-010-0389-9
- Usman, A., Jabir, H. S., Adeel, M., Jun, L., Gan, Z., Kevin, C. J., & Riffat, N. M. (2015). Influential role of black carbon in the soil-air partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the Indus River Basin. *Chemosphere*, 134, 172–180.
- Vecchiato, M., Zambon, S., Argiriadis, E., Barbante, C., Gambaro, A., & Piazza, R. (2015). Polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Antarctic ice-free areas: Influence of local sources on lakes and soils". *Microchemical Journal*, 120, 26–33.
- Wang, P., Zhang, Q.-H., Wang, T., Chen, W.-H., Ren, D.-W., Li, Y.-M., & Jiang, G.-B. (2012). PCBs and PBDEs in environmental samples from King George Island and Ardley Island, Antarctica. *RSC Advances*, 2(4), 1350–1355. doi:10.1039/c1ra00462j
- Wang, X.-P., Yao, T.-D., Wang, P.-L., Wei-Yang, & Tian, L. (2008). The recent deposition of persistent organic pollutants and mercury to the Dasuopu glacier, Mt. Xixiabangma, central Himalayas. *The Science of the Total Environment*, 394(1), 134–143. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.01.016
- Wang, Y., Wu, X., Hou, M., Zhao, H., Chen, R., Luo, C., & Zhang, G. (2017). Factors influencing the atmospheric concentrations of PCBs at an abandoned e-waste recycling site in South China". *Science of the Total Environment*, 578, 34–39.
- Wang, Z., Xie, Z., Möller, A., Mi, W., Wolschke, H., & Ebinghaus, R. (2015). Estimating dry deposition and gas/particle partition coefficients of neutral poly-/perfluoroalkyl substances in northern German coast. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 202, 120–125. doi:10.1016/j.envpol.2015.03.029
- Wu, J., Teng, M., Gao, L., & Zheng, M. (2011). Background air levels of polychlorinated biphenyls in China. *The Science of the Total Environment*, 409(10), 1818–1823. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.01.027
- Wu, Q., Wang, X., & Zhou, Q. (2014). Biomonitoring persistent organic pollutants in the atmosphere with mosses: performance and application. *Environment International*, 66, 28–37. doi:10.1016/j.envint.2013.12.021
- Yeo, H. (2003). Gas/particle concentrations and partitioning of PCBs in the atmosphere of Korea. *Atmospheric Environment (Oxford, England: 1994)*, 37(25), 3561–3570. doi:10.1016/s1352-2310(03)00361-3
- Yeo, H. G., Choi, M., Chun, M. Y., Kim, T. W., Cho, K. C., & Sunwoo, Y. (2004). Concentration characteristics of atmospheric PCBs for urban and rural area, Korea". *Science of the Total Environment*, 324, 261–270.
- Zhang, G., Chakraborty, P., Li, J., Sampathkumar, P., Balasubramanian, T., Kathiresan, K., ... Jones, K. C. (2008). Passive atmospheric sampling of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in urban, rural, and wetland sites along the coastal length of India. *Environmental Science & Technology*, 42(22), 8218–8223. doi:10.1021/es8016667



# SecureRandom Kütüphanesi Kullanarak Yazılımsal Trivium Oluşturma

Cemile İnce<sup>1\*</sup>, Kenan İnce<sup>2</sup>, Davut Hanbay<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4638-8501), [cemile.ince@inonu.edu.tr](mailto:cemile.ince@inonu.edu.tr)

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4709-9557), [kenanince@gmail.com](mailto:kenanince@gmail.com)

<sup>3</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2271-7865), [davut.hanbay@inonu.edu.tr](mailto:davut.hanbay@inonu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084005)

**ATIF/REFERENCE:** İnce, C., İnce, K. & Hanbay, D. (2022). SecureRandom Kütüphanesi Kullanarak Yazılımsal Trivium Oluşturma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 639-644.

## Öz

Bu çalışmada yazılımsal trivium yapısı oluşturulmuştur. Trivium, 3 adet LFSR'nin (Doğrusal geri beslemeli kaydırmalı yazmaç) çeşitli mantık kapılarıyla birbirine bağlanmasıyla oluşturulan ve rasgele sayı üretici olarak kullanılan yapılardan biridir. Trivium yapıları donanımsal veya yazılımsal oluşturulabilir. Yazılımsal trivium yapılarının ilk değerlerini (anahtar, başlangıç vektörü ve LFSR başlangıç içerikleri) belirlemek için literatürde önerilen çeşitli yöntem ve algoritmalar mevcuttur. Bu çalışmada mevcut çalışmalardan farklı olarak ilk şartlar Java SecureRandom kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada oluşturulan yazılımsal trivium yapısı kullanılarak üretilen sözde rasgele sayılar NIST SP 800-22 Rev.1a testleri ile analiz edilmiştir. Oluşturulan trivium yapısı kullanılarak üretilen ikili diziler rasgelelik testlerinden başarılı şekilde geçmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Trivium, LFSR (Linear Feedback Shift Register), SRSÜ (Sözde Rasgele Sayı Üreteçleri), NIST 800-22 Rev.1a, SHA (Secure Hash Algorithm).

## Generating Software Trivium Using SecureRandom Library

### Abstract

In this study, a software trivium structure was created. Trivium is one of the structures created by connecting 3 LFSRs (Linear feedback shift registers) with various logic gates and used as a random number generator. Trivium structures can be created in hardware or software. There are various methods and algorithms proposed in the literature to determine the initial values (key, initial vector and LFSR initial contents) of software trivium structures. In this study, unlike the existing studies, the first conditions were created by using the Java SecureRandom library. Pseudo-random numbers generated using the software trivium structure created in the study were analyzed with NIST SP 800-22 Rev.1a tests. The binary sequences produced using the generated trivium structure passed the randomness tests successfully.

**Keywords:** Trivium, LFSR (Linear Feedback Shift Register), PRNG (Pseudo-Random Number Generators), NIST 800-22 Rev.1a, SHA (Secure Hash Algorithm).

\* Sorumlu Yazar: [cemile.ince@inonu.edu.tr](mailto:cemile.ince@inonu.edu.tr)

## 1. Giriş

İnternet teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte aktarılan verilerin boyutları da aynı oranda artmaktadır. İletilen verilerin güvenliğinin sağlanması da veri iletişimi kadar önemli bir konudur. Kişisel verilerin korunmasının yasalarla güvence altına alındığı günümüzde retina, parmak izi, iris, DNA dizilimi gibi birçok kişisel veri iletim sırasında, veri tabanlarında şifreli bir şekilde tutulmalıdır. Şifrelemede anahtar alan oluşturmak için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bütün yaklaşımların temelinde rassallık kavramına rastlanır. Rasgele sayılar günlük hayatın her aşamasında kullanılır. Örneğin cep telefonumuz bir baz istasyonunu kaydederken baz istasyonu telefonun kimliğini doğrulamak için rasgele sayı gönderir. Ya da banka hesabınıza giriş yaparken kullanıcı tarayıcısı ile banka sunucusu kendi arasında rasgele sayı alışverişi ile haberleşir. Veri güvenliği söz konusu olan bütün alanlarda bir şekilde rassallık kavramı kullanılmaktadır. Bunun temel sebebi rassallık kavramının tahmin, taklit ve tekrar edilemez olmasıdır.

Hassas verilerin güvenliğinin sağlanması için birçok şifreleme yöntemi mevcuttur. Verilerin özelliklerine göre değişiklik gösteren bu yöntemler, genel olarak metin, resim, ses ve video şifreleme olarak kategorize edilebilir. Metin şifreleme yöntemleri genellikle resim ya da video şifrelemede çok başarılı değildir. Çünkü görüntü veya video verilerini oluşturan pikseller arasındaki korelasyon yüksektir (Özkaynak, 2011).

Hayatın dijitalleşmesi ile birlikte, kişisel verilere saldırı oranları yüksek oranda artmıştır. HIPA journal tarafından yapılan araştırmaya göre kişisel verilere yönelik saldırılar, diğer verilere yapılan saldırılara göre iki kat fazla artış göstermiştir (Arrachid vd., 2014). Kişisel verilerin korunmasında şifre, örüntü, parmak izi ve retina gibi anahtar alanları kullanılmaktadır. Parmak izi ve retina taklit edilemez olduğundan güvenli gibi görünse de bu verilerin saklanması farklı teknikleri gerektirir. Şifre veya örüntü kullanımında ise, rassallık kavramı ön plana çıkmaktadır.

Kriptoloji işlemlerinde anahtar alan olarak sıklıkla rasgele sayı üreteçleri (RSÜ) kullanılmaktadır. RSÜ'ler iki ana kategoriye incelenir:

1. Gerçek Rasgele Sayı Üreteçleri (GRSÜ)
2. Sözde Rasgele Sayı Üreteçleri (SRSÜ)

GRSÜ'ler genel olarak fiziksel olaylarla veya özel donanımlar kullanılarak oluşturulurlar. SRSÜ'ler ise, yazılımsal olarak oluşturulan sistemlerdir. GRSÜ'leri kullanmak SRSÜ'lere göre daha zor ve maliyetlidir. Ancak güvenlik analizlerinde SRSÜ'lerden daha iyi performans gösterirler. Fakat erişim ve kullanım kolaylığından SRSÜ'ler daha yaygın kullanım alanına sahiptirler.

SRSÜ'ler yazılım tabanlı üreteçlerdir. Genel olarak farklı algoritmalar olmakla birlikte, bir tohum değeri ile başlayan ve algoritmik olarak ihtiyaç duyulan uzunlukta sayı dizisini oluştururlar.

LFSR'ler genellikle devrelerin olası girdilerine test örüntüleri üretmek için kullanılır. Şifrelemede anahtar alan için üretilen rasgele sayıların güvenli olabilmesi için doğrusallık göstermemesi beklenir. LFSR'ler matematiksel olarak ilkel polinomlarla hesaplanır (Beletsky, 2021). LFSR doğrusal bir yapıya sahiptir. Bu sebeple LFSR ile üretilen ikili dizilerin istatistiksel rassallık testlerinden başarılı sonuç üretmesi mümkün değildir. Bu sebeple farklı uzunluklardaki LFSR yapıları kullanılarak karmaşıklık artırılır. Hesaplanma kolaylığından dolayı ihtiyaç duyulan uzunlukta LFSR 'ler üretilebilir.

Bütün bilimsel çalışmalarda olduğu gibi, RSÜ'lerin de kabul edilmiş ve tekrarlanabilir kriterleri olmalıdır. Bu anlamda rassallık test ortamları bulunmaktadır. Zaman içerisinde önerilmiş olan 15 istatistiksel test NIST tarafından SP 800-22 Rev.1a (NIST test ortamı olarak kullanılacaktır) adı altında bir test ortamı haline getirilmiştir. Literatürde en çok kullanılan ortam SP 800-22 Rev.1a ortamıdır.

NIST test ortamının bazı alt testlerinde bir milyon bit üzerinde uzunluk gereksinimi bulunmaktadır. Bu anlamda, RSÜ olarak LFSR kullanmak için, çok uzun LFSR yapıları kurulabilir. Ancak bu durum uygulanabilir olmayacaktır. Kısa boyutlu LFSR'ler, doğrusal yapısından ötürü tahmin ve tekrar edilebilir olacaktır. Bu durumda kriptografik olarak güvenli bir RSÜ olmayacaktır. Bu sebeple LFSR yapılarının kullanıldığı güvenli bir SRSÜ elde edebilmek için birden fazla LFSR farklı karıştırma ve birleştirme mekanizmaları ile birlikte kullanılır. Hatta bazı çalışmalarda en temel seviyede XOR 'lama ile de yeterli güvenlik seviyelerinin sağlandığı belirtilmiştir (Manikya vd., 2021). Eşzamanlı şifreleme sistemlerinin gerekli olduğu alanlarda işlem hızı büyük önem taşımaktadır. LFSR'ler hızlı sistemler olduğundan yaygın olarak kullanılırlar. Güçlü şifreleme için LFSR'nin kombinasyon halinde kullanıldığı ve literatürde trivium diye adlandırılan kombine LFSR'ler de vardır. RC4, A5/3, Seal vb. algoritmalar güncel olarak kullanılmaktadırlar (İslam&Hak, 2016). LFSR yapıları özellikle akış şifrelemede kullanıma uygundur. Çünkü doğrusal yapısı ile, doğrusal veri akışı üzerinde uygulanması kolaydır. Ayrıca FPGA geliştirme kartları kullanılarak gerçekleştirilebilir ve bu RSÜ'in istatistiksel rassallık testlerinden geçtiği çalışmalar mevcuttur (Ravichandran vd., 2018).

LFSR görüntü şifreleme uygulamasında yine rasgele sayı üreteci olarak kullanılmaktadır. (Mondal vd., 2016), çalışmalarında, permütasyon-ikame mimarisi ile LFSR kullanarak oldukça güvenli olduğunu belirtilen bir şifreleme algoritması önermektedir. Görüntü pikselleri LFSR yardımı ile karıştırılır. Elde edilen ara görüntü piksel değerleriyle RC4 algoritmasının ürettiği değerler XOR işlemine tabi tutularak üretilen rasgele sayı dizisinin güvenlik analizleri gerçekleştirilmiş ve önerilen yöntem güvenli olduğu belirtilmiştir.

LFSR'nin matematiksel temeli ilkel polinomlardır. Galois ve Fibonacci matrisleri kullanılarak üretilen PRNG çalışmasında, üreteç çeşitliliğini artırarak kriptografik açıdan güçlü LFSR'ler elde edildiği belirtilmiştir (Goresky & Klapper, 2002). Böylece ilkel polinomdan ilkel olmayan polinom üretilmiş ve indirgenemez polinom kullanılmıştır. Sonuç olarak indirgenemez polinom ile Galois üreteci uygulanmıştır. Galois ve Fibonacci matrisleri kullanılarak oluşturulan bir başka LFSR çalışmasında (Chakroboty vd., 2014), iki modun (Fibonacci ve Galois) aynı kayıta gerçekleştirilmesini öneren çalışma kaotik lojistik haritası kullanılarak oluşturulmuştur. Aynı modlara sahip rasgele sayılara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği açıklanmıştır. Sonuç olarak üretilen 149 bitlik anahtarın büyük boyutlu olması sayesinde her türlü kaba kuvvet saldırılarına karşı dirençli olduğu belirtilmiştir.

Medikal görüntü şifrelemede kullanılmak üzere rasgele sayı üreten bir başka çalışmada ise şifreleme için kaotik haritaları ve LFSR'yi birlikte kullanarak sözde iki rasgele sayı dizisi oluşturulmuştur (Zode & Deshmukh, 2019). Daha sonra bu iki dizi XOR işlemine tabi tutularak güvenli anahtar elde edilmiştir. Kaotik haritalar, algoritmaya rasgele davranış sağlarken, başlangıç koşullarına aşırı hassas olması da sisteme ek güvenlik katkısında bulunmuştur.

LFSR yapıların birbirlerine and, or, xor gibi mantıksal kapılarla bağlandığı yapılar da mevcuttur. Bunlar, trivium yapılar

olarak adlandırılır. (Zode, Deshmukh, 2019) çalışmasında, FPGA temelli trivium ile rasgele üretilen sayılar, NIST test ortamından geçirilerek başarılı sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. (Garipcan vd.,2017), çalışmasında sonuç olarak Nist test ortamında 13 alt testten başarılı bir şekilde geçirilmiş ancak NIST testlerinin tamamını kapsayan bir çalışma olmamıştır. Nist test ortamı, 15 alt testten oluşmakta ve bir testin geçirilmemiş olması, üretilen sayıların yeterli güzel istatistiksel özellik göstermemesi anlamını taşımaktadır.

LFSR yapılarındaki ortak sorun sayılar arasında deterministik bir yapının bulunmasıdır. Üretilen sayılar arasındaki korelasyonu ortadan kaldırmak için trivium yapısını kullanan (Kaya, 2020), çalışmasında, GRSÜ üretmek için memristor ve trivium tabanlı elde edilen sayılar NIST test ortamı ile test edilmiştir. Sonuçta üretilen rasgele sayıların birçok alanda kullanılabilirliği ifade edilmiştir.

Görüntü şifrelemede anahtar alan oluşturmak için kullanılan trivium yapısını kullanan bir diğer çalışmada ise (Etem&Kaya, 2020), SRSÜ tasarımı için LCG algoritması oluşturulduktan sonra trivium ile son işlemden geçirilerek elde edilen sayılar NIST test ortamından geçirilmiştir. Sonuçlar NIST test ortamının 15 alt testinden başarı ile geçememiştir. Başarılı rasgele sayılar elde etmek için LCG algoritmasından geçirilmiştir. Bu çalışmanın dezavantajı göreceli fazladan işlem yüküdür. Zira trivium başlı başına karmaşık işlemler içeren bir yapıdır ve ekstra LCG algoritması da eklenince görüntü şifreleme gibi senkron yapı şifrelemenin önemli olduğu sistemlerde kullanımı kısıtlı olabilecektir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, rasgele sayı üreten LFSR ve trivium yapıları kıyaslanmıştır. Doğrusal yapılar olan LFSR'lerin doğrusallığı, SRSÜ'lerin tahmin edilmez olması özelliğine aykırıdır. Bu durumu düzeltmek için LFSR'ler mantık kapılarıyla birleştirilerek trivium yapıları oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan triviumlar, iyi istatistiksel özelliklere sahiptir.

### 2.1. LFSR (Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Yazmaç)

LFSR, maksimum periyotlu ikili diziler üreten doğrusal yapılardır. Periyot, kendini tekrar etmeye başlamadan önce üretilen bit dizisi uzunluğudur. Geri beslemeli denilmesinin sebebi ise kaydedicinin bazı bitlerinin özel mantıksal işlemlere tabi tutularak çıktı bitlerinin elde edilmesidir. LFSR'ler ile donanımsal yada yazılımsal olarak SRSÜ kaynağı olarak kullanılabilir. Donanımsal olarak flip flop ve xor kapıları ile üretilen SRSÜ, yazılımsal olarak çeşitli yöntem ve algoritmalarla elde edilirler. LFSR tarafından türetilen diziler, geleneksel Berlekamp Massey algoritması kullanılarak oluşturulur (Berlekamp, 2015). Bu algoritma temel olarak, belirli bir ikili dizi çıkışı için en kısa LFSR yi bulan bir algoritmadır. Ayrıca algoritma rasgele dizi üreten yapı için minimal matematiksel polinomu da bulur. Bu algoritma sıfır olmayan tüm öğelerin bir çarpımsal tersi olması gerektiğini de söyler (Reeds & Sloane, 1985). Temel seviyede bir LFSR'nin görüntüsü Şekil 1 'deki gibi gösterilebilir. Ayrıca şekildedeki başlangıç değerlerine göre 10 bit üretim sonucu Tablo 1'de hesaplanarak sunulmuştur.



Şekil 1. Örnek bir LFSR

Şekil 1 deki örnek bitler için LFSR Tablo 1'de sunulduğu şekilde sonuçlar üretir.

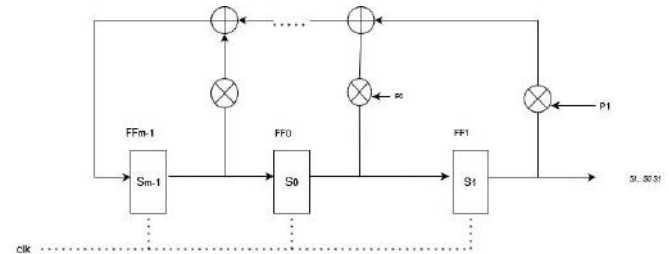
Tablo 1. LFSR 'nin 14 adım çalıştırılması sonucu elde edilen ikili bit çıkış dizisi

İşlem 1	İşlem 2	Bit Dizisi	Çıkış Biti	Toplam Çıkış Bit Dizisi (Si)
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	01011	1	1
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	00101	1	11
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	10010	1	111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	01001	0	0111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	00100	1	10111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	00010	0	010111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	00001	0	0010111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	10000	1	10010111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	01000	0	010010111
Tüm bitler bir bit sağa	$S_1=S_2 \oplus S_5$	10100	0	0010010111

LFSR'ler den faydalanarak sistemin ilkel polinomu da elde edilebilir. Şekil 1 deki örnek LFSR de hangi bitlerle işlem yapılmışsa ilkel polinom da ona göre oluşturulur. Şekil 1 de 1, 2 ve 5. Bitler ile işlem yapıldığından derecesi 5 olan ilkel polinom  $x^5 + x^2 + x^1$  'dir. Bu ilkel polinomda dizilerin maksimum uzunluğu  $2^n - 1$  'dir. Tablo 1 için üretilecek maksimum bit uzunluğu  $2^5 - 1 = 31$  bittir. İlkel polinom hesaplama için genel denklem Denklem 1'deki gibi elde edilir:

$$P(x) = x^m + P_{m-1}x^{m-1} + \dots + P_1x + P_0 \quad (1)$$

Bir LFSR nin donanım mantığı Şekil 2 deki gibidir. Şekil 2 incelendiği zaman geri besleme yolunun aktif olup olmaması  $P_0, P_1, P_2, P_3, \dots, P_{m-1}$  katsayılarının belirlendiği görülür.



Şekil 2. m dereceli LFSR yapısı

$$P_i = \begin{cases} 1; & \text{kapalı anahtar} \\ 0; & \text{açık anahtar} \end{cases}$$

$$S_m = S_{m-1}P_{m-1} + \dots + S_1P_1 + S_0P_0 \quad (2)$$

$$S_{m+1} = S_mP_{m-1} + \dots + S_2P_1 + S_1P_0 \quad (3)$$

$$S_{i+m} = \sum_{j=0}^{m-1} P_j \cdot S_{i+j} \quad (4)$$

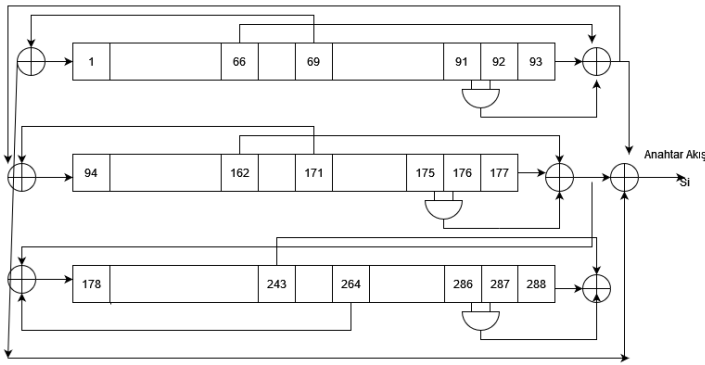
NIST test ortamı Linear Complexity (doğrusal karmaşıklık) testi LFSR yapıları ile üretilmiş bit dizilerinin bu doğrusallığını tespit edecek ve başarısız sonuç verecektir. Yani bir anahtar alan bit dizisi LFSR ile üretilmişse NIST testlerinden geçirildiğinde en azından bu testi geçmeyeceği beklenen bir durumdur. LFSR nin doğrusallık dezavantajını ortadan kaldırmak için literatürde eSTREAM yapıları önerilmiştir. eSTREAM yapılarından biri de trivium yapılarıdır.

## 2.2. Trivium

Trivium yapısı aslında donanım odaklı senkron akış şifreli bir yapıdır. LFSR gibi yapılar doğrusallık özellik gösterdiğinden ve akış şifresi oluşturmada kullanım uygunluğunun geliştirilmesi fikriyle ortaya çıkmıştır. Basit tasarımların üretilmesi kolay olsa da saldırılara karşı direnci düşük olur. LFSR'nin çeşitli kullanım versiyonları denenerek önerilen trivium yapıları gelişim sürecinde LFSR'lerden daha güvenli olduğu ortaya konulmuştur.

Trivium yapıları, 80 bitlik başlangıç değeriyle  $2^{64}$  bite kadar anahtar akışı oluşturmak üzere tasarlanmış senkron bir yapıdır. Doğrusal LFSR'nin doğrusal olmayan hale dönüştürülmüş versiyonu olan trivium, toplamda 3 farklı LFSR'nin birbirine 3 and kapısı, 7 xor kapısı ile bağlanması sonucu elde edilir. Toplamda 288 kaydediciye sahiptir. Birinci LFSR 'de 93, ikincide 84, son olarak üçüncüde 111 kaydedici mevcuttur. Bu yapılar LFSR'lerden farklı olarak doğrusal değildirler. Trivium yapıları, aynı zamanda eş zamanlı akış şifrelemeye örnektir. Saldırırganlar saldırılarını gerçekleştirirken anahtar akış bitleri arasındaki korelasyona bakmak en temel yöntemlerdendir. Bu yapıda açık bir şekilde Denklem 5'te verilen işlem tekrarlamadan adımından ötürü sonuçlar arası korelasyon mevcuttur. Trivium yapısı Şekil 3'teki gibidir.

$$z_i = S_{66} + S_{93} + S_{162} + S_{177} + S_{243} + S_{288} \quad (5)$$



Şekil 3. Genel Trivium Yapısı

## 2.3. Akış Şifresi Oluşturma

Trivium yapısı 288 bitlik kaydediciden oluşur ( $S_1 \dots \dots S_{288}$ ). Şekil 3' teki trivium yapısının sözde kodunu Algoritma 1'deki gibi tanımlamak mümkündür.

Algoritma 1: Trivium yapısı

1.  $T_1 \leftarrow S_{66} + S_{93}$
2.  $T_2 \leftarrow S_{162} + S_{177}$
3.  $T_3 \leftarrow S_{243} + S_{288}$
4.  $Z_i \leftarrow T_1 + T_2 + T_3$
5.  $T_1 \leftarrow T_1 + S_{91} \cdot S_{92} + S_{171}$

6.  $T_2 \leftarrow T_2 + S_{175} \cdot S_{176} + S_{264}$
7.  $T_3 \leftarrow T_3 \cdot S_{286} \cdot S_{287} + S_{69}$
8.  $(S_1, S_2, S_3, \dots, S_{93}) \leftarrow (T_3, S_1, S_2, \dots, S_{92})$
9.  $(S_{94}, S_{95}, S_{96}, \dots, S_{177}) \leftarrow (T_1, S_{94}, S_{95}, \dots, S_{176})$
10.  $(S_{178}, S_{179}, S_{180}, \dots, S_{177}) \leftarrow (T_2, S_{178}, S_{179}, \dots, S_{287})$

## 3. Uygulama

### 3.1. İstatistik Testler

Şifrelemede anahtar alan belirleme, sistemin temel olarak güvenliğinin sağlanmasındaki en önemli araçtır. Şifrelemede RSÜ yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir RSÜ, donanımsal ya da yazılımsal olarak üretilmiş olsa da istatistiki olarak üretilen bu sayıların güvenli sayılabilmesi için asgari olarak literatürde kabul görmüş istatistiki testlerden geçmesi gerekmektedir. Literatürde kullanılan birçok istatistiki test mevcuttur. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan testler NIST test ortamı, ENTU01, Diehard testleridir (İnce, 2021). NIST test ortamı 15 alt testten oluşmaktadır. Bu testi oluşturan alt testlerin tamamının test edilebilmesi için test edilecek rasgele bit stringinin bir milyon bit olması gerekmektedir (Bassham vd., 2010). NIST test ortamı Tablo 2'deki alt testlerden oluşmaktadır.

### 3.2. LFSR Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Bit Dizilerinin NIST Test Ortamı Analizi

Bir milyon bitlik ikili diziler LFSR ile üretilip, NIST testlerinden geçirildiği zaman, doğrusal karmaşıklık testinden geçmediği görülmüştür. LFSR ile üretilen bir milyon bitlik rasgele ikili dizinin NIST test ortamı testlerinden geçirildikten sonra sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

Tablo 2. LFSR mimarisi değiştirilerek üretilen bit dizisinin NIST testlerinden geçirilmesi

Testler	LFSR1 p-value	LFSR2 p-value
Frekans Testi	0.827603	0.712746
Blok Frekans Testi	0.515098	0.228180
Akış Testi	0.725929	0.037259
Bir Blok İçerisinde En Uzun Bitler Akış Testi	0.215875	0.033557
İkili matris derece Testi	0.536087	0.866045
Ayrık Fourier Dönüşüm Testi	0.00000	0.000000
Örtüşmeyen Şablon Eşleştirme Testi	0.225253	0.211102
Örtüşen Şablon Eşleştirme Testi	0.357972	0.067854
Maruer'in Evrensel İstatistik Testi	0.170459	0.770143
Doğrusal Karmaşıklık Testi	0.000000	0.761597
Seri Test	0.724430	0.037247
Yaklaşık Entropi Testi	0.448508	0.124680
Birikimli Toplamlar Testi	0.975575	0.534422
	0.842289	0.866787
Rasgele Gezinimler Testi	0.340662	0.771751
	0.929416	0.834199
Rasgele Gezinimler Değişken Testi	0.572479	0.765025
	0.484014	0.623404

LFSR2, LFSR1 yapısında kullanılan mantık kapılarının değiştirilmesiyle elde edilmiş yeni LFSR yapısıdır. Kullanılan mantık kapıları değiştirildiği zaman doğrusallık testini geçebilen LFSR2, ayrık fourier testini geçememiştir. Bu durum sonrası geliştirilen trivium yapıları doğrusallığı bozmak için geliştirilmiş yapılarıdır. Dezavantaj olarak fazla işlem yükü gerektiriler ancak

LFSR'lerin tek başına kullanılmalarından çok daha güvenli sonuçlar üretirler.

### 3.3. Trivium Kullanılarak Oluşturulan Bit Dizilerinin NIST İstatistik Testlerinden Geçirilmesi

Şifreleme işlemleri yapılırken genel olarak mantıksal elemanlardan ve matematiksel işlemlerden faydalanılır. Trivium yapıları 288 bitlik kaydediciye sahiptir. Bu yapılar e STREAM olarak adlandırılan şifreleme algoritmalarının irdelendiği ve fazlara ayrıldığı yapılardan donanım temelli bir yapı olup hem faz1 hem de faz 3 de kullanılan yapılardandır (Soto & Bassam, 2020). Trivium yapısı kullanılarak elde edilen bir milyon ikili bit dizisi NIST testlerinden geçirildiği zaman elde edilen sonuçlar Tablo 3' teki gibi değişmiştir

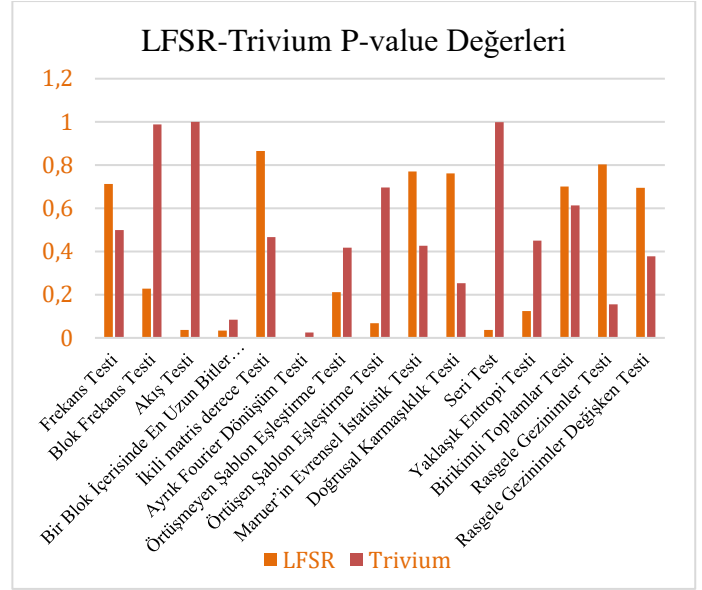
Tablo 3. Trivium yapıları kullanılarak üretilen bit dizisinin NIST testlerinden geçirilmesi

Testler	P-value Değerleri	Sonuç
Frekans Testi	0.499682	Başarılı
Blok Frekans Testi	0.988852	Başarılı
Akış Testi	0.999566	Başarılı
Bir Blok İçerisinde En Uzun Bitler Akış Testi	0.083540	Başarılı
İkili matris derece Testi	0.466400	Başarılı
Ayrık Fourier Dönüşüm Testi	0.025473	Başarılı
Örtüşmeyen Şablon Eşleştirme Testi	0.418305	Başarılı
Örtüşen Şablon Eşleştirme Testi	0.696056	Başarılı
Maruer'in Evrensel İstatistik Testi	0.426185	Başarılı
Doğrusal Karmaşıklık Testi	0.253527	Başarılı
Seri Test	0.999202	Başarılı
Yaklaşık Entropi Testi	0.449624	Başarılı
Birikimli Toplamlar Testi	0.764517 0.461968	Başarılı
Rasgele Gezinimler Testi	0.115473 0.193994	Başarılı
Rasgele Gezinimler Değişken Testi	0.225414 0.529061	Başarılı

Tablo 5 değerleri incelendiğinde trivium yapısı ile üretilen bir milyon bitlik ikili dizinin NIST testlerinin tamamından başarı ile geçtiği görülmüştür. Ayrıca LFSR mimarisine sahip triviumun doğrusallık özelliği göstermediği, böylece şifrelemede kullanılabilceği görülmüştür. Trivium üç farklı uzunlukta LFSR'nin mantık kapıları ile birbirine bağlanarak doğrusallık bozma yöntemidir denilebilir. Triviumun 288 bitlik ilk değerlerinin belirlenmesinde çeşitli yöntem ve algoritmalar mevcuttur. Bizim çalışmamızda Java SecureRandom kütüphanesinden elde edilen rasgele sayılar ile başlangıç değerleri belirlenmiştir. Literatürde RC4, LCG, A5/1, A5/3 vb. gibi algoritmalar kullanılarak geliştirilen trivium yapıları mevcuttur (Etem & Kaya, 2020) (Canniere & Preneel, 2008) (Deb & Bhuyon, 2021). Çalışmamızın diğer yöntemlerden fark iki ana başlıkta toplanabilir:

1. Yazılımsal olarak bir programlama dilinin içerisinde standart olarak sunulan bir kütüphane ile desteklenmiş olması. Böylece trivium yapılarını daha ulaşılabilir hale getirilmesi.
2. Trivium yapısının tamamen yazılım alana çekildiğinden ötürü daha hızlı kullanılabilmesi ve daha hızlı çalışması.

LFSR ve trivium için p-value değerlerinin kıyaslaması Şekil 5'deki gibidir.



Şekil 5. LFSR ve Trivium yapılarının NIST testleri P-value değerlerinin kıyaslanması

Tablo 3 trivium yapısının yazılımsal olarak da başarılı olduğunu gösterir. Ayrıca LFSR'deki doğrusallık testini geçemeyen ikili sayı dizisinin trivium yapısında başarılı olarak testi geçtiği, ayrık fourier testini de geçebilecek rastsallıkta sayılar üretilebildiği görülmüştür.

## 4. Bulgular

Trivium, LFSR yapılarındaki doğrusallık dezavantajlarını ortadan kaldıran bir yapıdır. Literatürde trivium başlangıç değerlerini üreten birçok algoritma ve yöntem mevcuttur. Bu çalışmada Java SecureRandom kütüphanesi kullanılarak elde edilmiş rasgele değerler başlangıç değerleri olarak kullanılarak bir milyon bitlik ikili veriler elde edilmiş ve rassallık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak önerilen sistem NIST test ortamında başarı sağlamıştır. Java SecureRandom kütüphanesi kullanılırken SHA1PRNG algoritması seçilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada SecureRandom kütüphanesi kullanılarak yazılımsal uygulamalarda daha hızlı performans elde edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca yazılımsal olarak üretilen yapıların donanımsal olarak üretilen yapılara göre maliyetsiz olması da büyük avantajlardır.

## 5. Tartışma

Bu çalışmada trivium yapılarındaki başlangıç değeri elde etme yöntemlerinden daha önce denenmediğini gözlemlediğimiz Java SecureRandom kütüphanesi denenmiştir. Sonuçlar başarılıdır ve işlem yükü azaltıldığından daha hızlıdır. Özellikle senkron şifreleme gereken alanlarda işlem yükünü azaltıp hızlı sonuçlar elde edileceği kanaatindeyiz.

## 6. Sonuçlar

NIST 800-22 Rev 1a. istatistiki testlerini başarılı şekilde geçen yazılımsal trivium yapıları, donanımsal trivium yapılarına göre tercih sebebi olabilir. Maliyetsiz ve hızlı olması özellikleri ile tercih sebebi olarak kullanılabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Daire Başkanlığı'nın (İnönü BAP) FBG-2020- 2143 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Değerli destekleri için İnönü Üniversitesi İnönü BAP'a teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynakça

- Özkaynak F. (2018). *Brief review on application of nonlinear dynamics in image encryption*, Nonlinear Dynamics, 1573-269X, <https://doi.org/10.1007/s11071-018-4056-x>
- Arrachid K. Et. Al (2014). Arrachid K, Mohamed Mejri M., Sadio T.E., AVTAC: A Framework for Automatic Auditing of Access Control in Windows and Linux Systems, *New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques* page. 672-691 doi: 10.3233/978-1-61499-434-3-672
- Beletsky A. (2021). *Generalized Galois-Fibonacci Matrix Generators Pseudo-Random Sequences*, Computer Network and Information Security, 6,57-69, DOI: 10.5815/ijcnis.2021.06.05
- Manikya D.M. (2021). D. M. Manikya, M. Jagruthi, R. Anjum and A. K. K, "Design of Test Compression for Multiple Scan Chains Circuits," 2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSCAN53069.2021.9526387.
- S. Islam and I. U. Haq (2016). "Cube attack on Trivium and A5/1 stream ciphers," 2016 13th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST), pp. 409-415, doi: 10.1109/IBCAST.2016.7429911.
- Ravichandran, D., Rajagopalan, S., Upadhyay, H. N., Rayappan, J. B. B., & Amirtharajan, R. (2018). Encrypted Biography of Biomedical Image - a Pentlayer Cryptosystem on FPGA. *Journal of Signal Processing Systems*, 91(5), 475–501. <https://doi.org/10.1007/s11265-018-1337-z>
- Mondal, B., Sinha, N., & Mandal, T. (2016). A secure image encryption algorithm using LFSR and RC4 key stream generator. In *Proceedings of 3rd International Conference on Advanced Computing, Networking and Informatics, ICACNI 2015* (pp. 227-237). (Smart Innovation, Systems and Technologies; Vol. 43). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2538-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2538-6_24)
- Goresky M. and Klapper A. M. (2002). "Fibonacci and Galois representations of feedback-with-carry shift registers," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 48, no. 11, pp. 2826-2836, Nov. 2002, doi: 10.1109/TIT.2002.804048.
- Chakraborty A., Mazumdar B., Mukhopadhyay D. (2014) *Fibonacci LFSR vs. Galois LFSR: Which is More Vulnerable to Power Attacks?*. In: Chakraborty R.S., Matyas V., Schaumont P. (eds) *Security, Privacy, and Applied Cryptography Engineering*. SPACE 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8804. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12060-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12060-7_2)
- P. Zode, R. Deshmukh (2019). "FPGA Based Novel True Random Number Generator using LFSR with Dynamic Seed," 2019 IEEE 16th India Council International Conference (INDICON), 2019, pp. 1-3, doi: 10.1109/INDICON47234.2019.9029049.
- Garipcan, A. M. , Erdem, E. & Tuncer, T. (2017). Donanım Tabanlı Trivium Akış Şifreleme Algoritmasının FPGA Ortamında Gerçekleştirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 29 (2) , 119-130
- Kaya, T. (2020). "Memristor and Trivium-based true random number generator", *Physica A Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 542, 2020. doi:10.1016/j.physa.2019.124071.
- Etem T., Kaya T. (2020). *Görüntü Şifreleme için Trivium Doğrusal Eşlenik Üretici Tabanlı Bit Üretimi* , Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 32(1), 287-294
- Berlekamp, Elwyn R. (2015). *Algebraic Coding Theory - Revised Edition*, World Scientific Publishing Co., Inc. USA, ISBN: 9789814635899
- Reeds, J. A.; Sloane, N. J. A. (1985), "Shift-Register Synthesis (Modulo n)", *SIAM Journal on Computing*, 14 (3): 505–513, CiteSeerX 10.1.1.48.4652, doi:10.1137/0214038
- İnce, K. (2021). *Security Analysis of Java SecureRandom Library* , Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Special Issue 2021 (Araconf), 157-160. DOI: 10.31590/ejosat.900956.
- Bassham III, L. E., Rukhin, A. L., Soto, J., Nechvatal, J. R., Smid, M. E., Barker, E. B., ... & Vo, S. (2010). Sp 800-22 rev. 1a. a statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications. <https://www.ecrypt.eu.org/stream/> (Link erişim:23.01.2022 14:17)
- Soto, J., & Bassham, L. (2000). *Randomness testing of the advanced encryption standard finalist candidates*. Booz-Allen And Hamilton Inc Mclean Va.
- Cannièrè, C. D., & Preneel, B. (2008). Trivium. In *New stream cipher designs* (pp. 244-266). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Deb, S., Bhuyan, B. (2021). Chaos-based medical image encryption scheme using special nonlinear filtering function based LFSR. *Multimed Tools Appl* 80, 19803–19826. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10308-7>



# Termik Santral Kaynaklı Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Baca Gazı Arıtma Teknolojisi: Örnek Çalışma Seyitömer Termik Santrali Uygulaması

Şeyma, Kaçmaz<sup>1</sup>, Havva Demirpolat<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Çelikler Holding, Ankara, Türkiye,(ORCID: 0000-0000-0000-0000), [seyma.kacmaz88@gmail.com](mailto:seyma.kacmaz88@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Selçuk Üniversitesi,Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2981-9867), [hdemirpolat@selcuk.edu.tr](mailto:hdemirpolat@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, ICAENS 2022,) March 10-13,2022)

(DOI:10.31590/ejosat.1084072)

**ATIF/REFERENCE:** Kaçmaz, Ş. & Demirpolat, H. (2022). Termik Santral Kaynaklı Çevre Kirliliğini Önlemek İçin Baca Gazı Arıtma Teknolojisi: Örnek Çalışma Seyitömer Termik Santrali Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 645-651.

## Öz

Bu çalışmada termik santrallerde yanma sonucu oluşan hava ve su kirliliğini önlemek üzere geliştirilen baca arıtma teknolojileri incelenmiştir. Bir örnek çalışma olarak hâlihazırda baca gazı desülfürizasyon sistemi devreye alınan ve yakıt olarak yerli linyitin kullanıldığı Seyitömer Termik Santrali incelenmiştir. Ekonomik ve uygulanabilir olması bakımından ıslak kireçtaşı yöntemi uygulanan santral desülfürizasyon ünitesinin verimlilik bakımından bir ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesisinin mevcut üretime oranı 0.02 olarak hesaplanmış ve her bir ünite için yönetmelikte belirtilen yaklaşık %95 verim yakalanabilmektedir. Böylelikle kullanılan linyit özellikleri ve yüksek kükürt oranlarına bağlı olarak devreye alınan ıslak desülfürizasyon sistemi sayesinde santralde alınabilecek ek önlemler ve yardımcı ünitelerden kaynaklanan tüketimler azaltılarak santralde her bir ünite başına üretim oranı düşebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** desülfürizasyon, Seyitömer, termik santral

## Flue Gas Treatment Technology to Prevent Environmental Pollution From Thermal Power Plant: A Case Study Seyitömer Thermal Power Plant Application

### Abstract

In this study, desulfurization methods were examined to prevent air and water pollution caused by combustion from thermal power plants. Seyitömer Thermal Power Plant was investigated as a case study, which have a flue gas desulphurization system and uses native lignite as fuel. The wet-limestone method was carried out to reduce the adverse effects of sulfur dioxide. Energy consumption was evaluated by efficiency and operating cost each unit. The ratio of the Flue Gas Desulphurization (FGD) facility to the current generation is calculated as 0.02, approximately 95% efficiency can be achieved above the desulphurization efficiency specified in the regulation. Thus, when the additional measures that can be taken in thermal power plants operating at low capacity and the consumption caused by auxiliary units are reduced, the production rate per unit in the power plant will be decreased.

**Keywords:** desulphurization, Seyitömer, thermal power plant

\*Sorumlu Yazar: [hdemirpolat@selcuk.edu.tr](mailto:hdemirpolat@selcuk.edu.tr)



## 1. Giriş

Dünyada artan nüfus ve sanayileşme enerjiye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Enerji, üretim için önemli bir parametre olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini ortaya koyan temel göstergelerden biridir. Harcanan enerjiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir [1, 2]. Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik, termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Petrol, kömür, doğalgaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgar birincil enerji kaynakları iken ikincil (Seconder) enerji kaynakları elektrik, benzin, mazot, motorin, kokkömürü, ikincil kömür, petrokok, havagazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak tanımlanabilir.[3]. Önümüzdeki 20 yıl içinde enerji taleplerinin %40 oranında artması öngörülmektedir. Kömür ve petrol tüketimi 2019 ve 2020 yılında %7 oranında bir azalış göstermiş olsa da enerji ihtiyacının yaklaşık %70 oranına cevap vermektedir. [4] 20 yıllık enerji projeksiyonunda kömürün payında %3.2 oranında bir azalma beklenmektedir ancak mevcut jeopolitik ve ekonomik kriterler birincil enerji kaynaklarının içerisinde kömürün ağırlıklı olarak mevcudiyetini koruyacağını göstermektedir. Uzun süreli kömüre dayalı elektrik enerjisi üretiminde en önemli konu sera gazları emisyonlarının kabul edilebilir bir seviyede tutulabilmesidir. Bu amaçla alınacak önlemler ile mevcut enerji santrallerin iyileştirilmesi, yeni yönetmelik ve yasalarla bu durumu kontrol altında tutarak enerji arz çeşitliliğini korumak enerji politikası olarak pek çok ülkede kabul görmektedir. [5] Türkiye'de lisanslı 367 adet termik santralin 51 tanesinde yakıtlı olarak kömür ile üretim yapılmakta ve yıllık 107.597GWh olarak kayıtlara geçmektedir. [4] 29 Tane yerli kömür yakıtlı termik santralının yanı sıra ithal kömür yakan santrallerimiz de mevcuttur. Ülkemizin sahip olduğu yaklaşık 19 milyar ton yerli linyit rezervi enerji üretimi bakımından kıymetlidir ve önümüzdeki dönemde de santral yatırımlarının devam edeceği öngörülebilmektedir. Ancak ülkemizde çıkarılan linyitin ısı değeri yaklaşık olarak 2000Kcal/kg ve yüksek kükürt içeriği (%1,38-4,65) hava ve su kaynaklarının temizliği ve insan sağlığı için ekstra önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yerli linyit kaynaklarındaki yüksek kükürt içeriği; kömür santrallerinde yanma sonucunda kükürtlü bileşik oluşumuna sebep olmaktadır.[5] Oluşan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)en önemli gaz kirliliği nedenidir. İnsan sağlığı üzerinde solunum yolu hastalıkları ve solunum güçlüğüünün yanı sıra kalp-damar hastalıklarında da olumsuz etkileri vardır.Çevre etkileri ise asit birikimi ve asit yağmurları ile birlikte su ekosisteminin asidifikasyonudur. Asidifikasyon uzun vadede canlı tüm organizmaları olumsuz etkilemektedir. İnsan aktivitelerinin sonucu her yıl SO<sub>2</sub> emisyonları artmaktadır. Bu sebeple özellikle termik santrallerde çevre ve insan sağlığını korumak amaçlı düzenlemeler ve önlemler elzem olmaktadır. Bu kapsamda büyük yakma tesisleri Yönetmeliği 2010 yılı 27605 sayılı Resmi gazetede yayımlanmış ve 2019 yılında 400mg/Nm<sup>3</sup> olarak uygulamaya almıştır. Ayrıca Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Toplam ısı gücü bakımından 300MWt ve daha fazla olan santraller için ek bir yönetmelik hazırlanmıştır.[6] Termik santrallerde SO<sub>2</sub>

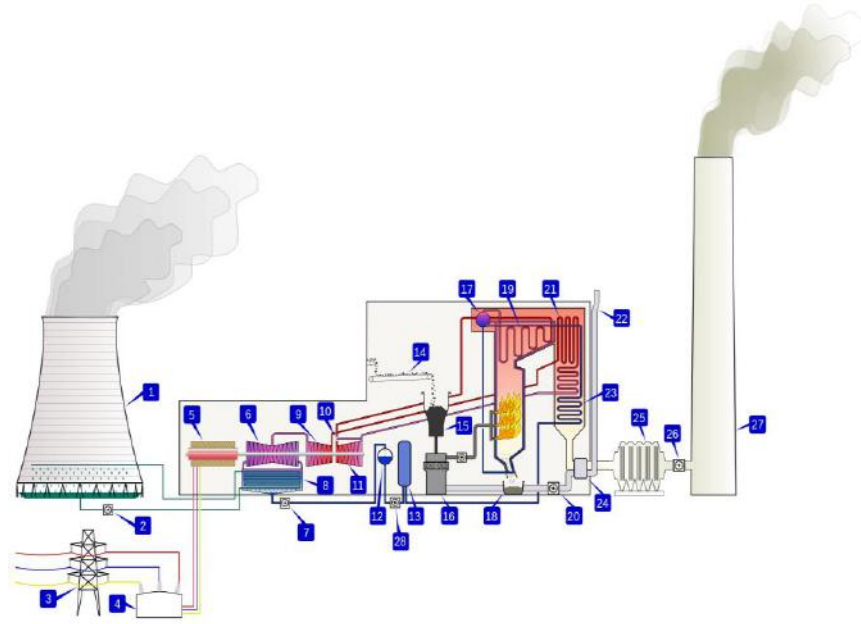
emisyonlarının kontrolü maden aşamasında veya baca gazı olarak atılımı sırasında kontrol edilebilir. Genellikle bacadan atmosfere atılmadan önce giderilmesi daha uygun ve ekonomik olmaktadır. Islak ve kuru olarak tanımlanan baca gazı desülfürizasyon (BGD-BGD) prosesi günümüzde uygulanmaktadır.[7] BGD sistemini ve enerji tüketimini tahmin etmek üzere matematiksel model oluşturulmuştur. Tahmini tüketim miktarları ve dağılımının santraller için enerji tasarrufu araştırmalarına bir temel oluşturmaktadır. [8,9] Bu çalışmada işletmesi Çelikler Holding A.Ş ye ait 600MW üretim kapasiteli Seyitömer Termik Santraline uygulanan desülfürizasyon prosesi incelenmiştir. Tahmini tüketim dağılımları ve iyileştirilebilir özellikler araştırılmıştır.

## 2. Termik Santraller

Termik santraller enerji dönüşümünün gerçekleştiği sistemlerdir. Bir termik santralde kullanılan yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji ısı enerjisine, bu ısı enerjisi mekanik enerjiye, mekanik enerji de elektrik enerjisine çevrilir. Bu dönüşümde linyit, taş kömürü, petrol, doğalgaz ve türetilmiş gazlar yakıt olarak kullanılmaktadır. Termik santraller buhar çevrimli güç santralleridir genel bir akım şeması Şekil 1 de görülmektedir. Kömür yakıtlı termik santraller iki ayrı çevrimde incelenebilir. Birincisi santralin ana çevrimini oluşturan, üzerinde santral verimini artırmaya yönelik iyileştirmeler yapılmış Rankine çevrimidir. Bu çevrimde akışkan olarak demineralize edilmiş su kullanılır. Santralde elektrik üretimini sağlayan bu çevrim, en az 5 ana eleman olan pompa, kazan, jeneratör, türbin ve yoğuşturucudan oluşmalıdır. İkinci çevrim buhar türbininden çıkan suyun yoğuşturulması için kullanılır. Bu çevrimde akışkan soğutma suyu, soğutma suyu pompası ile basılır ve kondenserden geçen ana çevrim suyunun yoğuşması sağlanır. Isınan soğutma suyunun ise soğutma kulesi aracılığıyla ısı alınır. Deniz veya nehir gibi doğal su kaynakları, termik santrallerde soğutma suyu olarak kullanılabilir. Bu durumda soğutma kulesi kullanımına gerek kalmaz. Isınan su doğal dengelyi sağlamak üzere tekrar deniz veya nehre aktarılmalıdır.

### 2.1.1. Termik Santrallerde Klasik Fosil Kaynaklı Yakıtlar ve Çevresel Etkileri(Classical Fossil Fuels in Thermal Power Plants and Their Environmental Effects)

Enerji üretiminde en önemli çevre sorunları termik santrallerden özellikle de linyite dayalı elektrik üretim santrallerden kaynaklanmaktadır [2]. Termik santraller yakılan çeşitli fosil yakıtlardan (kömür, fueloil, doğalgaz v.b.) elde edilen ısı ile suyun ısıtılarak yüksek basınçlı buhar haline dönüştürülmesi ve buhar vasıtasıyla elektrik jeneratörlerinin çok hızlı şekilde döndürülerek, jeneratörlerdeki magnetlerden oluşan elektrik impulslarının yoğunlaştırılması sonucu elektrik enerjisi üretimi esasına dayanır [3]. Genelde kömür yataklarına yakın inşa edilirler [4].Termik santraller linyit kömürünün çıkarılmasından, yakılan kömürün oluşturduğu külün depolanmasına kadar geçen birbirine bağımlı birçok işlemle önemli çevre kirliliği oluşturdıkları gibi bu kirlilikten insan, hayvan ve bitkiler de etkilenmektedir. Kömürün yakılması ile bölgesel ölçekte asit yağmurlarına, yerel ölçekte insan sağlığı, bitki ve malzemelere zararlı etkilere sebep olan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>, küresel ölçekte ısınmaya yol açan CO<sub>2</sub> gazlarının açığa çıkması gibi çevresel etkileri vardır [3, 4].



Şekil 1. Termik santralin genel yapısı(General structure of the thermal power plant)

1	Soğutma Kulesi	14	Kömür Taşıyıcı
2	Soğutma suyu pompası	15	Kömür Besleme
3	3-Faz Enerji nakil hattı	16	Kömür Öğütücü
4	3-Faz Yükseltici Trafo	17	Buhar Fıçısı
5	3-Faz Elektrik Üretici	18	Kül Hunisi
6	Düşük basınç buhar Türbini	19	Süperfırın
7	Yoğuşma Pompası	20	Enerji akım Fanı
8	Yüzey Yoğunlaştırıcı	21	Reheater
9	Orta Basınç Türbini	22	Yanma Hava Girişi
10	Buhar kontrol Valfi	23	Ekonomizer
11	Yüksek basınç buhar Türbini	24	Hava önısıtıcı
12	Gaz arındırıcı	25	Elektrostatik Filtre
13	Besleme Suyu Isıtıcı	26	Endüklemiş akım Fanı
		27	Baca

### 2.1.1 Hava Kirliliği Açısından Değerlendirme (Assessment In Terms Of Air Pollution)

Termik santrallerde kullanılan kömürün kükürt içer iğinin yüksek ve ısıl değerinin düşük olması halinde SO<sub>2</sub> ve partikül madde emisyonları yüksek olmakta ve önlem olarak santrallere elektrofiltreler ve Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesislerinin kurulmasını gerekli kılmaktadır. Ancak tesiste filtre yoksa veya iyi çalıştırılmıyorsa kirleticilerin ve uçucu küllerin atmosfere verilmesi sonucu önemli bir hava kirliliği oluşur. Uçucu küller huzme ile birlikte havaya yayılarak ağırlıklarına ve meteorolojik koşullara göre bacadan itibaren belirli mesafelerde yere çökerler. Bu esnada içerdikleri Co, Cd, Zn, Pb, Cu gibi metal bileşikler de hem yerel ölçekte alıcı ortamda (ormanlar, meralar, tarlalar vb.) tarla bitkileri veya meyve ağaçları üzerinde zehirli etki yapabilirler, hem de bölgesel ölçekte huzmede bulunan SO<sub>2</sub> ve

NOX gazlarının asit yağmurlarına dönüşmesinde katalizör etkisinde bulunurlar [3, 4].

Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan CO<sub>2</sub> yayılımı sonucunda, atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat daha artma ihtimali vardır. Atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalaması sıcaklığını 0,7 °C yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1°C yükselmesi, dünya iklim kuşaklarında görünür değişimlere, 3°C düzeyine varacak artışlar ise, kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir [5, 6].

### 2.1.2 Su Kirliliği Açısından Değerlendirme (Evaluation in Terms of Water Pollution)

Termik santrallerin soğutma sularını deşarj ettikleri su ortamındaki normal sıcaklık derecesi zamanla yükselerek, termik santral kurulmadan önceki doğal halinden farklı yeni bir sıcaklık dengesi oluşur. Sıcaklık sularındaki canlılar ve canlı metabolizması üzerinde hızlandırıcı, katalizleyici, kısıtlayıcı ve öldürücü gibi çeşitli etkilerde bulunur. Sıcaklık aynı zamanda sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır [4]. Isı-su kütlelerinde biyolojik süreçleri hızlandırır, çözülmüş oksijen azalır. Su bitkilerinin büyümesini arttırarak suda tat ve koku problemine yol açar. Termik santrallerde kullanılmakta olan soğutma suyu pompalarla çekilerek arıtmadan geçirilmekte ve bu sırada geçici sertlik giderimi, çöktürme ve mikroorganizmaların yok edilmesi aşamalarında kimyasal maddeler ilave edilmektedir. Kullanılan bu kimyasallar soğutma suyunun bir alıcı ortama verilmesi durumunda alıcı ortamda kirliliğe sebebiyet vermektedir. Ayrıca santral bacasından çıkacak olan kirlitici gazların oluşturacağı asit yağmurları da suların pH' nı değiştirebilmektedir. Uçucu küllerde bulunan Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Pb, U gibi ağır metaller de zamanla taban suları vasıtasıyla alıcı ortama varabilmektedir.

### 2.1.3 Katı Atık Ve Toprak Kirliliği Açısından Değerlendirme (Evaluation in Terms of Solid Waste and Soil Pollution)

Katı atıklar, kömüre dayalı termik santrallerden atılan kül ve cüruf ile Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesisi atığı olan alçıtaşıdır. Çıkan atık miktarının çok olması ve atığın betarafı sorun olarak durmaktadır [2]. Termik santrallerin bacasından çıkan duman bileşenlerinin zamanla yere çökmesi, çevresindeki alanlarda toprak kirliliğine neden olabildiği gibi, yanma sonucu linyit kömüründe %35–55 oranında bulunan küller de kül barajında toprak üzerinde depolanarak toprak kirliliği oluştururlar. Ayrıca, kömürün çıkarılması sırasında büyük alanlardan toprağın alınarak kömür olmayan alanlara yığılması da yanlış arazi kullanımına neden olduğu için bir nevi toprak kirliliği sayılmaktadır.

### 2.2 Termik Santrallerin Baca Gazından Çıkan Gazların Önlenmesi İçin Kullanılacak Yöntemler (Methods to be Used for the Prevention of Gases Coming from the Flue Gas of Thermal Power Plants)

Kükürt dioksit, SO<sub>2</sub> yakıttaki kükürdün oksijenle yanması sonucu ortaya çıkan bir asit gazdır. Kömür yakan santrallerden kaynaklanan SO<sub>2</sub> emisyonları, yanma öncesi teknikler, yanma modifikasyonları ve yanma sonrası metodlar olmak üzere üç başlık altında incelenebilir;

a) Yanma Öncesi Kontrol: Yakıtın/kaynağın daha az kükürt içeren bir başka yakıt/kaynak ile değiştirilmesi veya yanma prosesi veriminin artırılarak daha az yakıt ihtiyacı oluşturulması, yanma öncesi kontrol seçenekleri arasında bulunmaktadır. Bunun yanısıra, yakıtın içerdiği kükürdün uzaklaştırılması için bazı fiziksel ve kimyasal yöntemler de kullanılabilir. Ancak yerli linyit kaynaklarımızın düşük kalori ve yüksek kükürt oranı ayrıca organik bağlı olması yanma öncesi SO<sub>2</sub> emisyon kontrolünü güçleştirmektedir ve ekonomik olmamaktadır.

b) Yanma Esnasında Kontrol: Akışkan yataklı kazan kullanımı, düşük yanma odası sıcaklığının sağlanması ve kireçtaşı, dolomit, kireç gibi kalsiyum esaslı katı maddenin kazana enjeksiyonu yanma esnasındaki başlıca kontrol yöntemlerindedir. Kireçtaşı, yanma prosesi sırasında açığa çıkan SO<sub>2</sub>'in %90'ını absorbe edebilir. Sodyum bazlı bileşikler de kazana absorbent enjeksiyon teknolojisinde kullanılabilir. Enjekte edilen absorbentin SO<sub>2</sub> ile reaksiyon mekanizması ve prosesin verimi, enjeksiyon sıcaklığına, absorbent tipine, absorbent yüzey alanına ve absorbentin kükürte olan molar oranına bağlıdır. Akışkan yataklı santral kazanları doğal olarak yanma işlemi sırasında SO<sub>2</sub> giderme teknolojisine haizdir. Akışkan yataklı kazanlarda kireçtaşı, yatak malzemesinde bulunduğu için bu tip kazanlarda SO<sub>2</sub> emisyonu düşük seviyededir. Bu yöntemler, günümüzde uygulanmakla beraber, tek başlarına kullanılmaları durumunda yönetmeliklerdeki emisyon limitlerini tam olarak sağlayamadıklarında yanma sonrası kontrol sistemleri ile beraber kullanılmaları tercih edilmektedir.

c) Yanma Sonrasında Kontrol: Termik santral kazanların da yanma sonrası oluşan baca gazlarının içerdiği SO<sub>2</sub>'nin tutulması

için en etkin ve en çok tercih edilen yöntem yanma sonrasında baca gazı kükürt arıtma teknolojilerinin uygulanmasıdır. SO<sub>2</sub> kontrol yöntemlerini kısaca aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür



### 3. Baca Gazı Arıtma Sistemi (Flue Gas Desulfurization System)

Baca gazını kükürt dioksitten arındırmak üzere pek çok yöntem geliştirilmiştir. Ancak ekonomik ve uygulanabilirlik bakımından ıslak ve kuru sistemler olarak sınıflandırılabilir. Islak sistemlerde baca gazı doymuş su buharı olarak sistemden atılırken kuru sistemlerde SO<sub>2</sub> arıtılması gaz-katı ara yüzünde gerçekleşmektedir. [8-10] SO<sub>2</sub> atmosfere bacadan atılmadan tutulması hedeflenen tüm sistemlerde ekonomik yaklaşımlar işletmelerin önceliğini oluşturmaktadır. Artıcı absorberlerin kükürt dioksiti tuttuktan sonra jenerasyon işlemleri veya sistemden uzaklaştırılmaları ikincil prosesleri zorunlu kılmaktadır. Genellikle çamur veya katı atıklardan yan ürün eldesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

#### 3.1 Örnek Çalışma Seyitömer BGD Uygulaması

Kireçtaşı ve kirecin aktif madde olarak kullanıldığı Seyitömer Santrali BGD sistemi Şekil 2 de görüldüğü gibi dört ana kısımdan oluşan Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) sistemi; Kireçtaşı Taşıma ve Absorbent Hazırlama Sistemi, Baca Gazı SO<sub>2</sub> Yıkama Sistemi, Alçıtaşı Su alma ve Kül/Alçıtaşı Karıştırma Sistemi ve Gaz Yolu Sistemi olarak tanımlanabilir. Yıkayıcı kule, ve içinde bir karşı akış kulesi, bir bileşik oksidasyon ve nötralizasyon çukuru olan Çift Temas Akışlı bir yıkayıcı kuledir (DCFS). Yıkayıcı kulenin üst tarafında bulunan iki sıra spreyci boruları, baca gazı üzerine absorbent bulamacı püskürtür. Yıkayıcı kule toplama çukuru karıştırıcıların önünde bulunan hava borularından oksidasyon havası üflenir. Bu oksidasyon sistemi yıkayıcı kule toplama çukurunda HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> ün SO<sub>4</sub> ye oksidasyonunu artırır. Oksitlenen HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> daha sonra kireçtaşı bulamacı ile alçıtaşı kristalleri oluşturarak nötralize olur. Sülfürü tutulan baca gazı, yıkayıcı kuleden çıktıktan sonra sürüklenen damlacıklarının toplandığı damla tutucudan geçer. Yatay tip damla tutucu, soğutma kulesinin çıkışına yatay olarak kurulmuştur. Katı yakıtlı yakma tesislerinde mg/Nm<sup>3</sup> olarak baca gazında % 6 hacimsel oksijen (O<sub>2</sub>) esas alınarak Tablo1. deki emisyon sınır değerleri aşılamaz. Örnek çalışmada ele alınan santrale ait hava kalitesi değerleri Tablo2. de verilmiştir. Tesis etki alanındaki hava kalitesi ve emisyon ölçümleri, akredite edilmiş veya Bakanlıkça uygun bulunan laboratuvarlara sahip olan özel veya kamu kurum/kuruluşları tarafından yapılmıştır. SO<sub>2</sub> parametresi için, Tablo 2 de belirtilen emisyon sınır değerlerinin yakıtın karakteristik özellikleri sebebi ile sağlanmadığı durumlarda 50MW ≤ Yakıt ısı gücü

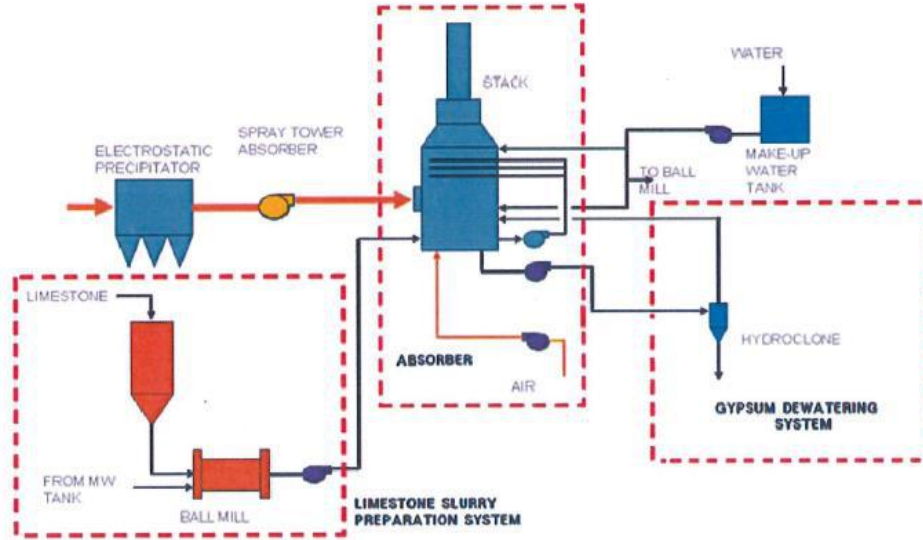
**Tablo 1** Farklı üretim gücündeki termik santrallere ait emisyon sınır değerleri

Yakıt Türü	Yakıt Isıl Gücü	Emisyon Sınır Değerleri (mg/Nm <sup>3</sup> )			
		Toz	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> (NO ve NO <sub>2</sub> )	CO
Katiyakıt	50 MW ≤ Yakıt ısılgücü < 100 MW	100	2000	600	200
	100 MW ≤ Yakıt ısılgücü < 500 MW		2000-400 (lineer azalma)		
	Yakıt ısılgücü ≥ 500 MW	50	400	200	
Petrol koku	50 MW ≤ Yakıt ısılgücü < 100 MW	20	400	600	200
	Yakıt ısılgücü ≥ 100 MW			200	

**Tablo 2** Tesis Etki Alanında Hava Kalitesi Sınır Değerleri

Parametre	Süre	Birimi	YIL						2024 ve sonrası
			2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	
SO <sub>2</sub>	Saatlik (bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz)	µg/m <sup>3</sup>	500	470	440	410	380	350	350
	24 saatlik		250	225	200	175	150	125	125
	UVS		60	60	60	60	60	60	60
	**Yıllık keçi dönemi (1 Ekim-31 Mart)		20	20	20	20	20	20	20
NO <sub>2</sub>	Saatlik (bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	µg/m <sup>3</sup>	300	290	280	270	260	250	200*
	yıllık		60	56	52	48	44	40*	40
Havada Asılı Partikül Madde (PM 10)	24 saatlik (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz)	µg/m <sup>3</sup>	100	90	80	70	60	50	50
	Yıllık		60	56	52	48	44	40	40
Pb	Yıllık	µg/m <sup>3</sup>	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
CO	Maksimum günlük 8 saatlik ortalama	mg/m <sup>3</sup>	16	14	12	10	10	10	10
Cd	UVS	µg/m <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
HCl	KVS	µg/m <sup>3</sup>	150	150	150	150	150	150	150
	UVS		60	60	60	60	60	60	60

HF	Saatlik	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	30	30	30	30	30	30	30
	KVS		5	5	5	5	5	5	5
H <sub>2</sub> S	Saatlik	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	100	100	100	100	100	100
	KVS		20	20	20	20	20	20	20
ToplamOrganikBileşikler (karboncinsinden)	Saatlik	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	280	280	280	280	280	280	280
	KVS		70	70	70	70	70	70	70
Çökentöz	KVS	$\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$	390	390	390	390	390	390	390
	UVS		210	210	210	210	210	210	210
Çökentöz da	Pb vebileşikleri	$\text{mg}/\text{m}^2\text{gün}$	250	250	250	250	250	250	250
	Cd vebileşikleri		3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
	Tl vebileşikleri		5	5	5	5	5	5	5

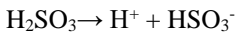
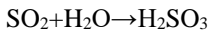


Şekil 2. BGD Sisteminin Ana Hatları (Flue Gas Desulfurization System's outline)

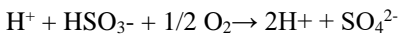
### 3.2 Sistem Kimyası

Baca gazından SO<sub>2</sub> 'nin emilimi ve alçıtaşına dönüşümü ile ilgili kimyasal reaksiyon aşağıda verilmiştir:

İlk olarak, yıkayıcı kulede SO<sub>2</sub> su tarafından emilir, daha sonra HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> formuna dönüşür.

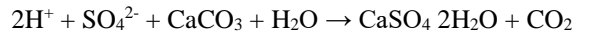


HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonu, baca gazı içindeki oksijenle kısmen, yıkayıcı kule içindeki oksijenle de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>'e tamamen okside olur:



Yıkayıcı kule toplama çukurunda içinde H<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonları bulunan asidik absorber bulamacı, baz kireçtaşı bulamacında asılı bulunan kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) ile tepkimeye girer.

Sülfat iyonları karbonat iyonları ile nötralize olur ve hidratlı alçıtaşı bulamacı (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) oluşur.



Alçıtaşı bulamacının bir kısmı, katı alçıtaşı (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) olarak tutulmak üzere Alçıtaşı Su alma kısmına beslenir. Harcanan kalsiyum karbonatın telafi edilmesi için, Absorbent Besleme Tankından Yıkayıcı Kule toplama çukuruna taze kireçtaşı bulamacı pompalanır. Tazelenen absorber bulamacı, Yıkayıcı Kule toplama çukurundan Yıkayıcı Kule'nin üst kısmına devri daim eder ve püskürtme borularından baca gazı içine püskürtülür.

## 4. Sonuç ve Bulgular

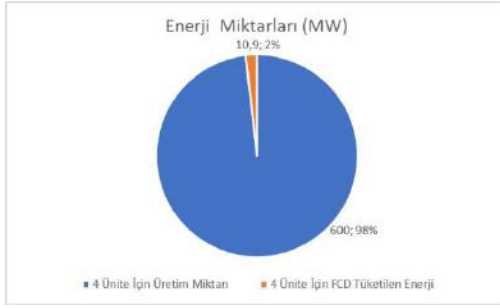
Örnek işletme olarak analizi yapılan Seyitömer Termik Santraline ait BGD giriş koşulları Tablo3 belirtilmiştir. %95'lik SO<sub>2</sub> Desülfirizasyon verimi, her durumda zorunlu kriter olarak kabul edilmiştir. Normal Durumlarda, BGD çıkışındaki baca gazındaki maksimum SO<sub>2</sub> miktarı 400 mg/Nm<sup>3</sup>'tür. Ham baca

gazındaki maksimum toz içeriği ise 75mg/Nm<sup>3</sup> olmaktadır. 4 üniteden oluşan santralde BGD sistemi enerji tüketimi susuzlaştırma ünitesi, ıslak kireçtaşı sistemi olmak üzere toplam 10.92MW olarak hesaplanmıştır.

[10] Xu G , Yuan X , Yang Y P , et al. Optimization operation of flue gas desulfurization systems in power plants for energy conservation, Proceedings of the CSEE, 2012, 32 (32): 22-29

Gaz Çıkışı (m <sup>3</sup> /h s.t.p)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Toz
	%- Vol(met)	%- Vol(met)	mg/Nm <sup>3</sup> (%6 O <sub>2</sub> ve Kuru Bazda)	%- Vol(met)	mg/Nm <sup>3</sup>
<b>1,100,000</b>	11,32	14	7,000	9,91	75

Hesaplamalarda mevcut santraldeki uçucu kül be baca gazı miktarı baz alınmıştır.BGD sisteminin tüketimin toplam üretime oranı 0.02 olmaktadır. her bir ünite de BGD tüketimi yaklaşık 2.725MW olmaktadır. Yedek ekipmanların ve toz filtrelerinin çalışma koşulları da hesaba katıldığında BGD sistemi için öngörülen tüketim oranı 10,4MW değerine düşebilmektedir Bu durumda BGD tüketiminin toplam üretime oranı 0,0173 değerine düşmektedir Şekil 3.



Şekil 3 BGD Tüketimin Toplam Üretime oranı

## Kaynakça

- [1] Altın V., “Enerji Sorunu ve Türkiye”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan- Mayıs-Haziran, 2004.
- [2] Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, DPT: 2569 – ÖİK: 585, Ankara, 2001.
- [3] Goncaloğlu B. İ., Ertürk F., Erdal A., “Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması”, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı: 34, Ocak-Şubat-Mart, 2000.
- [4] EÜAŞ 2020yılılık raporu
- [5] Statical Review of Worl Energy, 2021
- [6] Çift B., Okutan H.,Baca gazı desülfürizasyon proseslerinin ekonomik ve teknik analizi, İtü Dergisi,Cilt 9,Sayı 4, 2011
- [7] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Sektörel Atık Klavuzu,Termik Santraller
- [8] Leng Y., Hu R., Cui L., Dong Y., Study on Energy Efficiency Characteristics of Wet Flue Gas Desulfurization Tower, Power Generation Technology Vol. 41 Issue (5): 543-551, DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.20076, 2020
- [9] Yang Y.P., Yuan X.,Huang S.W.,Xu G.,Regressive analysis of energy consumption of the wet desulfurization system in thermal power plant, Journal of Engineering Thermophysics, 33(11),pp.1854-1859, 2012



# Effect of Walnut Seed Skin Against Main Organ Damage Caused by Hyperlipidemia

Esra Palabiyik<sup>1\*</sup>, Seda Askin<sup>2</sup>, Hakan Askin<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Molecular Biology and Genetics, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3066-1921), esraozdemir.tr@gmail.com

<sup>2</sup> Atatürk University, Vocational School of Health Services, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6133-9065), seda.askin@atauni.edu.tr

<sup>3</sup> Atatürk University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetic, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3248-759X), haskin@atauni.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084073)

**ATIF/REFERENCE:** Palabiyik, E., Aşkın, S. & Aşkın, H. (2022). Effect Of Walnut Seed Skin Against Main Organ Damage Caused By Hyperlipidemia. *European Journal of Science and Technology*, (34), 652-656.

## Abstract

Hyperlipidemia, manifested as hypercholesterolemia and/or hypertriglyceridemia, is a condition characterized by a decrease in HDL levels with an increase in one or more of plasma lipids, including triglycerides cholesterol, cholesterol esters, phospholipids, and/or plasma lipoproteins including VLDL and LDL. It is also a major problem leading to obesity, stroke, myocardial infarction, atherosclerosis, type 2 diabetes, degenerative joint disease and circulatory disease and has become one of the most common causes of morbidity and mortality worldwide. Current anti-hyperlipidemic therapies mainly include statins and fibrates. These drugs used firstly inhibit cholesterol biosynthesis and correct the changed blood lipid profile. Secondly, it acts by increasing the clearance of triglyceride-rich lipoproteins. In addition to hepatotoxicity, myopathy, rhabdomyolysis and some undesirable side effects during pregnancy have also been reported. While these side effects limit the use of statins in hyperlipidemia, they also support the research of medicinal plant products with hypolipidemic-phyto-active compounds. The study of plants is a useful strategy for the emergence of new molecules that have an important and enhanced effect on lipid metabolism. For this reason, in the current study, considering the many beneficial effects of walnuts supported by the literature, the unused part of the walnut seed skin (WSS) is focused on. It was investigated whether ethanolic extraction of walnut seed skin (E-WSS) had a protective effect in male Wistar-Albino rats in which hyperlipidemia was induced. The histopathological evaluation of the effects of E-WSS on kidney tissue, the content of which was defined by GC-MS in our previous study, was performed in this study. In the analysis, it was concluded that E-WSS extract had a significant protective effect on the kidney tissue of rats with hyperlipidemia when compared to the healthy control group.

When the final evaluation was made, a contribution was made to the literature on the use of a natural compound that does not show toxic effects against hyperlipidemia.

**Keywords:** Kidney, Hyperlipidemia, Walnut seed skin, Rat

## Hiperlipideminin Neden Olduğu Ana Organ Hasarına Karşı Ceviz Tohumu Kabuğunun Etkisi

### Öz

Hiperkolesterolemi ve/veya hipertrigliseridemi olarak kendini gösteren hiperlipidemi, trigliseritler kolesterol, kolesterol esterleri, fosfolipidler ve/veya VLDL ve LDL dâhil plazma lipoproteinleri dâhil olmak üzere plazma lipidlerinden bir veya daha fazlasında artış ile birlikte HDL seviyelerinde azalma ile karakterize edilen bir durumdur. Aynı zamanda obezite, felç, miyokard enfarktüsü, ateroskleroz, tip 2 diyabet, dejeneratif eklem hastalığı ve dolaşım hastalığına yol açan önemli bir sorundur ve dünya çapında en yaygın morbidite ve mortalite nedenlerinden biri haline gelmiştir. Mevcut anti-hiperlipidemik tedaviler esas olarak statinleri ve fibratları içerir. Kullanılan bu ilaçlar ilk olarak kolesterol biyosentezini inhibe ederek değişen kan lipid profilini düzeltir. İkinci olarak da trigliseritten zengin lipoproteinlerin temizlenmesini artırarak etki eder. Hepatotoksisitenin yanısıra miyopati, rabdomiyoliz ve hamilelik esnasında istenmeyen birtakım yan etkilerinin olduğu da bildirilmiştir. Meydana gelen bu yan etkiler statinlerin hiperlipidemide kullanımını sınırlandırmakla beraber, hipolipidemik-fito-aktif bileşiklere sahip tıbbi bitki ürünlerinin araştırılmasını da desteklemektedir. Bitkilerin araştırılması, lipid metabolizması üzerinde önemli ve gelişmiş bir etkiye sahip yeni moleküllerin ortaya çıkması için yararlı bir stratejidir. Bu nedenle mevcut çalışmada, cevizin literatürle desteklenen birçok faydalı etkisi göz önüne alınarak kullanılmayan kısım olan ceviz tohum kabuğu (CTK) üzerine yoğunlaşmıştır. Ceviz tohum kabuğunun etanolik ekstraksiyonunun (E-CTK), hiperlipideminin indüklendiği erkek Wistar-Albino ratlarda koruyucu etkisinin var olup olmadığı araştırılmıştır. Daha önce yaptığımız çalışmada GC-MS ile içeriği tanımlanan E-CTK'nın böbrek dokusunda ki etkilerinin histopatolojik değerlendirmeleri ise bu çalışmada yapılmıştır.

Yapılan analizde, E-CTK ekstraktının sağlıklı kontrol grubu ile kıyaslandığında hiperlipidemili ratların böbrek dokusunda önemli bir koruyucu etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Nihai değerlendirme yapıldığında, hiperlipidemi hastalığına karşı toksik etki göstermeyen doğal bir bileşiğin kullanımına yönelik literatüre katkıda bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Böbrek, Hiperlipidemi, Ceviz tohum kabuğu, Rat

## 1. Introduction

Hypercholesterolemia is a life-threatening disease that develops with high lipid content in the bloodstream. Lipids play a vital role in the body's muscle growth, but abnormal blood fat levels greatly increase the risk factor for developing coronary heart diseases (Sunil et al., 2012; Ghassan, 2014; Hashem et al., 2021; Tripathi, 2013). Cardiovascular diseases are responsible for one third of the total deaths in the world, but it is believed to be the leading cause of mortality in the coming years (Jørgensen, 2013). Hyperlipidemia results from elevations of total cholesterol (TC), triglyceride, very low-density lipoprotein (VLDL), and low-density lipoprotein (LDL) in plasma. Hyperlipidemia is also caused by a decreased level of high-density lipoprotein (HDL) in the blood. Hyperlipidemia with high levels of lipoproteins is measured by the initiation and progression of plaque formation in the arteries, which can cause thrombosis and myocardial infarction (Tripathi, 2013; Thomas and Kamath, 2017). In order to keep these negative situations under control, it is necessary to reduce the lipid level. Statins and fibrates used due to their anti-hyperlipidemic effects, on the other hand, may produce an unexpected toxic effect besides their therapeutic effects (niacin, clofibrate, gemfibrozil, atorvastatin, cholestyramine, colestipol and probucol) (Hashem et al., 2021; Abu-Raghif et al., 2015). For this reason, the use of herbal products has become widespread due to the absence of undesirable side effects, their economic and easy accessibility. The development of more than half of the drugs used from natural products also plays an important role in the discovery of drugs (Xu et al., 2019).

Walnut, (*Juglans regia* L.), belongs to the Juglandaceae family. It is an important tree species with economic, ecological and oil

recovery in the world. It is widely available in many places in America, Europe and Asia. Thirteen walnut species have been described, but this number can reach up to 300 with local varieties (Cao and Li, 2017). It is considered nutraceutical because it contains proteins and essential unsaturated fatty acids, as well as tocopherols, sterols and polyphenols with well-known antioxidant, anti-inflammatory and antibacterial properties (Alasalvar and Bolling, 2015). Walnut seed skin (WSS) evaluated in this study is another important by-product that reveals the in vitro biological potential through bioactive phytochemicals that separate the two halves of the walnut kernel (Rusu et al., 2018). The aim of this study was to evaluate whether walnut seed shell

extract has a protective effect on the kidney tissues of rats with hyperlipidemia induced by injection of Triton WR-1339.

## 2. Material and Method

### 2.1. Plant Material

The WSS used was obtained from walnuts belonging to Posof county in Ardahan province. In Atatürk University Genetics laboratory, after drying, it was turned into fine powder with a mixer grinder and stored at -18°C.

### 2.2. Preparation of WSS Extract

Ethanol extraction (E-WSS) of WSS was performed according to the method of Kotan *et al.* (Kotan et al., 2010).

### 2.3. Anti-Hyperlipidemic Activity

Before starting the experiment, rats were acclimated to laboratory conditions for one week. The rats were then randomly divided into five groups of six rats each (It is shown in Table 1).

**B1:** Healthy control group; physiological water [2.5 mL/kg, intraperitoneally (i.p)] administered group.

**B2:** Walnut seed husk (150 mg) (E-WSS) group; The group given walnut seed skin extract [150 mg/kg, oral dose (o.d)] 30 minutes before physiological water (2.5 mL/kg, i.p) administration.

**B3:** Walnut seed husk (300 mg) (E-WSS) group; The group given walnut seed skin extract [300 mg/kg, oral dose (o.d)] 30 minutes before physiological water (2.5 mL/kg, i.p) administration

**B4:** Hyperlipidemic group (HL). The group that received physiological water 30 minutes before Triton WR-1339 (400 mg/kg, 2.5 mL/kg, i.p) administration.

**B5:** Hyperlipidemic + Walnut seed skin (300 mg) (HL + E-WSS). Group that received walnut seed skin extract (300 mg/kg, o.d) 30 minutes before administration of Triton WR-1339 (400 mg/kg, 2.5 mL/kg, i.p).

Rats were fed rat chow pellets and water ad libitum (Sikarwar and Patil, 2012). After fasting for 12 hours, a single dose of Triton WR-1339 was injected intraperitoneally at a dose of 400 mg/kg and hyperlipidemic was made.

Table 1. Study groups

Groups	Healthy Control	WSS 1 (150 mg)	WSS 2 (300 mg)	Positive Control (Triton WR-1339, 400 mg/kg, 2.5 mL/kg)	Triton WR-1339 + WSS 2 (300 mg)
B1	+	-	-	-	-
B2	-	+	-	-	-
B3	-	-	+	-	-
B4	-	-	-	+	-
B5	-	-	+	-	+



## 2.4. Histopathological Examination – Preparation of Tissues for Light Microscopy

After the last application, the sacrifice process was applied. After the kidney tissue was gently removed, it was washed with normal saline (0.9% NaCl). The washed tissue was fixed in 10% normal saline, buffered with formalin solution, and allowed to dry for one day. The dehydration process was achieved by passing the kidney tissue through a sequential series of alcohol and xylene. After the treatment with alcohol and xylene, the tissues were fixed in pure paraffin wax. Tissue sections of 4  $\mu$ m thickness were taken with a microtome device. To observe the general histological structure, all kidney sections were stained with hematoxylin and eosin and placed on glass slides. Kidney

tissue sections were examined using an Olympus B $\times$ 60 microscope. Findings were photographed at e $\times$ 200 magnification (Ziad et al., 2013).

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Histopathological Evaluation

Histopathological examination was performed in the dissected section of kidney tissues and various histopathological findings were observed in kidney tissues obtained from rats injected with Triton WR-1339.

No pathological findings were observed in the group treated/protected with WSS (300 mg).

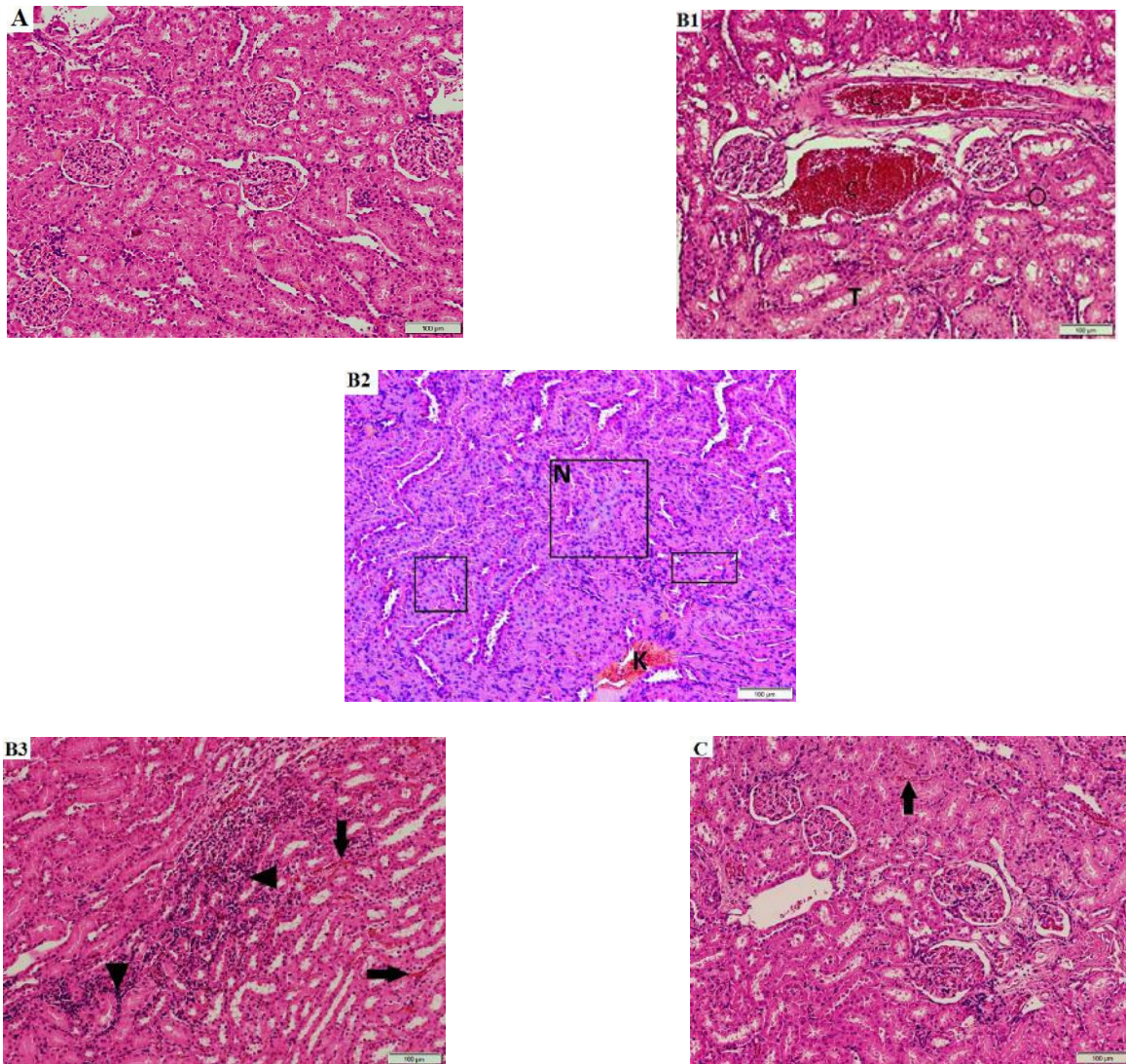


Figure 1A. Healthy control kidney tissue: normal histological image.

Figure 2B1-B3. Control group kidney tissue of the patient with hyperlipidemia with 400 mg/kg, 2.5 mL/kg Triton WR-1339 application: Increased damaged histological image (C: congestion, T: tubular dilation, Circle: apoptosis, N: necrosis, Thick arrow: hemorrhage, Arrowhead: mononuclear cell infiltration).

Figure 3C. Renal tissue in the treatment group in which 400 mg/kg, 2.5 mL/kg Triton WR-1339 and 300 mg E-WSS were administered together: Reduced damaged histological image (thick arrow: hemorrhage),.

Table 2. Histopathological findings and grades in kidney tissue

Groups	Healty Control	Positive Control	Treatment Group
	Kidney	Kidney	Kidney
<b>Congestion</b>	---	+++	---
<b>Tubular Dilatation</b>	---	++	---
<b>Apoptosis</b>	---	++	---
<b>Necrosis</b>	---	+++	---
<b>Hemorrhage</b>	---	+++	++
<b>Mononuclear Cell Infiltration</b>	---	++	---

\*Histopathological results; none (---), mild (+), moderate (++) and severe (+++)

In Figures 1, 2 and 3, the histological structure of the kidney belonging to the administration groups is shown. Histological sections from healthy control rats showed normal glomerulus structures, urinary cavities, proximal, distal, and collecting tubules (Fig. 1A). After the application of Triton WR-1339, obvious damage was detected in the examination of the kidney tissue. These damages include changes such as congestion, tubular dilatation, apoptosis, necrosis, and damage to the surface epithelium. Hemorrhage and mononuclear cell infiltration were also detected. Moreover; tubules (both proximal and distal convoluted) showed many changes (Fig. 2B2). Finally; hemorrhage and mononuclear cell infiltration were seen in the interstitium (Figure 2B3). However, the histological change in kidney tissues of rats treated with Triton WR-1339 + E-WSS (300 mg) was mostly reduced compared to damage caused by Triton WR-1339, with a high-scale improvement in the group, little interstitial bleeding and appeared to have an almost normal appearance (Fig. 3C). Cholesterol, triglycerides (TG), and high-density lipoproteins (HDL-C) are essential components of the human biological system.

### 3.2. Discussion

Cholesterol is an unsaturated alcoholic compound belonging to the steroid family, which maintains the normal physiological functions of animal cells and is a necessary element of cell membrane activity (Tsoupras et al., 2018). It is important for the synthesis of cholesterol, adrenaline hormone and gonadal steroidal hormones. Triglycerides (TG) are fatty acid esters of glycerol that serve as fat stores in humans and animals (Ravi, 2021). Cholesterol and triglycerides are non-polar lipid substances that are insoluble in water. Therefore, lipoproteins act as a special carrier for the transport of cholesterol and triglycerides in plasma (Blanco and Blanco, 2017).

In this study, Triton WR-1339 was used as an acute model for the preliminary and rapid screening of hypolipidemic agents in inducing hyperlipidemia in rats. This nonionic detergent binds TG-rich lipoproteins, reducing the rate of lipoprotein lipase-mediated TG hydrolysis and thereby reducing the uptake of blood TGs by tissues (Millar et al., 2005). It also increases hepatic cholesterol biogenesis and 3-hydroxy, 3-methyl-glutaryl CoA (HMG CoA) reductase activity (Oh et al., 2006). However, Triton has also been reported to cause the cleavage of apolipoprotein A-I (apoA-I) and apoC-II from HDL-C (Millar, 2015). It is clear that the hyperlipidemia induced by Triton WR-1339 is the most real and greatest health hazard factor (Saravanan and Pari, 2015). After intraperitoneal injection of Triton WR-1339, histological examinations on the kidney showed some findings such as congestion, tubular dilatation, apoptosis, necrosis, hemorrhage,

and mononuclear cell infiltration compared to the control group. Given these changes, it seems likely that hyperlipidemia plays a pathogenic role in the development of kidney diseases (Vázquez-Pérez et al., 2001).

In the present review, it was clearly revealed that Triton WR-1339 directly triggered kidney damage by histopathological examination. Figure 2 (B1-B3) revealed that Triton WR-1339 caused severe histopathological changes in the kidney.

Herbal medicinal products, vitamin E etc. It is well known that nutritional supplements play an important role in the etiology of hyperlipidemia. These products, like lipid-lowering drugs, are known to interfere with the lipid biosynthesis pathway, lipid excretion, and the lipid metabolism pathway of the excretory phase (Shattat, 2015). Since WSS can be used in traditional medicine for the treatment of chronic diseases such as diabetes, gout and cancer, its reliability has been tested many times in studies (Schlesinger et al., 2009). The lipid-lowering effect of the bioactive compounds of WSS used in this study may be due to their ability to interact with the substrate emulsion, inhibiting lipolysis and blocking lipase adsorption onto the substrate surface, which may result in changes in substrate surface properties. Madić *et al.* (2021), it was concluded that the histopathological changes in the kidney tissue, in which hyperlipidemia was induced, were more effective than standard drugs in their treatment using a polyherbal mixture extract (Madić *et al.*, 2021). Azhar *et al.* (2015) also found that the aqueous extract of walnut leaves had a lipid-lowering effect in hypercholesterolemic rats, and this result is in line with our study (Azhar *et al.*, 2015).

## 4. Conclusions and Recommendations

Food and agricultural industry by-products can represent valuable and inexpensive sources of bioactive compounds. Therefore, our study aimed to increase knowledge about walnut seed husk, a by-product that currently has limited use. In the current study, the histopathological effects of E-WSS, which is rich in bioactive compounds, were evaluated using a Triton WR-1339-induced hyperlipidemia model in rats. It has been determined that walnut seed skin has protective effects on kidney tissue due to its ability to correct hyperlipidemia.

## 5. Acknowledge

We would like to thank Atatürk University Scientific Research Projects Coordination Unit (BAP) for supporting our work with the 9157 Research Initial Support Project (ABDEP).

Author Esra PALABIYIK is a 100/2000 Higher Education Council (YÖK) Innovative Food Processing Technologies and Food Biotechnology Department PhD Scholar.

## References

- Abu-Raghib, A. R., Sahib, H. B., & Abbas, S. N. (2015). Anti-hyperlipidemic effect of Vitex agnus castus Extracts in Mice. *Int J Pharm Sci Rev Res*, 35(2), 120-125.
- Alasalvar, C., & Bolling, B. W. (2015). Review of nut phytochemicals, fat-soluble bioactives, antioxidant components and health effects. *British Journal of Nutrition*, 113(S2), S68-S78.
- Azhar, R., Siddiqui, A., & Ali, S. (2015). Effect of aqueous extract of walnut leaves on lipid profile and atherogenic ratio in hypercholesterolemic rats. *Journal of Islamic International Medical College (JIIMC)*, 10(3), 224-229.
- Blanco, A., & Blanco, G. (2017). *Medical biochemistry*. Academic Press.
- Cao SY, Li H (2017) Chinese walnut local species Atlas. China Forestry Press, Beijing.
- Ghassan, F. S. (2014). A Review Article on Hyperlipidemia: Types, Treatments and New Drug Targets, *Biomed Pharmacol J*, 7(2), 399-409.
- Hashem, M. A., Abd-Allah, N. A., Mahmoud, E. A., Amer, S. A., & Alkafafy, M. (2021). A Preliminary Study on the Effect of Psyllium Husk Ethanolic Extract on Hyperlipidemia, Hyperglycemia, and Oxidative Stress Induced by Triton X-100 Injection in Rats. *Biology*, 10(4), 335.
- Jørgensen, T., Capewell, S., Prescott, E., Allender, S., Sans, S., Zdrojewski, T., ... & Vanuzzo, D. (2013). Population-level changes to promote cardiovascular health. *European journal of preventive cardiology*, 20(3), 409-421.
- Kotan, R., Cakir, A., Dadasoglu, F., Aydin, T., Cakmakci, R., Ozer, H., ... & Dikbas, N. (2010). Antibacterial activities of essential oils and extracts of Turkish Achillea, Satureja and Thymus species against plant pathogenic bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(1), 145-160.
- Madić, V., Petrović, A., Jušković, M., Jugović, D., Djordjević, L., Stojanović, G., & Vasiljević, P. (2021). Polyherbal mixture ameliorates hyperglycemia, hyperlipidemia and histopathological changes of pancreas, kidney and liver in a rat model of type I diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 113210.
- Millar, J. S., Cromley, D. A., McCoy, M. G., Rader, D. J., & Billheimer, J. T. (2005). Determining hepatic triglyceride production in mice: comparison of poloxamer 407 with Triton WR-1339. *Journal of lipid research*, 46(9), 2023-2028.
- Oh, P. S., Lee, S. J., & Lim, K. T. (2006). Hypolipidemic and antioxidative effects of the plant glycoprotein (36 kDa) from Rhus verniciflua stokes fruit in Triton WR-1339-induced hyperlipidemic mice. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 70(2), 447-456.
- Ravi, V. (2021). Hypolipidemic action of Rutin on Triton WR-1339-induced hyperlipidemia in rats. *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research*, 15(2), 51-55.
- Rusu, M. E., Gheldiu, A. M., Mocan, A., Moldovan, C., Popa, D. S., Tomuta, I., & Vlase, L. (2018). Process optimization for improved phenolic compounds recovery from walnut (*Juglans regia* L.) septum: Phytochemical profile and biological activities. *Molecules*, 23(11), 2814.
- Saravanan, S., & Pari, L. (2015). Role of thymol on hyperglycemia and hyperlipidemia in high fat diet-induced type 2 diabetic C57BL/6J mice. *European journal of pharmacology*, 761, 279-287.
- Schlesinger, N., Dalbeth, N., & Perez-Ruiz, F. (2009). Gout—what are the treatment options?. *Expert opinion on pharmacotherapy*, 10(8), 1319-1328.
- Shattat, G. F. (2015). A review article on hyperlipidemia: types, treatments and new drug targets. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 7(1), 399-409.
- Sikarwar, M. S., & Patil, M. B. (2012). Antihyperlipidemic activity of Salacia chinensis root extracts in triton-induced and atherogenic diet-induced hyperlipidemic rats. *Indian journal of pharmacology*, 44(1), 88.
- Sunil, C., Ignacimuthu, S., & Kumarappan, C. (2012). Hypolipidemic activity of Symplocos cochinchinensis S. Moore leaves in hyperlipidemic rats. *Journal of natural medicines*, 66(1), 32-38.
- Thomas, L., & Kamath, J. V. (2017). Evaluation of Antihyperlipidemic activity of Capsicum frutescens extract. *Int J Curr Pharm Res*, 9(3), 165-168.
- Tripathi, K. D. (2013). Hypolipidaemic drugs and plasma expanders. *Essentials of Medical Pharmacology 7th ed. New Delhi*.
- Tsoupras, A., Lordan, R., & Zabetakis, I. (2018). Inflammation, not cholesterol, is a cause of chronic disease. *Nutrients*, 10(5), 604.
- Vázquez-Pérez, S., Aragoncillo, P., de las Heras, N., Navarro-Cid, J., Cediell, E., Sanz-Rosa, D., ... & Cachofeiro, V. (2001). Atorvastatin prevents glomerulosclerosis and renal endothelial dysfunction in hypercholesterolaemic rabbits. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 16(suppl\_1), 40-44.
- Xu, Y., Wang, F., Guo, H., Wang, S., Ni, S., Zhou, Y., ... & Wang, Y. (2019). Antitussive and anti-inflammatory dual-active agents developed from natural product lead compound 1-methylhydantoin. *Molecules*, 24(13), 2355.
- Ziad, S., Wajdy, A. A., & Darwish, B. (2013). Effects of cigarette smoking on histology of trachea and lungs of albino rat. *Research Opinions in Animal & Veterinary Sciences*, 3(10).



# High-Gain Rectangular Patch Microstrip Antenna for IEEE 802.11 b/g Applications

Hilal Kurt<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8179-7506), [hilal.kurt304@gmail.com](mailto:hilal.kurt304@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084138)

**ATIF/REFERENCE:** Kurt, H. (2022). High-Gain Rectangular Patch Microstrip Antenna for IEEE 802.11 b/g Applications. *European Journal of Science and Technology*, (34), 657-660.

## Abstract

Increasing demand for microstrip patch antennas, especially in microwave applications, due to its compactness, ease of fabrication, low cost, etc. gives rise to the research studies on the related area. In this study, rectangular shaped microstrip patch antenna is designed and simulated for Bluetooth applications. The antenna consists of rectangular shaped patch that is loaded with rectangular slots with different lengths, FR-4 substrate with 1.6 mm thickness and ground with reduced length. The designed antenna is simulated using CST MWS software to investigate S<sub>11</sub>, gain, VSWR parameters. Microstrip line feeding technique with discrete port is used to feed the antenna. According to the results, lower and higher frequency bands of the antenna are 2.24 GHz – 2.62 GHz with 2.48 GHz center frequency (15.3% bandwidth) and 5.80 GHz – 5.99 GHz with 5.90 GHz center frequency (3.22% bandwidth), respectively. Gain values at 2.4 GHz, 2.5 GHz and 5.9 GHz frequencies can be given as 3.45 dBi, 3.58 dBi and 4.93 dBi, respectively. S<sub>11</sub> values at 2.4 GHz, 2.5 GHz and 5.9 GHz frequency bands are -16.64 dB, -18.00 dB and -15.11 dB. VSWR values of the antenna for 2.4 GHz, 2.5 GHz and 5.9 GHz can be given as, 1.35, 1.29 and 1.43 respectively. As a result, the proposed antenna has high gain and wide low frequency band. It can be used for Bluetooth/ Wi-Fi applications and IEEE 802.11 b/g standards are also supported by the antenna.

**Keywords:** IEEE 802.11 b/g, rectangular patch antenna, Bluetooth Antenna, Wi-Fi Antenna, 2.4/2.5 GHz antenna design

## IEEE 802.11 b/g Uygulamalarına Yönelik Yüksek Kazançlı Dikdörtgen Yama Mikroşerit Anten Tasarımı

### Öz

Mikroşerit yama antenlerin kompakt olması, imalat kolaylığı, düşük maliyeti vb. gibi avantajları, bu antenlere olan talebin, özellikle mikrodalga uygulamalarında, artmasına dolayısıyla mikroşerit antenlere yönelik bilimsel araştırmalarda artışa sebep olmuştur. Bu çalışmada, Bluetooth uygulamaları için dikdörtgen yama mikroşerit anten tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Anten, üzerinde farklı uzunluklarda dikdörtgen yarıklar kullanılmış dikdörtgen yama, 1,6 mm kalınlığında FR-4 alt taş ve dikdörtgen zeminden oluşmaktadır. Tasarlanan anten, S<sub>11</sub>, kazanç, VSWR parametrelerini incelemek için CST MWS yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Anten, mikroşerit hat besleme tekniği kullanılarak beslenmiştir. Sonuçlara göre antenin düşük ve yüksek frekans bantları 2,48 GHz merkez frekansı ile 2,24 GHz – 2,62 GHz (%15,3 bant genişliği) ve 5,90 GHz merkez frekansı ile (%3,22 bant genişliği) 5,80 GHz – 5,99 GHz olarak elde edilmiştir. 2.4 GHz, 2.5 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında kazanç değerleri sırasıyla 3.45 dBi, 3.58 dBi ve 4.93 dBi olarak verilebilir. 2.4 GHz, 2.5 GHz ve 5.9 GHz frekans bantlarında S<sub>11</sub> değerleri -16.64 dB, -18.00 dB ve -15.11 dB'dir. Antenin 2.4 GHz, 2.5 GHz ve 5.9 GHz frekanslarındaki VSWR değerleri sırasıyla 1.35, 1.29 ve 1.43 olarak verilebilir. Sonuç olarak önerilen anten yüksek kazanç ve geniş düşük frekans bandına sahiptir. Anten, IEEE 802.11 b/g standartlarını destekler. Dolayısıyla Bluetooth ve Wi-Fi uygulamalarında kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** IEEE 802.11 b/g, dikdörtgen yama anten, Bluetooth anten, Wi-Fi Anten, 2.4/2.5 GHz anten tasarımı

\* Corresponding Author: [hilal.kurt304@gmail.com](mailto:hilal.kurt304@gmail.com)

### 1. Introduction

Due to the recent developments in microwave and millimeter wave component technology replacement of new wireless structures with existing ones [1]-[5] is a requirement to keep up with developing new technological progress. Increasing usage of microstrip patch antennas is one of the example of the mentioned circumstance. Microstrip patch antennas have been used commonly in microwave applications such as global positioning system, radar, mobile and satellite communication applications due to outstanding features such as ease of fabrication with printed circuit technology, operating at various frequency bands, reduced dimension and lightweight [6]-[8]. However, it is compelling to obtain desired antennas for researchers because of drawbacks of the microstrip antennas [9], [10].

Insufficient gain, low efficiency, narrow bandwidth and high cross polarization can be given as some of the examples of those drawbacks [6], [8]. To reduce those drawbacks, in literature, there are several works on the microstrip patch antennas. 2x2 circular microstrip antenna array that operates at 2.4 GHz resonance frequency is proposed by G. S. Shravan, L. Sai Suhas, N. G. Hemanth Kumar, S. Vinay and N. G. Girish Kumar. According to the simulation results in the study, gain is 6.71 dBi at 2.4 GHz resonance frequency. Simulation results and fabricated antenna results are very close to each other. Finally the proposed antenna is compared with rectangular patch antenna array [11]. A dual broadband antenna that supports IEEE 802.11 ac/b/g/n standards is proposed by Merih Palandöken. The proposed antenna consists of two split ring resonators those are interspaced and electrically small. The antenna work at 2.3 GHz – 3 GHz at 2.65 GHz and 4.7 GHz – 6 GHz at 5.35 GHz resonance frequencies. Gain values of the antenna can be given as 4.76 dBi, 2.9 dBi and 2.44 dBi at 2.4 GHz, 5.2 GHz and 5.8 GHz, respectively. In the study, simulation results and fabricated antenna measurements have enough consistency with each other [12].

Three antennas with different geometrical values are investigated by C. Baytore et al. Aim of the study is that to present a designing way of existing microstrip patch antennas in the literature that support WLAN 802.11 ac/b/g/n standards according to the new technological standards with low fabrication cost [13]. 4x1 rectangular microstrip array antenna is designed by I. Atas, T. Abbasov and M. B. Kurt with 11.3 dBi gain. S11 and VSWR parameters are -28.91 dB and 1.2 [14]. Circular slotted rectangular microstrip patch antenna that operates at 2.4 GHz – 3.5 GHz WLAN/WiMAX applications is proposed by S. E. Bayer Keskin and C. Güler. Two resonance frequencies of the antenna can be given as 2.59 GHz and 3.34 GHz. Gain of the resonance frequencies are 2.17 dBi and 2.18 dBi for 2.59 GHz and 3.34 GHz, respectively [15]. Wideband patch dipole antenna is designed by A. Sondaş. Bandwidth of the antenna is 2.36 GHz – 3.67 GHz and its gain is obtained as 2.36 dBi [16]. Split ring antenna that operates at 2.4 GHz/ 5.2 GHz frequency bands is designed by S. C. Başaran. The designed antenna can be used for WLAN applications [17]. Compact dual band planar antenna has been designed for 2.4 GHz/5.2 GHz/5.8 GHz WLAN applications by P. Nayak. Lower and higher frequency bands of the designed antenna are 2.27 GHz – 2.58 GHz and 4.92 GHz – 5.49 GHz, respectively [18].

The rest part of the presented paper is organized with the geometrical model of proposed antenna including geometrical parameters in Section II. Simulation results of the designed antenna are given in Section III. The proposed rectangular shaped microstrip antenna is compared with several antennas in the literature in Section IV and the results of the study are summarized in Section V.

### 2. Material and Method

In this paper, rectangular patch microstrip antenna is proposed for Bluetooth/Wi-Fi applications at 2.4 GHz and 2.5 GHz frequency bands. The geometrical parameters and corresponding values of the antenna are given in Figure 1 with the values in Table 1. To obtain desired antenna parameters, rectangular shaped slots with different lengths are loaded on the patch and length of the ground is reduced. Thickness of all the rectangular shape slots is the same and 2.50 mm. Annealed copper with 0.035 mm thickness is used as ground and patch materials. FR-4 with 1.6 mm thickness is used as substrate material. In the study, after the design procedure, the antenna is simulated using CST MWS software. To feed the designed antenna, microstrip line feeding technique with discrete port is used.

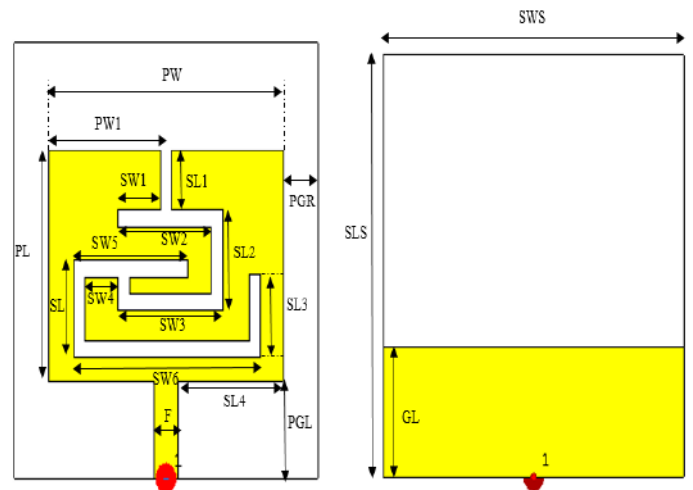


Figure 1: Geometrical Parameters of the Designed Antenna

Table 1: Geometrical Parameters of the Designed Antenna

	(mm)		
PW	50.00	SW4	7.00
PW1	23.75	SW5	24.50
PL	34.50	SW6	40.00
PGR	7.50	SL	14.50
PGL	14.50	SL1	9.00
SW1	9.00	SL2	15.00
SW2	20.00	SL3	12.50
SW3	22.50	SL4	22.50
F	5.00	SLS	65.00
GL	20.00	SWS	65.00

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Results

According to the simulation results, antenna operates as dual band rectangular patch microstrip antenna. Bandwidth and resonance frequency values of low frequency band are 2.24 GHz – 2.62 GHz (380.7 MHz) and 2.48 GHz with -18.18 dB S11 parameter, respectively. On the other hand, bandwidth and resonance frequency values of high frequency band are 5.99 GHz – 5.80 GHz (192 MHz) and 5.90 GHz with -15.13 dB S11 parameter, respectively. VSWR parameters of the antenna are 1.28 and 1.43 for 2.48 GHz and 5.9 GHz, respectively.

Farfield parameters at 2.4 GHz, 2.5 GHz and 5.9 GHz are summarized in Table 2. Also, 3D radiation patterns for 2.4 GHz and 2.5 GHz are given in Figure 3 and Figure 4.

Table 2: Parameters of the Proposed Antenna

Frequency (GHz)	Gain (dBi)	VSWR	S11 (dB)
2.4 GHz	3.45	1.35	-16.64
2.5 GHz	3.58	1.29	-18.00
5.9 GHz	4.93	1.43	-15.11

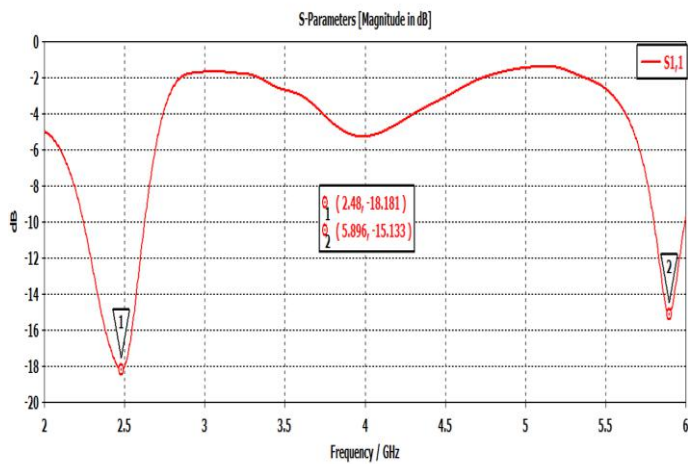


Figure 2: S11 Graph of the Designed Antenna

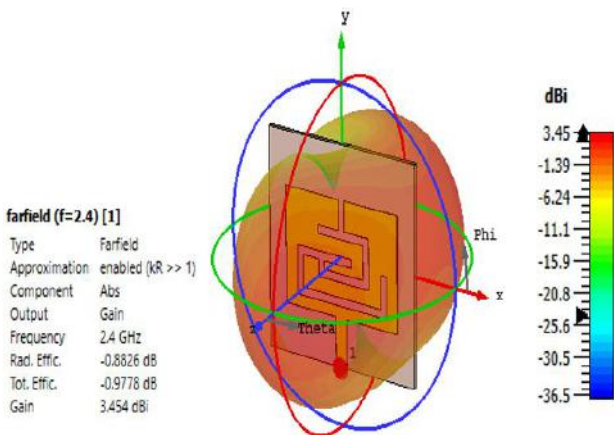


Figure 3: Simulated 3D Radiation Pattern at 2.4 GHz of the Proposed Antenna

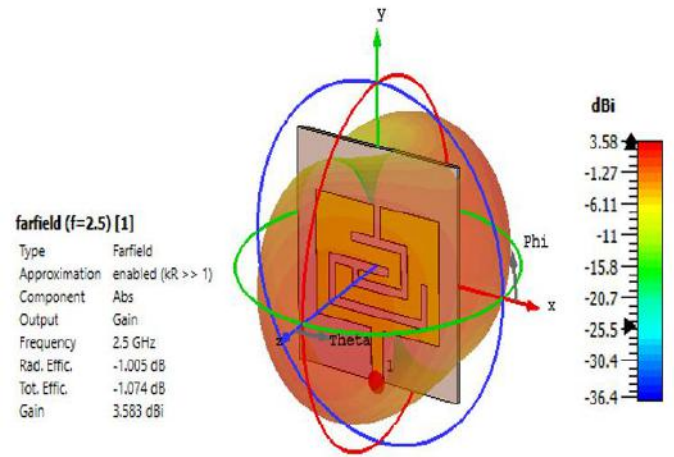


Figure 4: Simulated 3D Radiation Pattern at 2.5 GHz of the Proposed Antenna

#### 3.2. Discussion

Table 3: Comparison of Antennas

Reference	Frequency (GHz)	Gain (dBi)	S11 (dB)
[19]	2.45	-1.24	-27
	3.7	-2.59	-28
	5.8	-0.45	-27
[20]	2.4	3.93	-17.29
[21]	2.5	1.37	-29.9
	5.8	3.9	-15.16
This work	2.4	3.45	-16.64
	2.5	3.58	-18.00
	5.9	4.93	-15.11

Proposed rectangular shaped microstrip antenna has high gain and wide bandwidth in low frequency band. According to the results, the proposed antenna outperformed of similar microstrip patch antennas because of its outstanding features such as high gain, dual band operation and wide bandwidth. Also the proposed antenna is appropriate for Bluetooth/Wi-Fi applications.

### 4. Conclusions

In this study, rectangular shaped microstrip patch antennas is designed using rectangular slots with different lengths for IEEE 802.11 b/g applications. The designed antenna is simulated using CST MWS software. According to the simulation results, gain values of the antenna are 3.45 dBi, 3.58 dBi and 4.93 dBi at 2.4 GHz, 2.5 GHz and 5.9 GHz respectively. The simple structured small antenna can easily integrated to the small projects such as Bluetooth/Wi-Fi applications.

### 5. Acknowledge

This study has been carried out using the laboratory facilities of Izmir Katip Celebi University Smart Factory Systems Application and Research Center (AFSUAM). The study is supported by TUBITAK 2209-A University Students Research

Projects Support Program within the scope of project numbered 1919B012102336.

## References

- [1] Montero-de-Paz, J., Oprea, I., Rymanov, V., Babel, S., García-Muñoz, L. E., Lisauskas, A., ...& Carpintero, G. (2013). Compact modules for wireless communication systems in the E-band (71–76 GHz). *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 34(3), 251-266.
- [2] Özkaya, U., Yiğit, E., Seyfi, L., Öztürk, Ş., & Singh, D. (2021). Comparative regression analysis for estimating resonant frequency of c-like patch antennas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [3] Palandöken, M., Rymanov, V., Stöhr, A., & Tekin, T. (2012, August). Compact metamaterial-based bias tee design for 1.55  $\mu\text{m}$  waveguide-photodiode based 71–76GHz wireless transmitter. In *Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS*.
- [4] Palandöken, M., & Ucar, M. H. (2014). Compact metamaterial-inspired band-pass filter. *Microwave and Optical Technology Letters*, 56(12), 2903-2907.
- [5] Palandöken, M., & Sondas, A. (2014). Compact Metamaterial Based Bandstop Filter. *Microwave Journal*, 57(10).
- [6] Malik, P. K., Padmanaban, S., & Holm-Nielsen, J. B. (Eds.). (2021). *Microstrip Antenna Design for Wireless Applications*. CRC Press.
- [7] Drabowitch, S., Papiernik, A., Griffiths, H., Encinas, J., & Smith, B. L. (2010). *Modern antennas*. Springer Science & Business Media.
- [8] Fang, D. G. (2017). *Antenna theory and microstrip antennas*. CRC Press.
- [9] Palandöken, M. (2011). Artificial materials based microstrip antenna design. *Microstrip antennas*, 43-50.
- [10] Palandöken, M., Grede, A., & Henke, H. (2009). Broadband microstrip antenna with left-handed metamaterials. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 57(2), 331-338.
- [11] Shraavan, G. S., Suhas, L. S., Kumar, N. H., Vinay, S., & Kumar, N. G. (2019, July). 2x2 Circular Patch Antenna Array at 2.4 GHz for WSN Applications: Design and Performance Analysis of Circular Antenna Array and Comparison over Rectangular Array. In *2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 887-891). IEEE.
- [12] Palandöken, M. (2017). Dual broadband antenna with compact double ring radiators for IEEE 802.11 ac/b/g/n WLAN communication applications. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(2), 1326-1333.
- [13] Baytöre, C., Özgönül, M. C., Palandöken, M., Özbakış, B., & Kaya, A. (2015, May). Low cost dual band monopole antenna design and analysis for 802.11 b/g/n/ac standards. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 2070-2073). IEEE.
- [14] İsa, A. T. A. Ş., ABBASOV, T., & KURT, M. B. (2016). High gain array antenna design of wireless communication applications. *European Journal of Technique (EJT)*, 6(2), 145-151.
- [15] KESKİN, S. E. B., & GÜLER, C. (2021). DESIGN OF CIRCULAR SLOTTED RECTANGULAR MICROSTRIP PATCH ANTENNA WITH DUAL-RESONANCE FOR WLAN/WIMAX APPLICATIONS. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1296-1301.
- [16] SONDAŞ, A. WLAN/WiMAX Uygulamaları için Geniş Bant Mikroşerit Dipol Anten Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 788-794.
- [17] Başaran, S. C., & Erdemli, Y. E. (2008). Dual-band splitting antenna design for WLAN applications. *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 16(1), 79-86.
- [18] Nayak, P. B., Endluri, R., Verma, S., & Kumar, P. (2021). A novel compact dual-band antenna design for wlan applications. *arXiv preprint arXiv:2106.13232*.
- [19] Armağan, O., & Kahrıman, M. (2016). 2.45 GHZ, 3.7 GHZ VE 5.8 GHZ FREKANSLARDA ÇALIŞAN ÜÇ-BANT YAMA ANTEN TASARIMI. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(3), 189-193.
- [20] Geetharamani, G., & Aathmanesan, T. (2019). Design and Development of Novel Patch Antenna for 2.4 GHz WLAN Applications. *ICTACT Journal on Communication Technology*, 10(1), 1943-1946.
- [21] Uqaili, R. S., Uqaili, J. A., Zahra, S., Soomro, F. B., & Akbar, A. (2020). A Study on Dual-band Microstrip Rectangular Patch Antenna for Wi-Fi. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 16, 1-12.



# Dual-Band Microstrip Patch Antenna Design for Wi-Fi Applications

Sezer Kucukcan<sup>1\*</sup>, Adnan Kaya<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0898-4652), kucukcansezer8@gmail.com

<sup>2</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9943-6925), adnan.kaya@ikcu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084147)

**ATIF/REFERENCE:** Kucukcan, S. & Kaya, A. (2022). Dual-Band Microstrip Patch Antenna Design for Wi-Fi Applications. *European Journal of Science and Technology*, (34), 661-664.

## Abstract

In this paper, a microstrip patch antenna working at 2.4 GHz and 5.8 GHz frequencies is designed for use in Wi-Fi applications. The main purpose of the research is to design a compact, easy manufacture, and high-performance microstrip patch antenna. In the antenna, there is a patch with three slots on it as a conductor and the FR-4 substrate under it. Copper is preferred as a conductor in the patch and ground parts of the antenna. The overall dimensions of the antenna are 50 x 50 x 1.6 mm<sup>3</sup>. Three rectangular slots were opened in the patch part of the antenna for the antenna to work in the dual-band range. In addition, 50 Ω microstrip feed is used in the antenna. The antenna resonates at 2.41 GHz and 5.8 GHz frequencies. The antennas bandwidth values in the lower (2.4 GHz) and upper bands (5.8 GHz) are 53.6 MHz and 200.4 MHz, respectively. The VSWR values obtained are 1.49 for the 2.41 GHz resonant frequency and 1.08 for the 5.8 GHz resonant frequency, respectively. The directivity graph and radiation properties of the antenna show that the antenna has the desired radiation characteristics. The design of the antenna was made using CST Studio Suite 2020 software.

**Keywords:** Microstrip Patch Antenna, Wi-Fi, Dual-Band, 2.4/5.8 GHz, Bandwidth.

## Wi-Fi Uygulamaları İçin Çift Bant Mikroşerit Anten Tasarımı

### Öz

Bu bildiriye, Wi-Fi uygulamalarında kullanılmak üzere 2,4 GHz ve 5,8 GHz frekanslarında çalışan bir mikroşerit yama anteni tasarlanmıştır. Araştırmanın temel amacı, kompakt, üretimi kolay ve yüksek performanslı bir mikroşerit yama anteni tasarlamaktır. Antende iletken olarak üzerinde üç slot bulunan bir yama ve altında FR-4 substratı bulunmaktadır. Antenin yama ve toprak kısımlarında iletken olarak bakır tercih edilmiştir. Antenin genel boyutları 50 x 50 x 1,6 mm<sup>3</sup>tür. Antenin çift bant aralığında çalışması için antenin yama kısmında üç adet dikdörtgen yuva açılmıştır. Ayrıca antende 50 Ω mikroşerit besleme kullanılmıştır. Anten 2.41 GHz ve 5.8 GHz frekanslarında rezonansa girmektedir. Alt (2.4 GHz) ve üst (5.8 GHz) bantlardaki anten bant genişliği değerleri sırasıyla 53,6 MHz ve 200,4 MHz'dir. Elde edilen VSWR değerleri sırasıyla 2.41 GHz rezonans frekansı için 1.49 ve 5.8 GHz rezonans frekansı için 1.08'dir. Antenin yönlülük grafiği ve ışımaya özellikleri, antenin istenilen ışımaya özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Anten tasarımı CST Studio Suite 2020 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit Yama Anteni, Wi-Fi, Çift Bant, 2.4/5.8 GHz, Bant Genişliği.

\* Corresponding Author: kucukcansezer8@gmail.com



## 1. Introduction

With the developing technology, the number of more minimal technological devices has increased day by day. With the increase in the number of these devices, the necessity of producing a smaller size, high bandwidth, multi-band antenna that will enable simultaneous communication with more than one device has also emerged in wireless communication. Microstrip antennas are small in size, light in weight, easy to integrate, and inexpensive, making them an ideal choice for dual-band antenna design applications. The microstrip patch antennas generally consist of a flat metallic region referred to as the patch, a dielectric substrate, a ground plane, and a feed supply [1]. With the fast development of new wireless communication protocols, the technological need for mobile devices is growing by the day. Compact size, low profile, and cheap cost are all significant aspects that RF/microwave designers must attain for every wireless component. The antenna is one of the most important components at wireless communication; in addition to physical requirements, high directivity, large gain value, efficiency, and broadband operability of antennas are growing needs of wireless systems. Many strategies have been investigated to meet required specifications, ranging from the inclusion of varied shaped slits or radiating components [2-4] to the use of artificial metamaterials [5-6] and ground plane engineering, as has been done with EBG structures. Generally, a microstrip patch antenna operates in a single frequency range. Multi-band antennas are needed in applications that can work in different frequency channels such as WLAN [7-8]. Today, many new microstrip antennas have been designed and developed to be used in applications such as Wi-Fi/WiMax. The antenna designed in [9] is  $44 \times 41 \text{ mm}^2$  in size and FR-4 material was used as the substrate. In addition, there are two rectangular slots, one for each patch on the antenna and one on the ground. Although the antenna resonates at 2.5 GHz and 5.8 GHz, the bandwidth values obtained are low compared to their size. The antenna designed in [10] is  $70 \times 70 \text{ mm}^2$ . DGS (Defected Ground Structure) model was used to ensure that the antenna resonates at the desired frequencies. Although the antenna has good gain and bandwidth values for wireless applications, it cannot fully meet the need for smaller microstrip antennas. In [11], a microstrip antenna operating at 2.45 GHz and 5.8 GHz was designed for RFID and WLAN applications. FR-4 material with dimensions of  $60 \times 70 \times 1.58 \text{ mm}^3$  and a dielectric value of 4.4 was used as the substrate for the antenna. Although the antenna operates at frequencies that meet its design purpose, its dimensions are large and the measurement results did not reach as good values as the simulation results. A patch antenna operating at 2.4 GHz and 5 GHz is designed for WLAN applications in [12]. There are star-shaped slots on the patch part of the antenna. FR-4 material with  $\epsilon_r = 4.4$  dielectric value with dimensions of  $62 \times 64 \times 1.6 \text{ mm}^3$  is used in the antenna. The bandwidth obtained for the lower band in the antenna is 65 MHz, and the bandwidth obtained for the upper band is 175 MHz.

In this paper, a dual-band microstrip antenna resonating at 2.4 GHz and 5.8 GHz frequencies is designed for use in Wi-Fi applications. The overall dimensions of the antenna are  $50 \times 50 \times 1.6 \text{ mm}^3$ . For the antenna to operate at two different frequencies, 3 slits were opened in the patch part and the effect of these slits on the antenna was observed.

## 2. Material and Method

The geometric properties and structure of the proposed microstrip antenna are shown in Figure 1. There are 3 slots in the patch part of the antenna. The positions of these slits are clearly shown in the figure. The thickness of FR-4, which is used as a dielectric in the antenna, is 1.6 mm. The dielectric constant of this material is  $\epsilon_r = 4.3$ .  $50 \Omega$  microstrip feeding line is used as a feeding in antenna. The overall dimensions of the antenna are  $50 \times 50 \times 1.6 \text{ mm}^3$ . 0.035 mm thick copper is used as a conductor in the antenna. Three rectangular slots have been opened in the patch part of the antenna, thus enabling the antenna to operate at 2.4 GHz and 5.8 GHz frequencies. In addition, CST Studio Suite 2020 software was used in the design and simulation of the antenna.

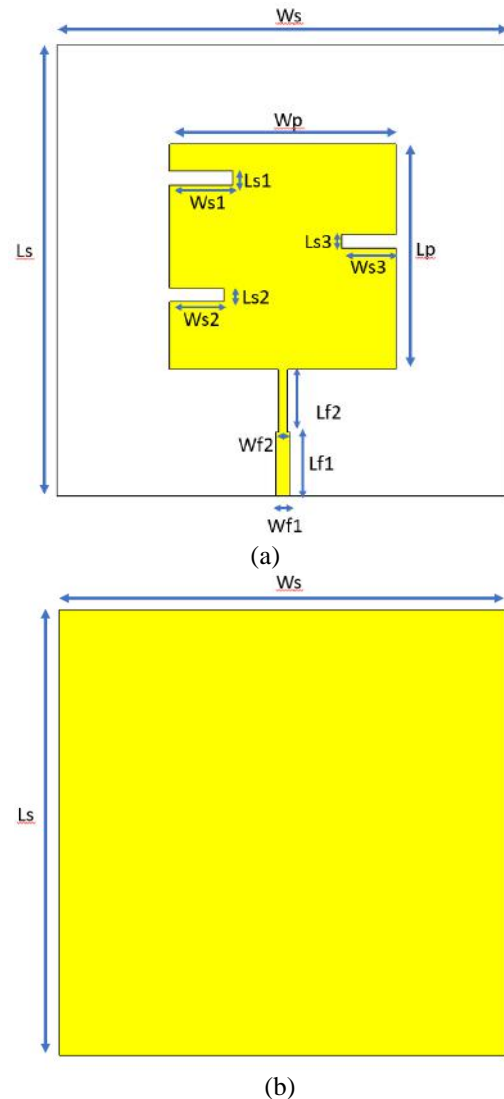


Figure 1. Geometry of the proposed antenna. (a) Top view; (b) Bottom view.

The design parameters of the antenna are listed in Table 1.

Table 1. Design parameters of the proposed antenna

Parameter	Value (mm)
Ws-Ls	50
Hs	1.6
Wp-Lp	25
Hc	0.035
Ws1-Lf1-Lf2	7
Ls1-Ls2-Ls3	1.5
Ws2-Ws3	6
Wf1	1.6
Wf2	1

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Results

The graph of the antenna S1,1 is shown in figure-2. While the bandwidth of the antenna at 2.41 GHz resonance frequency is 53.6 MHz (2.38-2.44 GHz), the bandwidth obtained at 5.8 GHz resonance frequency is 200.4 MHz (5.71-5.91 GHz). These obtained bandwidths and frequency ranges show that the antenna complies with IEEE 802.11 a/b/g standards.

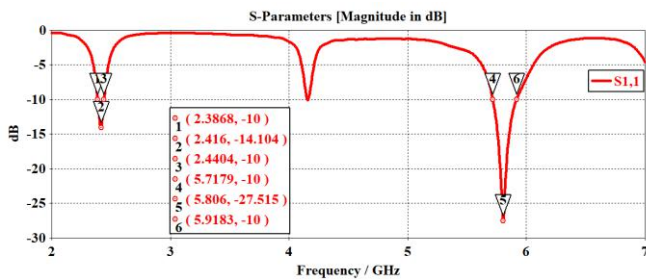


Figure 2. S11 parameter of the proposed antenna

The VSWR graph of the microstrip antenna is shown in figure 3. The VSWR value of the antenna at the 2.41 GHz resonant frequency is 1.49, while the VSWR value at the 5.8 GHz resonant frequency is 1.08. A VSWR value below 2 indicates that the impedance match between the antenna and the transmission line is good. The 1.49 and 1.08 values obtained in the antenna show that a good impedance match is obtained at the resonant frequencies.

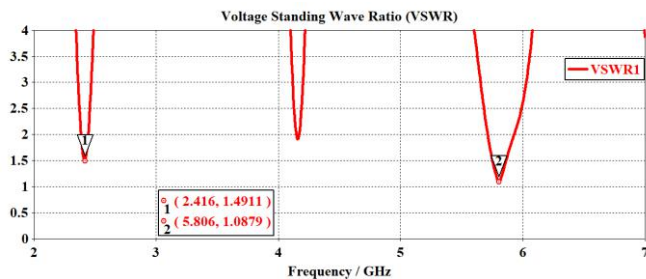


Figure 3. VSWR graph of the proposed antenna

The gain and directivity graph of the antenna is given in Figure 4.

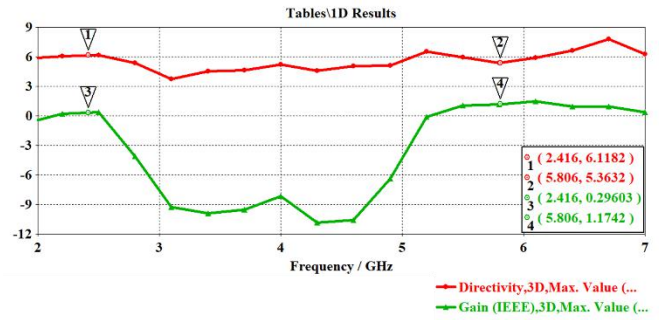


Figure 4. Gain (IEEE) and Directivity graph of the proposed antenna

The radiation pattern shows us the variation of radiation intensity over large distances in different directions of space and which direction radiates better [13]. The 3D radiation patterns of the designed antenna are illustrated in Figure 5a and Figure 5b at the two frequencies.

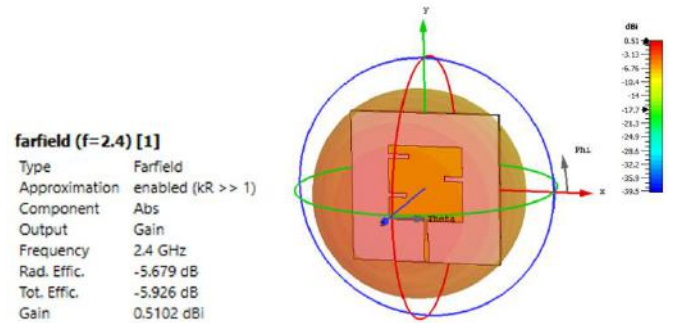


Figure 5a. 3D Radiation pattern of the proposed antenna (at frequency 2.4 GHz)

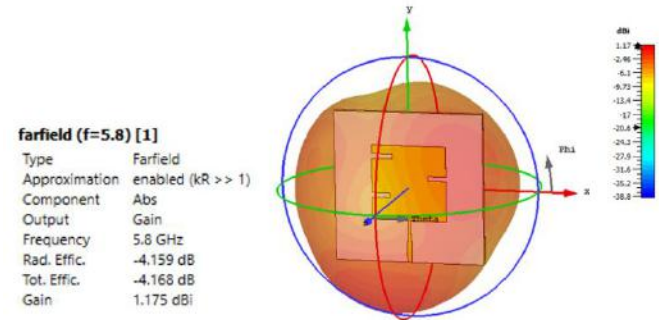


Figure 5b. 3D Radiation pattern of the proposed antenna (at frequency 5.8 GHz)

#### 3.2. Discussion

The values of the important parameters affecting the performance of the microstrip antenna are shown in Table 2.

Table 2. Performance parameters of the proposed antenna

Frequencies (GHz)	2.41	5.8
S11 (dB)	-14.10	-27.51
Bandwidth (MHz)	53.6	200.4
VSWR	1.49	1.08

Considering the dimensions of the antenna, it has the performance to meet the demand. Compared to most antennas designed for similar purposes, it is smaller in size and simpler in production. These features make the antenna preferable in Wi-Fi

applications. In addition, due to the simplicity of the design, it can be developed and is easy to manufacture.

## 4. Conclusion

In this article, a dual-band microstrip patch antenna is designed for use in Wi-Fi applications. A rectangular conductive patch is used in the antenna. Thanks to the three rectangular slots opened in this patch, the antenna can work at both 2.4 GHz and 5.8 GHz frequencies. The S<sub>1,1</sub> and VSWR results obtained in the simulation environment show that the antenna meets the IEEE 802.11 standards. The small and simple dimensions of the designed antenna ensure that it is easy to fabricate and can be easily integrated into many systems.

## 5. Acknowledge

This study has been carried out using the laboratory facilities of Izmir Katip Celebi University Smart Factory Systems Application and Research Center (AFSUAM). This study is supported by TUBITAK 2209-A University Students Research Projects Support Program within the scope of project numbered 1919B012102014.

## References

- [1] Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna theory and design*. John Wiley & Sons.
- [2] Göçen, C., Akdağ, İ., Palandöken, M., & Kaya, A. (2020, October). 2.4/5 GHz WLAN 4x4 MIMO Dual Band Antenna Box Design for Smart White Good Applications. In 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) (pp. 1-5). IEEE.
- [3] BAYTÖRE, C., GÖÇEN, C., PALANDÖKEN, M., Kaya, A., & ZORAL, E. Y. (2019). Compact metal-plate slotted WLAN-WIMAX antenna design with USB Wi-Fi adapter application. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(6), 4403-4417.
- [4] Kaya, A. (2014). Diode loaded slot-patch antenna design and analysis for 2.4 GHz transceiver application. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, 8(November-December 2014), 1205-1212.
- [5] Palandoken, M., & Henke, H. (2009, December). Fractal spiral resonator as magnetic metamaterial. In 2009 Applied Electromagnetics Conference (AEMC) (pp. 1-4). IEEE.
- [6] Palandoken, M., & Henke, H. (2010, March). Fractal negative-epsilon metamaterial. In 2010 International Workshop on Antenna Technology (iWAT) (pp. 1-4). IEEE.
- [7] Sung, Y. (2015). Compact dual-band antenna for 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN service for laptop computer applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 57(9), 2207-2213.
- [8] Row, J. S., & Huang, Y. J. (2018). Dual-band dual-polarized antenna for WLAN applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 60(1), 260-265.
- [9] Uqaili, R. S., Uqaili, J. A., Zahra, S., Soomro, F. B., & Akbar, A. (2020). A Study on Dual-band Microstrip Rectangular Patch Antenna for Wi-Fi. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 16, 1-12.
- [10] Kaur, J., Nitika, & Panwar, R. (2019). Design and optimization of a dual-band slotted microstrip patch antenna using Differential Evolution Algorithm with improved cross polarization characteristics for wireless applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 33(11), 1427-1442.
- [11] Karli, R., & Ammor, H. (2015). Rectangular patch antenna for dual-band RFID and WLAN applications. *Wireless Personal Communications*, 83(2), 995-1007.
- [12] Ferouani, S. S., Bendahmane, Z. Z., & Ahmed, A. A. T. (2017). Design and analysis of dual band star shape slotted patch antenna. *relation*, 8(1), 2.
- [13] Fujimoto, K. (2008). *Mobile antenna systems handbook*. Artech House.



# Lucas Sayı Dizisinin Bilgi Entropisi Yönünden İncelenmesi

Bünyamin ŞAHİN<sup>1\*</sup>, İhsan TUĞAL<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Matematik Bölümü, Fen Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE (ORCID: 0000-0003-1094-5481), [bunyamin.sahin@selcuk.edu.tr](mailto:bunyamin.sahin@selcuk.edu.tr).

<sup>2</sup> Yazılım Mühendisliği, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE (ORCID: 0000-0003-1898-9438)), [i.tugal@alparslan.edu.tr](mailto:i.tugal@alparslan.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083933)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, B. & Tuğal, İ. (2022). Lucas Sayı Dizisinin Bilgi Entropisi Yönünden İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 665-671.

## Öz

Lucas sayı dizisi, ilk iki terimi  $L_1 = 1$  ve  $L_2 = 3$  olmak üzere  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$  indirgeme bağıntısı ile elde edilir. Bu çalışmada Lucas sayı dizisi, bilgi entropisi yönünden incelendi. Sistemlerin entropi değerleri hesaplanırken sayı üçgenlerinden yararlanmak olağan bir uygulamadır. Fibonacci sayıları Pascal üçgeninden ve Lucas sayıları Lucas üçgeninden elde edilebileceğinden, bu üçgenlerin entropisi hesaplandı. Elde edilen sonuçlar Leibniz'in harmonik üçgeniyle kıyaslandı.

**Anahtar Kelimeler:** Entropi, Lucas Sayı Dizisi, Pascal Üçgeni, Lucas Üçgeni, Leibniz Üçgeni.

## Investigation of Lucas Number Sequence in Term of Information Entropy

### Abstract

Lucas number sequence is obtained by the recurrence relation  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$  with initial terms  $L_1 = 1$  and  $L_2 = 3$ . In this paper, the Lucas number sequence was investigated in term of information entropy. The using of number triangles is an always application when the entropy measures of systems are calculated. Since the Fibonacci number sequence can be obtained from Pascal triangle and the Lucas number sequence can be obtained from Lucas triangle, the entropy measures of these triangles were calculated. The obtained results were compared with the harmonic triangle of Leibniz.

**Keywords:** Entropy, Lucas Number Sequence, Pascal Triangle, Lucas Triangle, Leibniz Triangle.

\* Sorumlu Yazar: [bunyamin.sahin@selcuk.edu.tr](mailto:bunyamin.sahin@selcuk.edu.tr)

## 1. Giriş

Matematik, desenlerin bilimidir ve matematikçiler bu desenleri anlamaya ve çeşitli yöntemlerle yenilerini keşfetmeye çalışırlar. Üçgen sayı dizisi, sayıların bir seri veya dizi halinde düzenlenmiş eşkenar üçgen şeklinde temsilidir. Üçgen şeklindeki sayılar içinde çeşitli desenler barındırır. Bu desenler bilimde fazlasıyla kullanılır [1]. Bu yüzden üçgenleri incelemek, özelliklerini ortaya çıkarmak her zaman ilgi çekmiştir. Üzerinde çalışmaların devam ettiği konulardan biridir. Sayı teorisinde, binom katsayılarının özyinelemeli dizilerinin ve ilgili karakteristiklerinin incelenmesi yüksek merak düzeyine sahiptir

Bir sistemdeki belirsizliği veya tersi anlamda bilgi miktarını ifade eden ölçümlerden birisi entropidir. Belirsizlik ölçümü için entropi önemli rollere sahiptir. Üçgen sayı dizileri bir sistem olarak düşünüldüğünde bu yapıları entropi ile anlamaya çalışmak ilimizi çekebilir. Pascal üçgeni ile belirsizlik ölçümü arasındaki bağlantının nasıl kurulacağı ilginç bir konudur. En çok kullanılan entropilerden biri olan Tsallis entropisi, Pascal üçgeni ile modellenmiştir [2]. Ancak diğer entropi fonksiyonlarının Pascal üçgeni ile ilişkisi hala açık bir konudur [3]. Farklı üçgenlerde entropi değerlerinin ölçülmesi ve karşılaştırılması bize yeni bakış açıları sağlayacaktır. Bu çalışmada üçgenlerin entropi değerlerini ölçerek ne yönde bilgi barındırdığını ve üçgen büyüdükçe belirsizliğin nasıl değiştiğini görmeye çalıştık.

Üçgenleri farklı açılardan inceleyen, matematiksel olarak ispatlar ortaya koyan birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan en çok inceleneni ve bilineni Pascal üçgenidir. Matematikte Pascal üçgeni, olasılık teorisinde ortaya çıkan binom katsayılarının üçgen bir dizisidir [4]. Pascal üçgeni, oluşturulması basit ve matematiksel desenler açısından zengindir.

Bu üçgen çok daha önceleri bilinmesine rağmen Fransız matematikçi, filozof ve teolog Blaise Pascal, üçgen hakkında kapsamlı bir çalışma yapan ilk kişi olmuştur. Üçgende, kombinasyonlar ve permütasyonlar teorisinde önemli bir rol oynayan binom katsayıları geometrik bir şekilde düzenlenmiştir. Pascal, bu katsayılar ve olasılık teorisi arasındaki önemli bağlantıyı keşfetti.

Lucas üçgeni, Pascal üçgenine benzer bir desen oluşturan bir polinomun katsayıları dizisidir. Lucas sayısı, Fibonacci sayılarıyla aynı tekrarlama ilişkisine sahip olduğundan, 1967'de Mark Feinberg bir polinomun açılımının katsayılarını inceledi. Katsayılar, Lucas Üçgeni olarak bilinen Pascal üçgen modeli gibi üçgen bir düzende düzenlendi [5]. Neville Robbins, Pascal üçgenine benzer özelliklere sahip sonsuz bir üçgen dizi olan Lucas üçgeninin birçok özelliğini araştırdı [6].

Calculus'un kaşiflerinden biri olan büyük Alman bilim adamı Gottfried Wilhelm Leibniz, belirli yineleme bağıntısı koşulunu sağlayan birim kesirleri içeren bir sayı üçgeni tanıttı. Leibniz tarafından 1673'te açıklanan Leibniz üçgeni, bilim insanları tarafından keşfedilen birçok ilginç özellik içerir. Leibniz üçgeninin dış köşegeni Harmonik sayılar tarafından işgal edildiğinden, Leibniz üçgenini Harmonik üçgen olarak da adlandırabiliriz. Leibniz, harmonik seriler üzerine yaptığı çalışmadan harmonik üçgeni tanımlar, özelliklerini analiz eder

e-ISSN: 2148-2683

ve onu, 'tüm farkların toplamları' olarak adlandırdığı bir prosedürle sonsuz serilerin toplamlarını gerçekleştirmek için kullanır [7].

Literatüre baktığımızda üçgenler ve entropi ilişkisi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Güç kümesinin anlamını açıklamak için kombinatoryal sayı, Pascal üçgeni ve bilgi ölçüleri gösterilmiştir. Ayrıca Pascal üçgeni ile güç kümesi arasındaki ilişki bilgi ölçüsü açısından Deng entropisi tarafından nicel olarak verilmiştir [4].

Beta İntegral formülasyonu, Leibniz üçgeni ile ilgili birkaç önemli özelliği belirlemeyi sağladı. Sonsuz Hokey Sopası teoremi ve Sonsuz Üçgen Toplamı teoremi, Leibniz üçgeninin girişlerinin Beta İntegral formülasyonu kullanılarak yeniden formüle edilmesi ile yeniden ispatlandı [7].

Kanıt teorisinde temel olasılık atamasının belirsizliğini ölçmek için çeşitli entropiler mevcuttur. Bunlardan biri olan Deng entropisi ile sözde-Pascal üçgeni arasındaki ilişki Dempster-Shafer kanıt teorisine göre incelendi [3].

Yapılan çalışmada sistemin durumuna ilişkin bilgisizliğin miktarını ölçmeyi amaçlayan bir kavram olan fiziksel entropi yeniden incelendi. Ayrık durumların olasılık yapısının, ilginç bir şekilde, hem Pascal hem de Leibniz üçgenleriyle yakından ilişkili olduğu gösterildi [2].

Fibonacci sayılarının, alt dizileri olan çift ve tek indisli Fibonacci sayılarının entropileri hesaplandı [8]. Lucas sayıları da Fibonacci sayıları gibi indirgeme bağıntısıyla elde edilmektedir.

Bu çalışmada Lucas sayı dizisi bilgi entropisi yönünden ele alındı. Sistemlerin entropi değerleri hesaplanırken sayı üçgenlerinden yararlanmak olağan bir uygulamadır. Fibonacci sayıları Pascal üçgeninden, Lucas sayıları ise Lucas üçgeninden elde edilebileceğinden, bu üçgenlerin entropisi hesaplandı. Ayrıca, elde edilen sonuçlar Leibniz'in harmonik üçgeniyle kıyaslandı.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde Shannon'ın bilgi entropisi, Lucas sayı dizisi ve bazı alt dizileri hakkında bilgiler sunulacaktır.

Lucas sayı dizisi, ilk iki terimi  $L_1 = 1$  ve  $L_2 = 3$  olmak üzere  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$  indirgeme bağıntısı ile elde edilir. Buradan hareketle Lucas sayı dizisinin bazı terimleri şu şekilde verilebilir;  $L_1 = 1, L_2 = 3, L_3 = 4, L_4 = 7, L_5 = 11, L_6 = 18, L_7 = 29, L_8 = 47$ .

**Tanım 2.1.** Bir sistemin olasılık dağılımı  $p_1, p_2, \dots, p_n$  için  $0 \leq p_i \leq 1$  ve  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ , olmak üzere Shannon'ın bilgi entropisi aşağıdaki gibi hesaplanır [8]

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i.$$

Yazımı kolaylaştırma adına bundan sonra  $\log_2 p_i$  yerine  $\log p_i$  yazımı kullanılacaktır.

**Teorem 2.2.** Lucas sayılarının toplamı, çift indisli Lucas sayılarının toplamı, tek indisli Lucas sayılarının toplamı ve Lucas sayılarının karelerinin toplamı aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 i) \quad & \sum_{i=1}^n L_i = L_1 + L_2 + \dots + L_n = L_{n+2} - 3 \\
 ii) \quad & \sum_{i=1}^n L_{2i} = L_2 + L_4 + \dots + L_{2n} = L_{2n+1} - 1 \\
 iii) \quad & \sum_{i=1}^n L_{2i-1} = L_1 + L_3 + \dots + L_{2n-1} = L_{2n} - 2 \\
 iv) \quad & \sum_{i=1}^n L_i^2 = L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_n^2 = L_n L_{n+1} - 2
 \end{aligned}$$

Lucas sayılarının, çift indisli Lucas sayılarının, tek indisli Lucas sayılarının ve Lucas sayılarının karelerinin entropi değerleri Tanım 2.1 ve Teorem 2.2 yardımıyla Tanım 2.3 de ifade edilecektir.

**Tanım 2.3.** i) Lucas sayı dizisinin bilgi entropisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_L &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \log \frac{L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{n+2} - 3} \log \frac{L_i}{L_{n+2} - 3}
 \end{aligned}$$

ii) Çift indisli Lucas sayılarının bilgi entropisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_L &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_{2i}}{\sum_{i=1}^n L_{2i}} \log \frac{L_{2i}}{\sum_{i=1}^n L_{2i}} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_{2i}}{L_{2n+1} - 1} \log \frac{L_{2i}}{L_{2n+1} - 1}.
 \end{aligned}$$

iii) Tek indisli Lucas sayılarının bilgi entropisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_L &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_{2i-1}}{\sum_{i=1}^n L_{2i-1}} \log \frac{L_{2i-1}}{\sum_{i=1}^n L_{2i-1}} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_{2i-1}}{L_{2n} - 2} \log \frac{L_{2i-1}}{L_{2n} - 2}.
 \end{aligned}$$

iv) Lucas sayılarının karelerinin bilgi entropisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_L &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \log \frac{L_i^2}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2}{L_n L_{n+1} - 2} \log \frac{L_i^2}{L_n L_{n+1} - 2}
 \end{aligned}$$

Lucas sayıları  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$  indirgeme bağıntısı yardımıyla hesaplanır. İndirgeme bağıntısına gerek kalmadan hesaplanabilen sonsuz bir sayı dizisi ile karşılaştırma yapılabilmesi için pozitif tamsayılardan yararlanacağız. Bunun için öncelikle, ardışık tamsayıların, ardışık çift, tek tamsayıların ve ardışık sayıların karelerinin toplamını veren formülleri hatırlatalım.

**Teorem 2.4.**

$$\begin{aligned}
 i) \quad & \sum_{i=1}^n i = 1 + 2 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2} \\
 ii) \quad & \sum_{i=1}^n 2i = 2 + 4 + \dots + 2n = n(n+1) \\
 iii) \quad & \sum_{i=1}^n (2i-1) = 1 + 3 + \dots + 2n-1 = n^2 \\
 iv) \quad & \sum_{i=1}^n i^2 = 1^2 + 2^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}
 \end{aligned}$$

**Tanım 2.5.** i) Ardışık pozitif tamsayıların bilgi entropisi aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_Z &= - \sum_{i=1}^n \frac{i}{\sum_{i=1}^n i} \log \frac{i}{\sum_{i=1}^n i} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{i}{\frac{n(n+1)}{2}} \log \frac{i}{\frac{n(n+1)}{2}}
 \end{aligned}$$

ii) Ardışık pozitif çift tamsayıların bilgi entropisi aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_Z &= - \sum_{i=1}^n \frac{2i}{\sum_{i=1}^n 2i} \log \frac{2i}{\sum_{i=1}^n 2i} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{2i}{n(n+1)} \log \frac{2i}{n(n+1)}.
 \end{aligned}$$

iii) Ardışık pozitif tek tamsayıların bilgi entropisi aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$\begin{aligned}
 I_Z &= - \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{\sum_{i=1}^n (2i-1)} \log \frac{2i-1}{\sum_{i=1}^n (2i-1)} \\
 &= - \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n^2} \log \frac{2i-1}{n^2}.
 \end{aligned}$$

iv) Ardışık pozitif tamsayıların karelerinin bilgi entropisi aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$I_L = - \sum_{i=1}^n \frac{i^2}{\sum_{i=1}^n i^2} \log \frac{i^2}{\sum_{i=1}^n i^2}$$

$$= - \sum_{i=1}^n \frac{i^2}{\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}} \log \frac{i^2}{\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}$$

Bilgi entropisi tanımında  $p_i$  ler yerine  $x$  alınarak aşağıdaki  $f$  fonksiyonu elde edilir. Bu fonksiyonun maksimum noktası araştırmak için türevi alınıp 0' a eşitlenerek

$$f(x) = -x \log_2 x$$

$$f'(x) = -\log_2 x - \frac{1}{\ln 2}$$

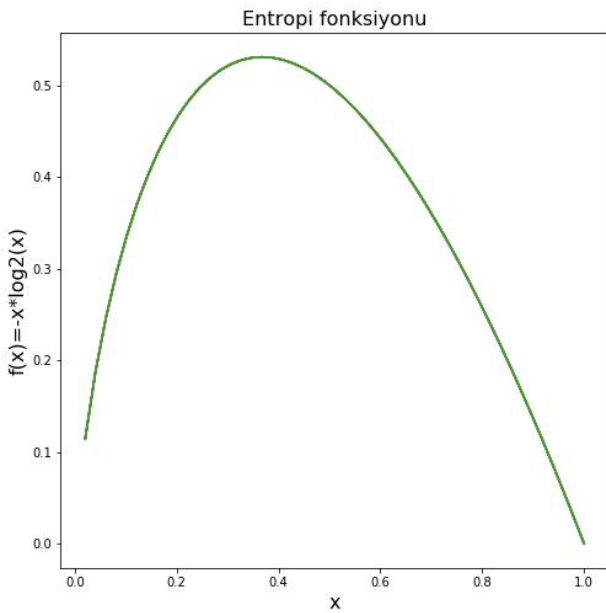
$$f'(x) = -\log_2 x - \frac{1}{\ln 2} = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{1}{e} \approx 0,368$$

bulunur. İkinci türev yardımıyla da bulunan noktanın bir maksimum noktası olduğu anlaşılır.  $f$  fonksiyonunun grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir.

$$f''(x) = -\frac{1}{x \ln 2}$$

$$\Rightarrow f''\left(\frac{1}{e}\right) = -\frac{e}{\ln 2} \approx -3,922 < 0$$

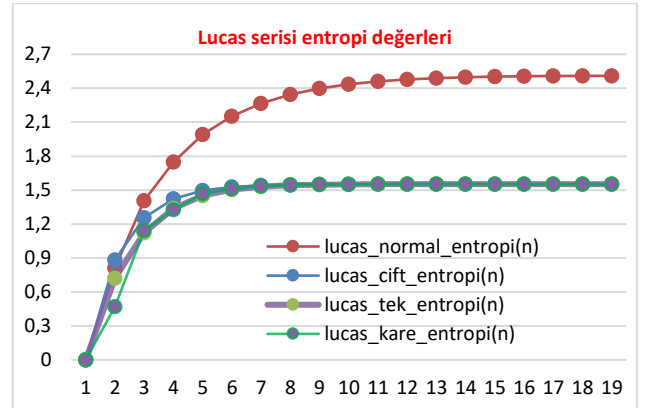


Şekil 1. Entropi fonksiyonunun grafiği

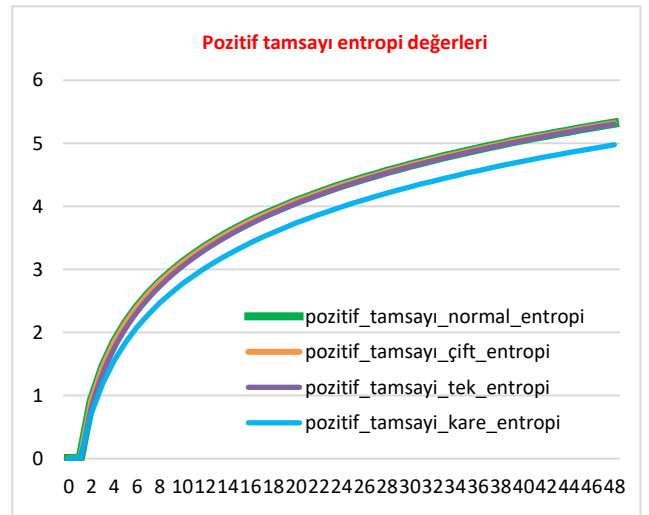
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Lucas sayılarının entropisi, çift indisli, tek indisli Lucas sayılarının entropileri ve Lucas sayılarının karelerinin entropileri Tablo 1 de ve Şekil 2 de gösterilmiştir. Lucas sayılarının entropisi 2,51179'a, alt diziler olan çift ve tek indisli Lucas sayılarının entropisi ise 1,55237'e yakınsamaktadır. Lucas sayılarının kareleri ise alt dizilere benzer şekilde 1,55237'e yakınsamaktadır.

Lucas sayıları  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$  indirgeme bağıntısıyla elde edilmektedir. Bunun anlamı bir Lucas sayısının kendinden önceki iki sayının toplamıyla elde edilmesidir. Buradan elde edilen sonuçları karşılaştırabilmek için bir de indirgeme bağıntısına ihtiyaç duyulmayan bir sayı dizisi kullanılacaktır. Bunun için ardışık pozitif tamsayılar, ardışık pozitif çift sayılar ve tek sayılar ile ardışık pozitif tamsayıların kareleri kullanılmıştır. Şekil 3'de pozitif tamsayı grubu entropi değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, artış hızı azalmakla birlikte entropi değerlerinin Lucas sayılarında olduğu gibi belli bir değere yakınsamadığı ortaya çıkmaktadır



Şekil 2. Lucas Sayı Grubu Entropileri

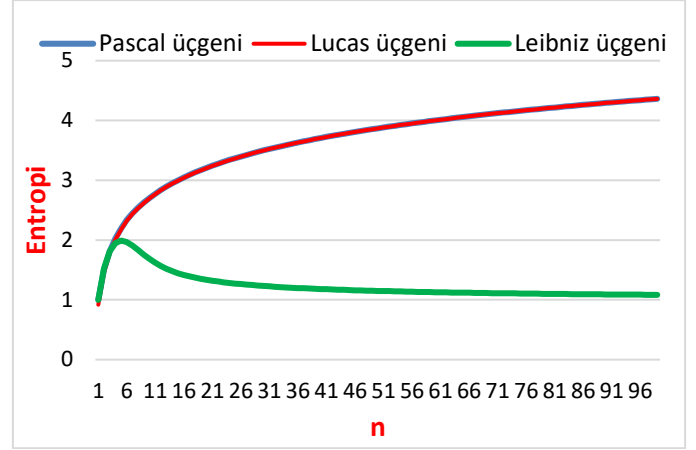


Şekil 3. Pozitif Tamsayılar Grubu Entropileri

Entropi değerlerinin analizi için sayı üçgenlerinden yararlanılabilir. Pascal üçgeninde ilk terimden başlayarak

birbirine paralel doğruların çizilmesiyle aynı doğru üzerindeki sayıların toplamının Fibonacci sayılarını verdikleri bilinmektedir. Benzer şekilde Lucas üçgeninde de aynı yöntemle Lucas sayıları elde edilebilmektedir. Pascal üçgeni, Lucas üçgeni ve Leibniz'in harmonik üçgeni sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta Pascal ve Lucas üçgeninde her satırdaki uç değerler sabit olmakla birlikte arada kalan sayılar bir üst satırdaki iki sayının toplamı şeklinde elde edilmektedir. Leibniz'in harmonik üçgeninde ise tam tersine alt satırdaki iki sayının toplamı üst satırdaki sayıyı vermektedir. Bahsi geçen üç sayısal üçgenin entropilerinin sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir



Şekil 4. Pascal, Lucas ve Leibniz üçgenleri entropilerinin grafiği

Tablo 1. Lucas Sayılarının ve Entropilerinin Dağılımlar

n	Lucas(n) Sayıları	Normal Entropi(n)	Çift İndisli Lucas Sayıları Entropi(n)	Tek İndisli Lucas Sayıları Entropi(n)	Lucas Sayılarının Kareleri Entropi(n)
1	1	0	0	0	0
2	3	0,811278	0,881291	0,721928	0,468996
3	4	1,40564	1,25503	1,12164	1,14162
4	7	1,74647	1,42174	1,33774	1,32682
5	11	1,99044	1,49572	1,44963	1,4676
6	18	2,15219	1,52811	1,50485	1,50901
7	29	2,26653	1,54209	1,53099	1,53604
8	47	2,34467	1,54806	1,54296	1,5445
9	76	2,39885	1,55058	1,5483	1,5494
10	123	2,43579	1,55163	1,55063	1,551
11	199	2,46097	1,55207	1,55164	1,55185
12	322	2,47796	1,55225	1,55206	1,55214
13	521	2,48938	1,55232	1,55224	1,55228
14	843	2,497	1,55235	1,55232	1,55233
15	1364	2,50207	1,55236	1,55235	1,55236
16	2207	2,50543	1,55237	1,55236	1,55237
17	3571	2,50764	1,55237	1,55237	1,55237
18	5778	2,50909	1,55237	1,55237	1,55237
19	9349	2,51003	1,55237	1,55237	1,55237
20	15127	2,51065	1,55237	1,55237	1,55237
21	24476	2,51105	1,55237	1,55237	1,55237
22	39603	2,51132	1,55237	1,55237	1,55237
23	64079	2,51148	1,55237	1,55237	1,55237
24	103682	2,51159	1,55237	1,55237	1,55237
25	167761	2,51166	1,55237	1,55237	1,55237
26	271443	2,51171	1,55237	1,55237	1,55237
27	439204	2,51174	1,55237	1,55237	1,55237
28	710647	2,51176	1,55237	1,55237	1,55237
29	1149851	2,51177	1,55237	1,55237	1,55237
30	1860498	2,51178	1,55237	1,55237	1,55237
31	3010349	2,51178	1,55237	1,55237	1,55237
32	4870847	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
33	7881196	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237



34	12752043	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
35	20633239	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
36	33385282	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
37	54018521	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
38	87403803	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
39	141422324	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
40	228826127	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
41	370248451	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
42	599074578	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
43	969323029	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
44	1568397607	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
45	2537720636	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
46	4106118243	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
47	6643838879	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
48	10749957122	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237
49	17393796001	2,51179	1,55237	1,55237	1,55237

n=0					1															
n=1					1				1											
n=2					1			2			1									
n=3					1		3		3			1								
n=4				1		4		6		4			1							
n=5				1		5		10		10		5		1						
n=6				1		6		15		20		15		6		1				
n=7				1		7		21		35		35		21		7		1		
n=8				1		8		28		56		70		56		28		8		1

Şekil 5. Pascal Üçgeni

n=0										2															
n=1									1					2											
n=2									1			3				2									
n=3									1		4		5				2								
n=4									1		5		9		7				2						
n=5									1		6		14		16		9			2					
n=6									1		7		20		30		25		11		2				
n=7									1		8		27		50		55		36		13		2		
n=8									1		9		35		77		105		91		49		15		2

Şekil 6. Lucas Üçgeni

n=0																											
n=1																											
n=2																											
n=3																											
n=4																											
n=5																											
n=6																											
n=7																											
n=8																											

Şekil 7. Leibniz Üçgeni

## 4. Sonuç

Bu çalışmada Lucas sayılarının, tek indisli Lucas sayılarının, çift indisli Lucas sayılarının ve Lucas sayılarının karelerinin bilgi entropilerinin değerleri hesaplanmış ve daha önce elde edilen Fibonacci sayılarının entropileriyle kıyaslanmıştır. Bunlara ek olarak Pascal üçgeninin, Lucas üçgeninin ve Leibniz'in harmonik üçgeninin de entropi değerleri hesaplanmış ve değişimleri incelenmiştir. Üçgenlerin karmaşıklık değerlerinin entropi kullanılarak ölçülmesi yeni bakış açıları, üçgenlerin barındırdığı bilgi miktarını ölçmek açısından önemlidir. Üçgenlerin birbirine göre nasıl bir davranış gösterdiği bu çalışmada elde edilen sonuçlarla görülebilir.

## Kaynakça

- [1] I. D. Stones, "The Harmonic Triangle: Opportunities for Pattern Identification and Generalization," *Math. Teach.*, vol. 76, no. 5, 2021.
- [2] C. Tsallis, M. Gell-Mann, and Y. Sato, "Asymptotically scale-invariant occupancy of phase space makes the entropy  $S_q$  extensive," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 102, no. 43, pp. 15377–15382, Oct. 2005
- [3] X. Gao and Y. Deng, "The Pseudo-Pascal Triangle of Maximum Deng Entropy," *Int. J. Comput. Commun. Control*, vol. 15, no. 1, Feb. 2020.
- [4] Y. Song and Y. Deng, "Entropic Explanation of Power Set," *Int. J. Comput. Commun. Control*, vol. 16, no. 4, Aug. 2021.
- [5] S. R. Nurshiami, A. Wardayani, and K. H. Setiani, "Karakteristik Segitiga Lucas," *J. Ilm. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 11, no. 1, p. 11, May 2020.
- [6] N. Robbins, "The lucas triangle revisited," *Fibonacci Q.*, vol. 43, no. 2, 2005.
- [7] R. Sivaraman, "On Some Properties of Leibniz's Triangle," *Math. Stat.*, vol. 9, no. 3, pp. 209–217, May 2021.
- [8] İ. Tuğal, B. Şahin, A. Şahin, "The Shannon Entropy of Fibonacci Numbers", *MATI* vol. 4, no 1, pp. 12-22, Jan. 2022.



# Design and Interpretation of Microstrip Patch Antenna Operating at 2.4GHz for Wireless WI-FI Application

Gokcen Demirbas<sup>1\*</sup>, Ekrem Akar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering, Department of Electric and Electronics, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9636-3919), gokcen\_demirbas@hotmail.com

<sup>2</sup> Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering, Department of Electric and Electronics, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8945-0619), 8ekremakar@gmail.com

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083933)

**ATIF/REFERENCE:** Demirbas, G. & Akar, E. (2022). Design and Interpretation of Microstrip Patch Antenna Operating at 2.4GHz for Wireless WI-FI Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 672-675.

## Abstract

With the renewed and changing technology in recent years, wireless communication has increased its importance in engineering, communication, transportation and almost every field. In this study, a Wi-Fi antenna with 2.4 GHz operating frequency, which is one of the leading studies of antenna technology, which can be used in wireless communication technology, has been designed. Wi-Fi antenna is very important for this technology, which has become indispensable for everyone today. To design the Wi-Fi antenna, the operating frequency specified in the IEEE 802.11 standards has been taken into account. While choosing the antenna model, micro-strip antenna was preferred due to its geometry, lightness, low production cost and compactness. While designing the antenna, CST Microwave Studio program was used and necessary measurements were made. While designing the antenna, FR-4 substrate with a dielectric coefficient of 4.3 and a thickness of 1.6 mm was used. Copper was used as the material for the ground and patch parts. As a result of the design, most of the intended goals were achieved. Graphs were analyzed from the CST microwave studio program. When the required S parameter value is examined; The antenna obtained as a result of this study operates in the 2.26 GHz-2.38 GHz band range, which is the targeted frequency of 2.4 GHz. The Wi-Fi antenna obtained in this study; return loss value is 25.90dB and gain value is 4.66 dBi. These results are acceptable according to the standards.

**Keywords:** Wi-Fi Antenna, Microstrip Patch, Return Loss, IEEE 802.11, Antenna Design

## Kablosuz WI-FI Uygulaması için 2.4GHz'de Çalışan Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Yorumlanması

### Öz

Son yıllarda yenilenen ve değişen teknoloji ile kablosuz iletişim mühendislik, iletişim, ulaşım ve hemen her alanda önemini artırmıştır. Bu çalışmada, kablosuz iletişim teknolojisinde kullanılacak anten teknolojisinin önde gelen çalışmalarından biri olan 2.4 GHz çalışma frekansına sahip bir Wi-Fi anteni tasarlanmıştır. Günümüzde herkes için vazgeçilmez hale gelen bu teknoloji için Wi-Fi anteni oldukça önemlidir. Wi-Fi anteni tasarlanırken IEEE 802.11 standartlarında belirtilen çalışma frekansı dikkate alınmıştır. Anten modeli seçilirken geometrisi, hafifliği, düşük üretim maliyeti ve kompaktlığı nedeniyle mikro şerit anten tercih edilmiştir. Anten tasarımı yapılırken CST Microwave Studio programı kullanılmış ve gerekli ölçümler yapılmıştır. Anten tasarlanırken dielektrik katsayısı 4,3 ve kalınlığı 1,6 mm olan FR-4 substratı kullanılmıştır. Zemin ve yama parçaları için malzeme olarak bakır kullanılmıştır. Tasarımın bir sonucu olarak, amaçlanan hedeflerin çoğuna ulaşıldı. Grafikler, CST mikrodalga stüdyo programından analiz edildi. İstenilen S parametre değeri incelendiğinde; bu çalışma sonucunda elde edilen anten, hedeflenen frekans olan 2.4 GHz olan 2.26 GHz-2.38 GHz bant aralığında çalışmaktadır. Bu çalışmada elde edilen Wi-Fi anteni; geri dönüş kaybı değeri 25.90dB ve kazanç değeri 4.66 dBi'dir. Bu sonuçlar standartlara göre kabul edilebilir niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Wi-Fi Anteni, Mikroşerit Yama, Dönüş Kaybı, IEEE 802.11, Anten Tasarımı.

\* Corresponding Author: [gokcen\\_demirbas@hotmail.com](mailto:gokcen_demirbas@hotmail.com)

## 1. Introduction

In digitalizing and developing world, the importance of wireless communication has increased day by day when it says 3G, 4G and the latest technology 5G [1]. The fact that wireless communication has become so widespread has revealed the need for equipment to be used in this technology [2-5]. The elements found in the past began to become unable to meet the needs, and there was a need for a better version to be revealed instead. One of the most widely used areas of wireless communication is WLAN systems [6-7]. Antennas are the most important parts required for data transfer in this system. Many studies have been carried out in order to meet the needs and make adequate transfer [8-10].

One of the most important features suitable is small size antenna design. Palandöken et al. A compact antenna design operating in 2.4, 5.2 and 5.8 GHz (WLAN) and 3.5 and 5.5 GHz (WiMAX) frequency bands compatible with 802.11.ac/n standards has been realized. The proposed metal antenna is made of a 0.5 mm thick copper plate with a compact overall physical size of 20 mm x 30 mm. It meets the desired features in terms of size [11]. This technology requires high-performance antennas [12]. It should also be cost-effective and easy to manufacture. In line with this definition, microstrip antenna, which is the most advantageous option that meets the demand, has been discussed. Rachmansyah et al designed the flattest microstrip patch antenna known. The gain value of this antenna is 11dBi [13]. The main problem of microstrip antennas is narrow bandwidth. In order to solve this problem, Haydar Ahmet, Y. Teşneli and N. Berna Teşneli compared the results using different feeding methods and analyzed the most appropriate feeding that could be used in the designed model. Coplanar feeding was the best feeding method with 60% bandwidth [14]. Afridi et al., on the other hand, designed an antenna with a gain value of 8.27 dBi and a return loss value of 21.29 dB, but with a very low bandwidth [15]. Another method to solve this problem is to open slots on the antenna. Raad H. Thaher and Zainab S. Jamil made parametric studies on the antenna in their study and opened slots in certain areas. The antenna they designed works in 2.4/5.8 GHz bands for Wi-Fi/WiMAX applications. The resulting return loss is 32.77 dB at 2.4 GHz at 7.4% bandwidth and 25.955 dB at 5.8 GHz with 8.17% bandwidth [16]. Looking at the study of Ali Hanafiah Rambe et al, the gain value of this antenna operating in the range of 2,404 GHz- 2,482 GHz is 6 dBi and the return loss value is 13.75 dB [17]. IEEE 802.11 standards were taken into account while doing all these studies. IEEE 802.11 standards are the general name of the developed wireless networks. 802.11 standards represent protocols created over WLAN within the local network. In this study, the dimensions of the antenna were changed, parametric studies were carried out and the most ideal dimensions were tried to be obtained by open slots on the selected surface [18]. It is aimed to design the most suitable microstrip antenna in terms of return loss and antenna gain. As a result of the simulations, the graphics were examined and interpretations were made [19].

The paper is structured as follows. In Chapter 2, a discussion will be made about the design of the designed antenna, its dimensions, feeding methods, and the preferred application for

simulation. In Chapter 3, simulation results of the designed antenna are presented. In chapter 4, literature comparison is made and the difference between antenna and past is presented. In the last chapter, chapter 5, the general summary of the study is explained.

## 2. Material and Method

### 2.1. Proposed Antenna Design

There are 3 important parts of the antenna while designing a micro-strip antenna. Ground -- Patch – Substrate. While designing the antenna, the first step is to make the ground layer, which is the conductive layer. The ground material of the antenna we designed is copper and its thickness is 0.035mm. This layer must be conductive. The second layer is the substrate layer. The material FR4 was chosen for this layer. Its dielectric coefficient is 4.3 and its thickness is 1.6 mm. Generally, FR4 material is used in antenna designs. The other layer is the patch part. The patch layer is the layer on which the antenna radiates. This part should be conductive. Choosing copper was deemed appropriate. Its thickness is taken as 0.035 mm. It is aimed to bring the antenna to the desired frequency by making changes on this layer. After the necessary parametric analyses were made, it took the shape shown

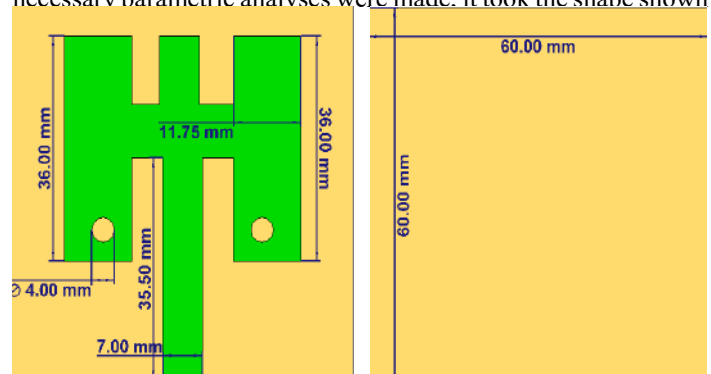


Fig. 1 Proposed antenna design

### 2.2 Proposed Antenna Feed

There are many feeding methods for the designed antennas. Micro-strip feed line is used for the antenna it was designed in this article. Optimal results were observed with this feeding [20]. The input impedance between the feed line and the antenna should be normalized. The normalized result is the input impedance of 50 ohms, because this value is the internationally accepted value. It is an important value for the proper integration of the antenna and the feed line.

### 2.3 Simulation and Measurement

The CST microwave studio program was used to design the antenna. The S (1, 1) gain return loss radiation pattern graphics of the designed antenna were examined and the results were interpreted.

Table 1. Design parameters of proposed antenna

PARAMETER	MEASUREMENT
Left of Patch	36 mm
Right Top of Patch	11.75 mm
Radius of Slot	2 mm
Length of Feed	7 mm
Height of Feed	3 mm
Length of Ground	60 mm
Height of Ground	60 mm
Thickness of Substrate	1.6 mm
Thickness of Ground	0.035 mm
Thickness of Patch	0.035 mm

### 3. Result and Discussion

#### 3.1. Result

The results of the simulations of the antenna was designed in the CST microwave studio program were examined. The necessary results and graphics for the antenna are given below.

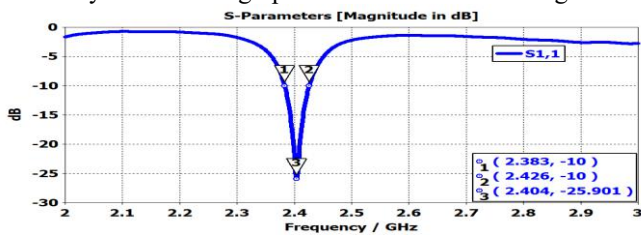


Fig. 2 Return loss of proposed antenna

The S parameter graph of the designed antenna is shown in Figure 2. According to the graph it was examined, the Wi-Fi antenna operating frequency has a return loss value of 25.90 dB. 25.90 dB return loss value is a very good result for the antenna. ( $S_{11} \leq -10$  dB). The operating frequency range of the designed antenna is 2.382 GHz – 2.426 GHz.

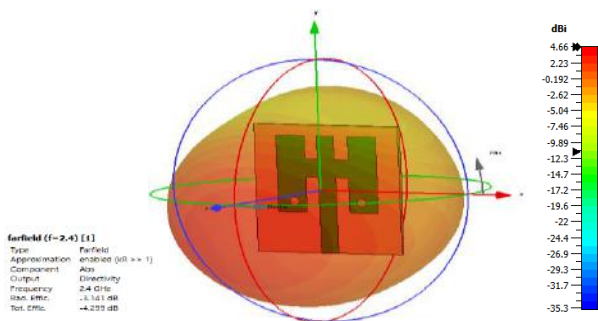


Fig. 3 Radiation Pattern of proposed antenna

It was obtained the gain of the antenna it was designed as 4.66 dBi as given in Figure 3.

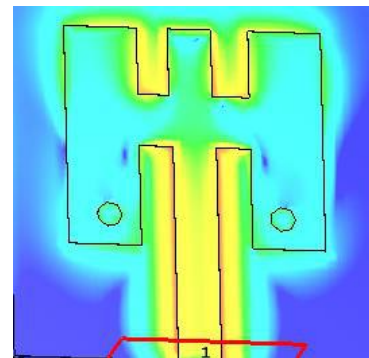


Fig. 4 Current Density of proposed antenna

The surface current density simulation results of the antenna designed in the study are shown in Figure 4 at 2.4GHz. When look at the simulation result, it is observed that this density decreases as to go to the edges where the current density is high along the supply line.

#### 3.2. Discussion

The relevance of wireless communication in the globe is growing by the day in such times when everything is linked and digitalized. Many research have been conducted in order to reduce the hurdles to wireless communication improvement. The greatest examples in the research are Wi-Fi antenna designs. Wi-Fi antennas are in high demand now, and in the future, as the Internet becomes increasingly important. The operational frequency of the antenna created is that of Wi-Fi. It has a unique structure and has a lower surface area than other instances in the literature. Materials with a low cost of production are utilised. This has been demonstrated through trials and simulations. Because the return loss is so good, it may be employed in antenna designs that require it.

### 4. Conclusion

In this study, a Wi-Fi antenna operating at 2.4 GHz was obtained by using a microstrip patch antenna. Microstrip feeding was used as feeding and waveguide port assignment was made. The return loss value of the designed antenna was measured as 25.90 dB. The antenna operates between the frequency values of 2.382 GHz – 2.426 GHz. Proposed antenna gain has a value of 4.66 dBi. Optimum values were observed by performing various parametric studies. The studies and the results obtained were

shown and evaluated. As a result of this study, an antenna with the desired values was observed.

## 5. Acknowledge

This study has been carried out using the laboratory facilities of İzmir Katip Celebi University Smart Factory Systems Application and Research Center (AFSUAM). This study is supported by TUBITAK 2209-A University Students Research Projects Support Program within the scope of project numbered 1919B012102519.

## References

- [1] Balanis, C. A. (2015). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons.
- [2] Özkaya, U., Yiğit, E., Seyfi, L., Öztürk, Ş., & Singh, D. (2021). Comparative regression analysis for estimating resonant frequency of c-like patch antennas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [3] Rymanov, Vitaly, et al. "Integrated photonic 71–76 GHz transmitter module employing high linearity double mushroom-type 1.55  $\mu\text{m}$  waveguide photodiodes." 2012 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics. IEEE, 2012.
- [4] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109.
- [5] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, IEEE Std. 802.11, 1997.
- [6] Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering*. John Wiley & sons.
- [7] Thaher, R. H., & Jamil, Z. S. (2018). Design of dual band microstrip antenna for Wi-Fi and WiMax applications. *Telkonnika*, 16(6), 2864-2870.
- [8] Palandöken, Merih, et al. "Compact metamaterial-based bias tee design for 1.55  $\mu\text{m}$  waveguide-photodiode based 71–76GHz wireless transmitter." *Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS*. 2012.
- [9] Palandöken, Merih, and Mustafa HB Ucar. "Compact metamaterial-inspired band-pass filter." *Microwave and Optical Technology Letters* 56.12 (2014): 2903-2907.
- [10] Palandöken, Merih, and Adnan Sondas. "Compact Metamaterial Based Bandstop Filter." *Microwave Journal* 57.10 (2014).
- [11] BAYTÖRE, C., GÖÇEN, C., PALANDÖKEN, M., Kaya, A., & ZORAL, E. Y. (2019). Compact metal-plate slotted WLAN-WIMAX antenna design with USB Wi-Fi adapter application. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(6), 4403-4417.
- [12] Wang, W., Ma, C., Zhang, X., Shen, J., Hanagata, N., Huangfu, J., & Xu, M. (2019). High-performance printable 2.4 GHz graphene-based antenna using water-transferring technology. *Science and technology of advanced materials*, 20(1), 870-875.
- [13] Rachmansyah, A. I., & Mutiara, A. B. (2011). Designing and manufacturing microstrip antenna for wireless communication at 2.4 GHz. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 3(5), 670-675
- [14] Kütük, H., Teşneli, A. Y., & Teşneli, N. B. (2000). 3.3 GHz mikroşerit anten tasarımı ve farklı besleme yöntemleri için analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(1), 119-124.
- [15] Afridi, M. A. (2015). Microstrip patch antenna– designing at 2.4 GHz frequency. *Biol. Chem. Res*, 2015, 128-132
- [16] Thaher, R. H., & Jamil, Z. S. (2018). Design of Dual Band Microstrip Antenna for Wi-Fi and WiMax Applications. *TELKOMNIKA*, 16(6), 2864-2870.
- [17] Mikrostrip, P. A., & Empat, S. Dual Band (1, 8 GHz dan 2, 4 GHz
- [18] Kim, M. K., Kim, K., Suh, Y. H., & Park, I. (2000, July). A T-shaped microstrip-line-fed wide slot antenna. In *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Transmitting Waves of Progress to the Next Millennium. 2000 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (C (Vol. 3, pp. 1500-1503)*. IEEE.
- [19] Karmokar, D. K., Morshed, K. M., Numan-Al-Mobin, A. M., & Kabir, A. E. (2010). High gain multiband loaded inverted-F antennas for mobile WiMAX, Wi-Fi, bluetooth and WLAN operation. *International Journal of Engineering (IJE)*, 4(3), 219-232.
- [20] Pei, Z., Ji, L., Zeng, X., Zhang, L., & Liu, C. (2019, October). A Compact Frequency Reconfigurable Patch Antenna. In *2019 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) (pp. 1-2)*. IEEE.



## PvTLP genlerinin genom çaplı tespit ve karakterizasyonu

Ayşe Gül Kasapoğlu<sup>1\*</sup>, Ahmed Sidar Aygören<sup>2</sup>, Selman Muslu<sup>3</sup>, Burak Muhammed Öner<sup>4</sup>, Murat Isıyel<sup>5</sup>, Esra Yaprak<sup>6</sup>, Sümevra Uçar<sup>7</sup>, Recep Aydın<sup>8</sup>, Büşra Uzun<sup>9</sup>, Emre İlhan<sup>10</sup>, Murat Aydın<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6447-4921), [aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr](mailto:aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr)

<sup>2</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6264-9935), [ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr](mailto:ahmed.aygoren17@erzurum.edu.tr)

<sup>3</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4777-0726), [selman.muslu25@erzurum.edu.tr](mailto:selman.muslu25@erzurum.edu.tr)

<sup>4</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2785-2089), [burakmuhammed.oner3@erzurum.edu.tr](mailto:burakmuhammed.oner3@erzurum.edu.tr)

<sup>5</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4157-2729), [murat.isiyel13@erzurum.edu.tr](mailto:murat.isiyel13@erzurum.edu.tr)

<sup>6</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8753-494X), [esra.yaprak2@erzurum.edu.tr](mailto:esra.yaprak2@erzurum.edu.tr)

<sup>7</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7629-0206), [sumevra.ucar61@erzurum.edu.tr](mailto:sumevra.ucar61@erzurum.edu.tr)

<sup>8</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3743-1835), [recep.aydinyurt62@erzurum.edu.tr](mailto:recep.aydinyurt62@erzurum.edu.tr)

<sup>9</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5682-6739), [eylembusrauzun@gmail.com](mailto:eylembusrauzun@gmail.com)

<sup>10</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8404-7900), [emre.ilhan@erzurum.edu.tr](mailto:emre.ilhan@erzurum.edu.tr)

<sup>11</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1091-0609), [maydin@atauni.edu.tr](mailto:maydin@atauni.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083519)

**ATIF/REFERENCE:** Kasapoğlu, A. G., Aygören, A. S., Muslu, S., Oner, B. M., Isıyel, M., Yaprak, E., Uçar, S., Aydın, R., Uzun, B., İlhan, E., & Aydın, M. (2022). PvTLP genlerinin genom çaplı tespit ve karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 676-684.

### Öz

TUBBY-like proteinleri (TLP) C terminal bölgede TUB domaini ve ilave olarak N terminal bölgede F-Box domaini içeren çok işlevli bir proteindir. Memelilerde nöronal gelişme ve farklılaşmada rol oynarken bitkilerde strese karşı yanıtta, sinyal iletimi ve hücre döngüsünün kontrolü gibi birçok işleve sahiptir. Bitkiler sesil organizmalar olduğu için çevresel streslerden kaçamazlar. Bu yüzden strese karşı savunma mekanizmalarını aktifleştirmektedirler. Bu savunma mekanizmalarından biri de çeşitli gen ya da gen ailelerinin ifade seviyelerinin artırılması ya da azaltılmasıdır. TLP genleri ilk olarak obez farelerde tanımlanmış olup ardından diğer ökaryotik hücrelerde de tanımlanmaya başlamıştır. Fakat *Phaseolus vulgaris* genomunda TUBBY-like proteinlerinin karakterizasyonu henüz yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı *P. vulgaris* genomundaki TLP genlerini tespit ve karakterize ederek çeşitli biyoinformatik araçlarla genom bazında analizini gerçekleştirmektir. *P. vulgaris* genomunda 10 adet TLP geni belirlenmiştir. PvTLP7 geni hariç diğer PvTLP genleri F-Box domaini içermekte ve tüm PvTLP genleri TUB domainini barındırmaktadır. PvTLP proteinlerinin amino asit sayıları 360-431, moleküler ağırlıkları 40,46-48,12 kDa ve teorik izoelektrik noktası 9,09-9,71 arasında olup PvTLP proteinleri bazik özellik göstermektedir. *Arabidopsis thaliana*, *Glycine max* ve *P. vulgaris* TLP genleri arasındaki filogenetik ilişkiler tespit edilmiş olup 3 ana gruba ayrıldığı bulunmuştur. Kuraklık ve tuz stresi altındaki PvTLP genlerinin ifade seviyeleri in silico olarak incelenmiş olup PvTLP1 ve PvTLP7 genlerinin ifade seviyelerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında TLP genlerinin fasulyedeki işlevi aydınlatılarak gelecekte yapılacak olan fonksiyonel çalışmalara zemin oluşturacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** TUBBY, F-Box, karakterizasyon, filogenetik, sinteni.

<sup>1</sup> Corresponding Author: [aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr](mailto:aysegul.kasapoglu@erzurum.edu.tr)

# Genome-wide characterization and identification of PvTLP genes

## Abstract

TUBBY-like proteins (TLP) are multifunctional proteins that contain a TUB domain in the C-terminal region and an additional F-Box domain in the N-terminal region. While it plays a role in neuronal development and differentiation in mammals, it has many functions such as the response to stress, signal transduction and cell cycle control in plants. Since plants are sessile organisms, they cannot escape from environmental stresses. Therefore, they activate their defense mechanisms against stress. One of these defense mechanisms is to increase or decrease the expression levels of various genes or gene families. TLP genes were first identified in obese mice and then began to be expressed in other eukaryotic cells. However, characterization of TUBBY-like proteins in the *Phaseolus vulgaris* genome has not yet been performed. The purpose of this study is to detect and recognize TLP genes in the *P. vulgaris* genome, as well as to analyze them using various bioinformatics tools across the genome. Ten TLP genes were identified in the *P. vulgaris* genome. Except for the PvTLP7 gene, other PvTLP genes contain the F-Box domain and all PvTLP genes contain the TUB domain. PvTLP proteins have an amino acid number of 360-431, a molecular weight of 40.46-48.12 kDa, and a theoretical isoelectric point of 9.09-9.71, and PvTLP proteins show basic properties. Phylogenetic relationships between *Arabidopsis thaliana*, *Glycine max* and *P. vulgaris* TLP genes were determined and they were found to be divided into 3 main groups. Expression levels of PvTLP genes under drought and salt stress were examined in silico, and differences in expression levels of PvTLP1 and PvTLP7 genes were observed. In the light of the information obtained from this study, the function of TLP genes in beans will be clarified and will form the basis for future functional studies.

**Keywords:** TUBBY, F-Box, characterization, phylogenetic, syntenic.

## 1. Giriş

Bitkilerin yaşamları için gerekli olan optimal şartların dışındaki tüm durumlar bitkiler tarafından stres olarak algılanmaktadır (Korkmaz ve Durmaz, 2017). Bitkiler bir stres faktörüyle karşılaştığında çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde tepkiler oluşturmaktadır. Moleküler seviyede stresle ilişkili genlerin veya gen ailelerinin ifade seviyelerinde farklılıklar meydana gelmektedir (Kırıcı, 2019). Stresle ilişki gen ailelerinden biri olan TUBBY-like proteinleri (TLP) ilk olarak obez farelerde tanımlanmıştır (Liu, 2008). TLP'ler fare, *Arabidopsis*, çeltik gibi çok hücreli organizmaların yanı sıra tek hücreli organizmalarda da yaygın olarak bulunur ve birçok hücresel işleve sahiptir (Wang et al., 2018; Wang et al., 2021). Memelilerde TLP genleri, farklılaşma ve gelişme sonrası nöronal hücrelerin korunması ve işleyişinde rol alırken bitkilerde ise büyüme ve gelişme, abiyotik ve biyotik streslere karşı yanıt, sinyal yollarının düzenlenmesi ve tohum çimlenmesi gibi birçok mekanizmada işlev göstermektedir (Ikeda et al., 2002; Wang et al., 2021).

TLP genlerinin C-terminal bölgesinde ortalama 270 amino asitlik TUBBY (TUB) domaini bulunmaktadır (Yang et al., 2008) ve hayvanların aksine bitki TLP'lerinin çoğu TUB domainine ek olarak yüksek oranda korunmuş F-box domainlerini de içermektedir (Gagne et al., 2002). F-box proteinlerinin C-terminal bölgelerinde çeşitli tekrarlar (Lösün açısından zengin tekrar (LRR), kelch tekrarı, tetratrikopeptit tekrarı (TPR) ve WD40 tekrarı) bulunmaktadır. Bu tekrarlar farklı proteinlerle etkileşimde buldukları bir ya da daha fazla oldukça değişken protein-protein etkileşim alanı içermektedir (Jain et al., 2007). TUB domaini, farklı türler arasında %55 ila %95 arasında benzerlik göstermektedir (Ikeda et al., 2002; Yang et al., 2008; Kim et al., 2017). TLP'lerin korunmuş C-terminal TUB domaininin aksine, N-terminalindeki tekrarlar türler arasında büyük değişkenlik göstermektedir (Gagne et al., 2002; Kim et al., 2017). F-box proteinleri, hücre döngüsü, translasyon-transkripsiyon kontrolü ve sinyal iletimi başta olmak üzere farklı biyolojik süreçlerin düzenlenmesinde aktif bir şekilde rol oynamaktadır (Lai et al.,

2012; Wang et al., 2020). Ayrıca TLP'lerin transkripsiyon faktörü olarak işlev gördüğü tahmin edilmektedir (Boggon et al., 2000).

Bir çalışmada *A. thaliana*'da 11 aday TLP geni tespit edilmiştir (Lai et al., 2004). Bu genlerden AtTLP9'un tuz ve kuraklık stresine yanıtta bitki toleransını artırdığı ve AtTLP3'ün ise tohum çimlenmesi sırasında ABA sinyal iletim yolağının düzenlenmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Lai et al., 2004; Bao et al., 2014). Çeltikte yapılan bir çalışmada ise 14 aday TLP geni belirlenmiş olup ekspresyon profili analizi sonucunda OsTLP14'ün tohum çimlenmesi ve fide oluşumunda aktif olarak rol aldığı rapor edilmiştir (Liu, 2008). *Cicer arietinum*'da CaTLP1 geninin ve elma TLP genlerinden biri olan MdTLP7'nin *Arabidopsis*'te aşırı ifadesinin, tuz, kuraklık ve oksidatif stres toleransını artırdığı bildirilmiştir (Wardhan et al., 2012; Xu et al., 2019). Ayrıca, çeltikte yapılan iki çalışmada, biyotik streslerden biri olan patojen istilasında konakçı ve patojen arasındaki etkileşimde TLP'lerin önemli işlevlere sahip olduğu gösterilmiştir (Cai et al., 2008; Kou et al., 2009).

Daha önce yapılan çalışmalarda *Arabidopsis*'te 11 (Lai et al., 2004), çeltikte 14 (Liu et al., 2008), elmada 9 (Xu et al., 2016), *Salvia miltiorrhiza* 12 (Wang et al., 2021), *Brassica napus* 28 (Wang et al., 2020) ve mısırdaki 15 (Yulong et al., 2016) aday TLP geni tespit edilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda *Phaseolus vulgaris*'e ait TLP genleriyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. *P. vulgaris* hem yetiştirme kolaylığı hem de besin değeri açısından oldukça önemli bir bitki olmasının yanı sıra az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için önemli bir geçim kaynağıdır (Sirat, 2020). Bu çalışmada biyoinformatik araçlar kullanılarak PvTLP genlerinin kromozomal lokasyonları, intron ekzon yapısı, korunmuş motiflerin belirlenmesi, evrimsel süreçteki seleksiyon baskısı ve abiyotik koşullar altındaki ifade profilleri belirlenmiştir. Ayrıca *P. vulgaris*, *A. thaliana* ve *G. max* TLP genleri arasında filogenetik ve sentenik ilişkiler tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında TLP genlerinin fasulyedeki işlevi aydınlatılarak gelecekte yapılacak olan fonksiyonel çalışmalara zemin oluşturacaktır.



## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. TLP Genlerinin Tespit Edilmesi

TUB domainine ait olan Pfam Erişim Numarası (PF01167) Pfam veri tabanından (<http://pfam.xfam.org/family/PF01553>) alınarak Phytozome veritabanı v13 (<https://phytozome-next.jgi.doe.gov/>)'den *G. max* (Valliyodan et al., 2019), *P. vulgaris* (Schmutz et al., 2010) ve *A. thaliana* (Lamesch et al., 2011) genomlarındaki TLP gen ailesi üyelerinin protein dizilerini elde edilmiştir. Bu üç bitkinin genomundaki aday TLP proteinlerini tespit etmek için hem Phytozome veritabanı v13'teki blastp hem de gizli Markov model (HMM) (<http://www.ebi.ac.uk>) taramasıyla üç bitkinin kendi genomlarında tespit edilmiştir. Fasulyede ilişkili dizilerdeki TLP domaininin varlığı HMMER (<http://hmmer.org/>) veritabanı vasıtasıyla taranmıştır. Fasulyedeki TLP proteinlerinin amino asit sayısı, stabilizasyon durumu, instabilite indeksi, teorik izoelektrik noktası (pI) ve moleküler ağırlığı " ProtParam aracı" (<https://web.expasy.org/protparam/>) vasıtasıyla belirlenmiştir. WoLF PSORT programı vasıtasıyla PvTLP protein dizileri girilerek bulunduğu hücre altı komponentler belirlenmiştir (Horton et al., 2007).

### 2.2. PvTLP genlerinin yapısı ve kromozom lokasyonunun belirlenmesi

PvTLP, AtTLP ve GmTLP genlerinin kodlanan ve kodlanmayan bölgeleriyle ilgili bilgi edinmek amacıyla, Gene Structure Display Server v2.0 veri tabanından faydalanılmıştır (Guo et al., 2020). Kodlanan DNA dizileri (CDS) ve genom dizileri kullanılarak PvTLP genlerinin yer aldığı konumlar tahmin edilmiştir. Phytozome veritabanı v13 aracılığıyla, PvTLP genlerinin kromozomal lokasyonları ve boyutları tespit edilmiştir. PvTLP genlerinin konumları bütün fasulye kromozomlarında işaretlenip MapChart programıyla çizilmiştir (Voorrips, 2002).

### 2.3. PvTLP genlerinin gen duplikasyonları ve korunmuş motiflerin belirlenmesi

PvTLP amino asit dizilerinin ek olarak korunmuş motiflerini saptamak için, "Multiple EM for Motif Elicitation (MEME)" aracından faydalanılmıştır (Bailey et al., 2006). Motiflerin genişlik aralığı en az 2 ve en fazla 50 ve motiflerin maksimum sayısı ise 10 olarak belirlenmiştir. Motif bölgeleri 6 ila 300 aralığındadır. Bölge dağılımı tekrarların herhangi bir sayısı olarak belirlenmiştir. Saptanan motifler InterPro veritabanının varsayılan ayarları kullanarak taranmıştır (Quevillon et al., 2005). PvTLP genlerinin gen duplikasyonları MScanX (The Multiple Collinearity Scan Toolkit) aracı kullanılarak saptanmıştır (Wang et al., 2012). PvTLP genlerinin ikili çiftleri arasındaki Non-sinonim oranları (Ka), sinonim oranları (Ks) ve evrimsel zorlamalar (Ka/Ks) PAL2NAL (Suyama et al., 2006) tarayıcısı aracılığıyla PAML (Yang, 2007) arayüzünde hesaplanmıştır.

### 2.4. Filogenetik analizler, dizi hizalama ve sinteni analizi

Filogenetik analizler, 1000 tekrarlı bootstrap değeri ile Neighbor-joining (NJ) modeline göre yapılmıştır. PvTLP protein dizileri ClustalW arayüzü kullanılarak hizalanmıştır (Thompson et al., 1997). Hizalanan veriler kullanılarak MEGA v7 programından filogenetik ağaç elde edilmiştir (Kumar et al., 2016). Filogenetik ağaç, İnteraktif Yaşam Ağacı (iTOL) tarayıcısı vasıtasıyla şekillendirilmiştir (Letunic and Bork, 2011). PvTLP, AtTLP ve GmTLP genlerinin ortologları MScanX (The Multiple

Collinearity Scan Toolkit) aracı kullanılarak (Wang et al., 2012) saptanmıştır. Ortolog genlerin protein dizileri Phytozome veritabanı v13 tarayıcısı ile belirlenmiştir PvTLP, AtTLP ve GmTLP genlerinin sinteni haritaları TbTool aracı kullanılarak şekillendirilmiştir (Chen et al., 2020).

### 2.5. PvTLP genlerinin promotör bölge analizi

PlantCARE veritabanı kullanılarak fasulye TLP gen ailesi üyelerinin herbirinin 5' upstream bölgesinden yaklaşık 2000 bp DNA parçası alınarak cis acting element analizi gerçekleştirilmiştir (Lescot et al., 2002).

### 2.6. PvTLP proteinlerinin 3D yapısı

Phyre2 veritabanına PvTLP protein dizileri girilerek protein homoloji modellemesi ve 3D yapısı belirlendi (Kelley et al., 2015). Protein modellerinin güvenilirlik oranları karşılaştırılarak en iyi 3D görüntü elde edildi.

### 2.7. İn siliko gen ifade analizi

PvTLP genlerinin ifade profillerini incelemek için Illumina RNA-seq verileri için NCBI veritabanındaki Sequence Read Archive (SRA) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra>) adlı veri kütüphanesinden elde edilmiştir. İlgili RNA-seq verilerini bulmak için tuz ve kuraklık stresi katılım sayıları tespit edilmelidir. SRR957668 (tuz stresiyle muamele edilmiş yaprak), SRR958469 (yaprak tuz kontrol), SRR8284481 (kuraklık stresiyle muamele edilmiş yaprak) ve SRR8284480 (yaprak kuraklık kontrol) katılım sayıları kullanılmıştır. Gen ifade değerlerini normalleştirmek için bir milyon eşlenmiş okuma (RPKM) algoritması başına ekzon modelinin kilobaz başına okuma algoritması kullanılmıştır (Mortazavi et al., 2008). RPKM değerleri log<sup>2</sup>'ye dönüştürülüp CIMminer (<http://discover.nci.nih.gov/cimminer>) algoritması ile heatmap haritası temin edilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Araştırma Sonuçları

PvTLP, AtTLP ve GmTLP genleri Pfam veri tabanından alınan Pfam erişim numarası (PF01167) kullanarak Phytozome tarayıcısından anahtar kelime taraması yapılarak tespit edilmiştir. Bu gen taraması sonucunda aynı genin farklı alternatif formları çıkarılıp TUB ve F-Box domaini içeren TLP genleri belirlenmiştir. *Arabidopsis*'te 11, *G. max*'ta 22 ve fasulyede 10 TLP geni saptanmıştır. PvTLP genlerinden PvTLP7 hariç tüm PvTLP genleri C terminal bölgede TUB domainine ek olarak N terminal bölgede F-Box domaini içermektedir. PvTLP proteinleri ve bu proteinlere ait kimlik bilgileri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de bu genlerin kromozomal lokasyonları, Phytozome numaraları, amino asit sayısı, moleküler ağırlıkları, teorik izoelektrik noktaları, stabilite durumu ve hüresel lokalizasyonları verilmiştir. PvTLP genleri fasulyenin 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7. kromozomlarına dağılmıştır. PvTLP proteinlerinin amino asit sayıları 360-431 aralığında olup en yüksek amino asit sayısı PvTLP10'a aitken en düşük amino asit sayısı PvTLP3'e aittir. PvTLP proteinlerinin moleküler ağırlıkları 40,46-48,12 kDa aralığındadır. En yüksek moleküler ağırlık PvTLP10'a aitken düşük moleküler ağırlık PvTLP3'e aittir. Teorik izoelektrik noktaları incelendiğinde en düşük 9,09 (PvTLP3) ve en yüksek 9,71 (PvTLP10)'dir. Tüm PvTLP proteinleri bazik özellik sergilemektedir. Kararlılık durumları incelendiğinde sadece PvTLP7 stabilken diğer genler unstabil durumdadır. PvTLP

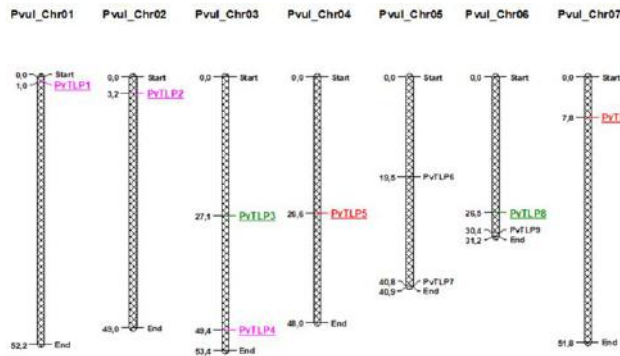
genleri çoğunlukla nükleusta ve az da olsa diğer hücre altı komponentlerde de bulunmaktadır.

Tablo 1. PvTLP proteinleri hakkında bilgi

Gen No	Phytozome ID	Chr No	Chr Lokalizasyonu	aa	MA (kDa)	pl	WoL F PSORT
PvTLP1	Phvu1.001G013500	1	1031136..1035051 (+)	429	47.79	9.34	nucl: 6
PvTLP2	Phvu1.002G031500	2	3196104..3199201 (-)	414	46.04	9.46	nucl: 6
PvTLP3	Phvu1.003G100700	3	27129617..27133239 (+)	360	40.46	9.09	nucl: 6
PvTLP4	Phvu1.003G254900	3	49403904..49412013 (-)	413	46.21	9.21	chlo: 8.5
PvTLP5	Phvu1.004G095000	4	26567067..26571691 (+)	425	47.56	9.56	nucl: 7.5
PvTLP6	Phvu1.005G082200	5	19485596..19490141 (+)	375	41.64	9.33	mito: 6.5
PvTLP7	Phvu1.005G183800	5	40763640..40766134 (-)	370	42.25	9.60	nucl: 9
PvTLP8	Phvu1.006G161100	6	26498672..26503928 (+)	383	43.20	9.46	mito: 5.5
PvTLP9	Phvu1.006G210500	6	30445319..30449372 (+)	427	47.95	9.47	nucl: 7
PvTLP10	Phvu1.007G079900	7	7834128..7837930 (+)	431	48.12	9.71	nucl: 9

\*(-): reverse strand, (+): forward strand, chr: kromozom, nucl: nükleus, chlo: kloroplast, mito: mitokondri

MapChart programı kullanılarak PvTLP genleri fasulyenin 7 kromozomunda işaretlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. PvTLP genlerinin fasulye kromozomlarındaki lokasyonları

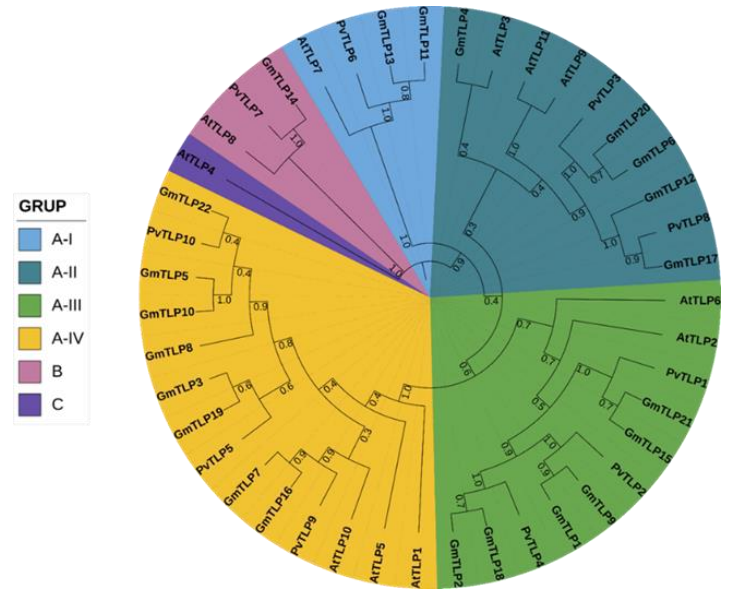
\*Yeşil, pembe ve kırmızı renkteki genler segmental duplike genlerdir.

Gen duplikasyonları MScanX arayüzü kullanılarak saptanmıştır. Bu analiz sonucunda PvTLP1, PvTLP2 ve PvTLP4 genlerinin, PvTLP3 ve PvTLP8 genlerinin ve PvTLP5 ve PvTLP10 genlerinin segmental duplike genler olduğu saptanmıştır. Bu duplike genlerin evrimsel süreci hakkında yorum

yapabilmek için gerekli olan Ka, Ks ve Ka/Ks oranları, kaç milyon yıl önce (MYÖ) ayrıldıkları ve seleksiyon baskısı Tablo 2’de verilmiştir. PvTLP duplike genlerinin Ka/Ks oranları 1’den küçük olduğundan negatif seleksiyona uğramıştır. Ayrıca bu analiz sonucunda tandem duplike genlere rastlanmamıştır.

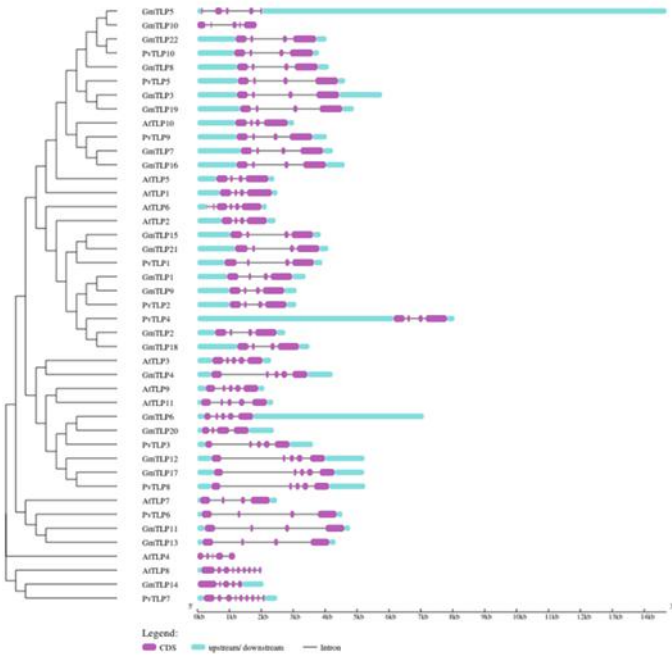
Tablo 2. Duplike gen çiftleri hakkında bilgi

Gen 1	Gen 2	Ka	Ks	Ka/Ks	MY Ö	Seleksiyon baskısı
PvTLP1	PvTLP4	0.26	2.67	0.10	20.35	Negatif
PvTLP1	PvTLP2	0.26	2.28	0.11	17.38	Negatif
PvTLP2	PvTLP4	0.13	0.69	0.19	5.26	Negatif
PvTLP3	PvTLP8	0.14	0.64	0.22	4.88	Negatif
PvTLP5	PvTLP10	0.09	0.72	0.12	5.49	Negatif



Şekil 2. PvTLP, AtTLP ve GmTLP genlerinin renklendirilmiş filogenetik ağacı

*P. vulgaris*, *A. thaliana* ve *G. max* bitkilerinin TLP genlerine ait protein sekansları alınarak filogenetik ağaç çizilmiştir. Filogenetik ağaç sayesinde PvTLP genleri arasındaki evrimsel ilişki tespit edilmektedir. Filogenetik ağaç TLP proteinlerinin amino asit sekanslarına bağlantılı olacak şekilde 1000 tekrarlı bootstrap değeri ile neighbor joining yöntemi vasıtasıyla çizilip iTOL programında renklendirilmiştir (Şekil 2). Filogenetik ağaç incelendiğinde TLP proteinleri temelde A, B ve C olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. A grubu da kendi içerisinde 4 farklı dallanma göstermiştir. AtTLP4 diğer proteinlerden ayrı olacak şekilde gruplanmıştır.

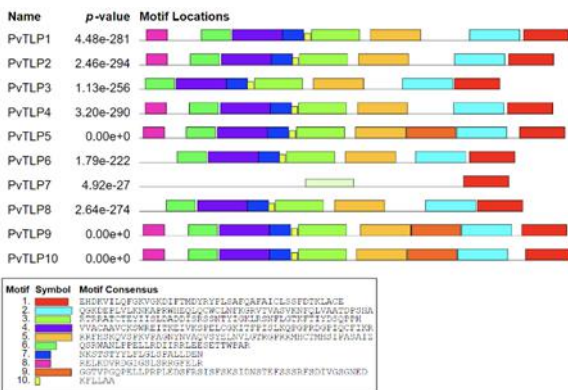


Şekil 3. Fasulye, Arabidopsis ve G. max TLP sekanslarının arasındaki filogenetik ilişki ve gen yapısı.

\*Mor kutular ekzon, siyah çizgiler intron ve mavi kutular 5' ve 3' UTR bölgelerini göstermektedir.

PvTLP, AtTLP ve GmTLP genlerinin CDS ve genom dizileri kullanılarak GSDS veritabanı vasıtasıyla bu genlerin intron ekzon yapıları elde edilmiştir (Şekil 3). PvTLP genlerinin intron sayıları 3-8 arasında ve ekzon sayıları 4-9 arasında değişmektedir. En fazla intron-ekzon sayısı PvTLP7'ye aitken en düşük intron-ekzon sayısı PvTLP1, 2, 4, 5, 6, 9 ve 10'a aittir. Filogenetik ağaçta aynı grupta bulunan genler hemen hemen birbiriyle aynı intron-ekzon yapısına sahiptir.

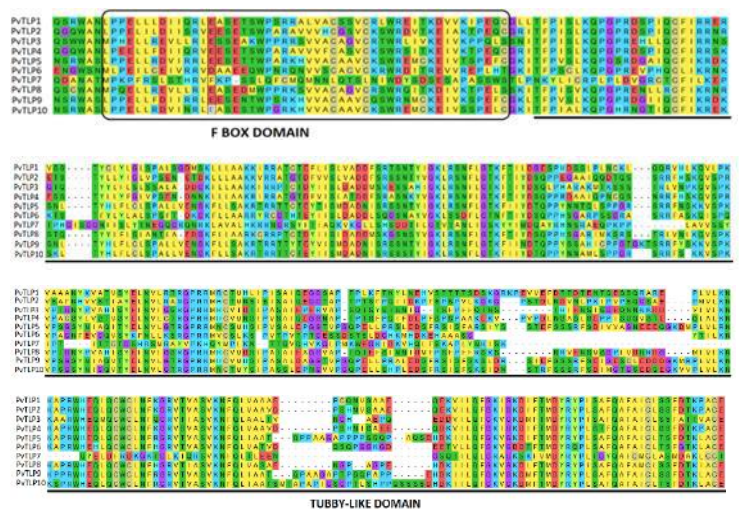
MEME (v5.1.0) arayüzü kullanarak fasulyedeki TLP proteinlerindeki korunmuş motifler tespit edilmiştir (Şekil 4). Korunmuş motif analizinde 10 korunmuş motif saptanmış olup motiflerin amino asit sayıları 21 ve 50 aralığındadır. Motif 1 tüm PvTLP genlerinde bulunmakta olup TUB domaini barındırır. En fazla motif içeren genler PvTLP9 ve 10'dur ve tüm korunmuş motifleri içermektedir. En az motifi içeren gen ise PvTLP7 genidir (Şekil 4). PvTLP genlerinde en iyi muhtemel eşleşmeler ve bu dizilerin içerdiği domainler Tablo 3'te verilmiştir. PvTLP genlerine ait protein dizileri MEGA programında hizalanıp TUBBY-like ve F-Box domainleri gösterilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Fasulye TLP proteinlerinin motif diyagramı

Tablo 3. PvTLP genlerindeki muhtemel en iyi eşleşme

Motif No	En İyi Muhtemel Eşleşme	Domain
Motif 1	EHDKVILQFGKVGKDI FTMDYRYPLSAFQAF AICLSSFDTKLACE	Tubby_C/ Tub/ Supertubby/TUB BY-LIKE F-BOX PROTEIN/Tubby -like-c
Motif 2	QGKDEPLVLKNKAPR WHEQLQCWCLNFKG RVTVASVKNFQLVAAT DPSHA	Tubby_C/ Tub/ Supertubby/TUB BY-LIKE F-BOX PROTEIN/Tubby -like-c
Motif 3	RTRRATCTEYIISLDAD DISRSSNTYIGKLRSNF LGTKFTIYDSQPPH	Tubby_C/ Tub/ Supertubby/TUB BY-LIKE F-BOX PROTEIN/Tubby -like-c
Motif 4	VVACAACKSWREIT KEIVKSPELCGKITFPI SLKQPGPRDGPIQCFIK R	TUBBY-LIKE F- BOX PROTEIN/Tubby -like-c
Motif 5	RRFHSKQVSPKVPAG NYNVAQVSYELNVLG TRGPRRMHCTMHSIPA SAIZ	Tubby_C/ Tub/TUBBY- LIKE F-BOX PROTEIN/Tubby -like-c
Motif 6	QSRWANLPPPELLRDIIR RLEESETTPAR	N/A
Motif 7	NKSTSTYYLFLGLSPA LLDEN	N/A
Motif 8	RELKDVRDYGIGLSRR GFELR	N/A
Motif 9	GGTVPGQPELLPRPLE DSFRSISFSKSIDNSTEF SSSRFSDIVGSGNED	TUBBY-LIKE F- BOX PROTEIN
Motif 10	KFLAA	N/A



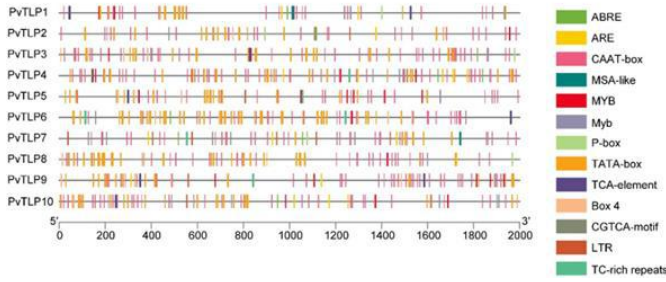
Şekil 5. PvTLP genlerine ait korunmuş TUBBY-like ve F-Box domainleri

PvTLP genlerinin promotor bölgesindeki cis-acting elementlerin belirlenmesi PvTLP genlerinin transkripsiyonel regülasyonunu anlamak için TLP genlerinin 2000 bp üst akış bölgesi alınıp PlantCARE veri tabanında analizi yapılmıştır. TLP genlerinin

promotor bölgelerinde 13 farklı cis-acting element tespit edilmiştir ve bu veriler TbTools aracı ile şekillendirilmiştir (Şekil 6). Promotor bölgeleri, abiyotik ve biyotik strese yanıtta bazı genlerin transkripsiyonu durdurarak ya da artırarak spesifik cis regülatörlerle gen ifadesinin düzenlenmesini sağlamaktadır. Tablo 4'te cis acting elementlerin fonksiyonları verilmiştir.

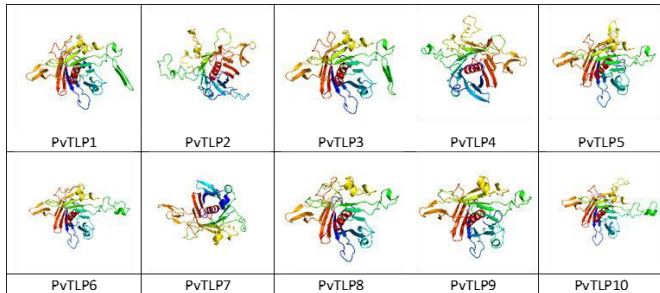
Tablo 4. Cis acting elementlerin fonksiyonu

Cis acting element	Fonksiyonu
ABRE	Absisik asit yanıtı
ARE	Anaerobik indüksiyon
CAAT-box	Promotör ve geliştirici bölgeler
MSA-like	Hücre döngüsü düzenlemesi
MYB-Myb	Stres yanıtı
P-box	Gibberellin-yanıtı
TATA-box	Transkripsiyon başlangıcı
TCA-element	Salisilik asit yanıtı
Box 4	Işık yanıtı
TC-rich repeats	Stres yanıtı
CGTCA-motif	MeJA-yanıtı
LTR	Düşük sıcaklık yanıtı



Şekil 6. PvTLP genlerinin cis-acting element analizi

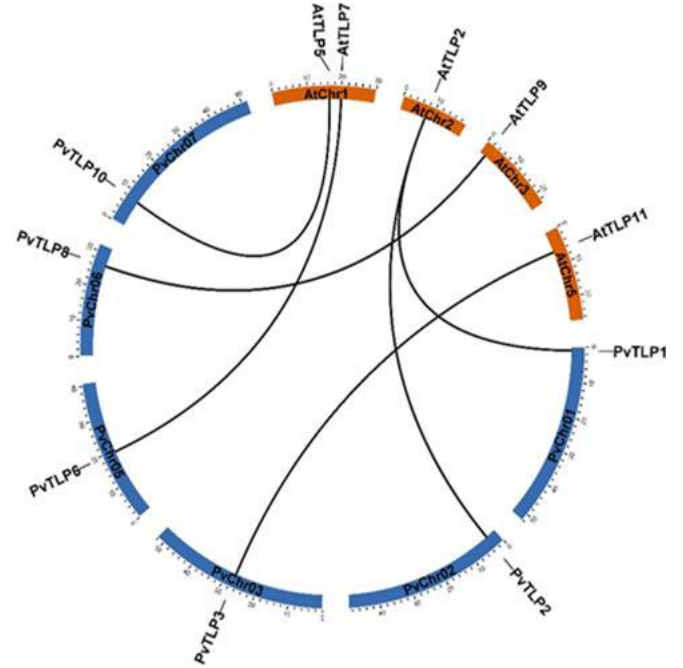
Protein Veri Bankasında (PDB) bulunan TLP proteinleri Blastp ile taranmış ve TLP proteinlerinin yapı ve fonksiyonunu tahmin etmek için kullanılan bir veri tabanı olan Phyre2 kullanılarak bu proteinlerin 3 boyutlu homoloji modellemesi görsel olarak anlaşılır bir şekilde aktarılmıştır. Şekil 7, bu çalışmada tanımlanan proteinlerin 3D homoloji modellerini göstermektedir.



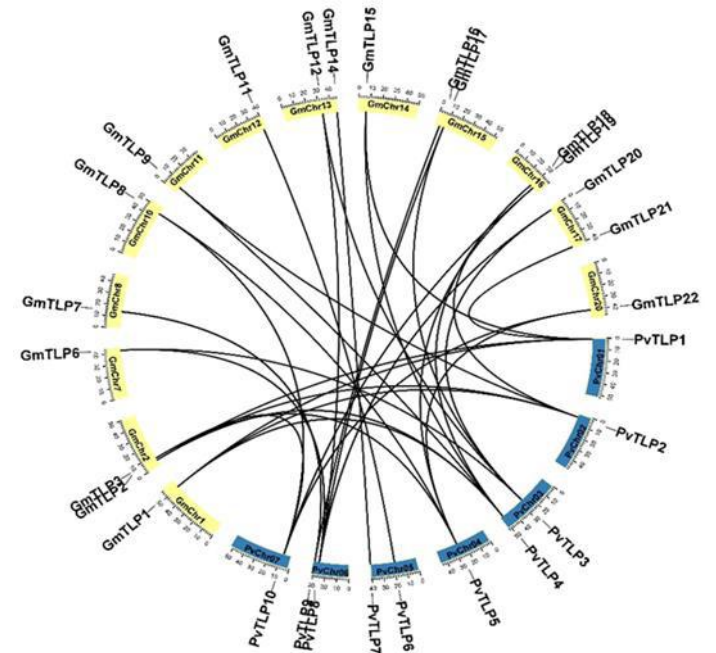
Şekil 7. PvTLP proteinlerin 3 boyutlu homoloji modellemesi

*P. vulgaris*, *A. thaliana* ve *G. max* bitkilerinin TLP proteinleri arasında sinteni haritası hazırlanmıştır. *P. vulgaris* ile *A. thaliana* (Şekil 8) ve *P. vulgaris* ile *G. max* (Şekil 9) arasında yapılan sinteni analizinde ilişki saptanmıştır. *P. vulgaris* ile *A. thaliana* TLP genleri arasında 6 sintenik ilişki tespit edilmiştir. AtTLP5-PvTLP10, AtTLP7-PvTLP6, AtTLP9-PvTLP8, AtTLP11-PvTLP3, AtTLP2-PvTLP1 ve AtTLP2-PvTLP2 genleri arasında ortoloji tespit edilmiştir. *P. vulgaris* ile *G. max* TLP genleri

arasında 33 sintenik ilişki tespit edilmiştir. PvTLP1-GmTLP1, PvTLP1-GmTLP2, PvTLP1-GmTLP15, PvTLP1-GmTLP21, PvTLP2-GmTLP1, PvTLP2-GmTLP2, PvTLP2-GmTLP9, PvTLP2-GmTLP18, PvTLP3-GmTLP6, PvTLP3-GmTLP12, PvTLP3-GmTLP17, PvTLP3-GmTLP20, PvTLP4-GmTLP1, PvTLP4-GmTLP2, PvTLP4-GmTLP9, PvTLP4-GmTLP15, PvTLP4-GmTLP18, PvTLP5-GmTLP3, PvTLP5-GmTLP8, PvTLP5-GmTLP19, PvTLP5-GmTLP22, PvTLP6-GmTLP11, PvTLP7-GmTLP14, PvTLP8-GmTLP6, PvTLP8-GmTLP12, PvTLP8-GmTLP17, PvTLP8-GmTLP20, PvTLP9-GmTLP7, PvTLP9-GmTLP16, PvTLP10-GmTLP3, PvTLP10-GmTLP8, PvTLP10-GmTLP19, PvTLP10-GmTLP22 genleri arasında ortoloji tespit edilmiştir.



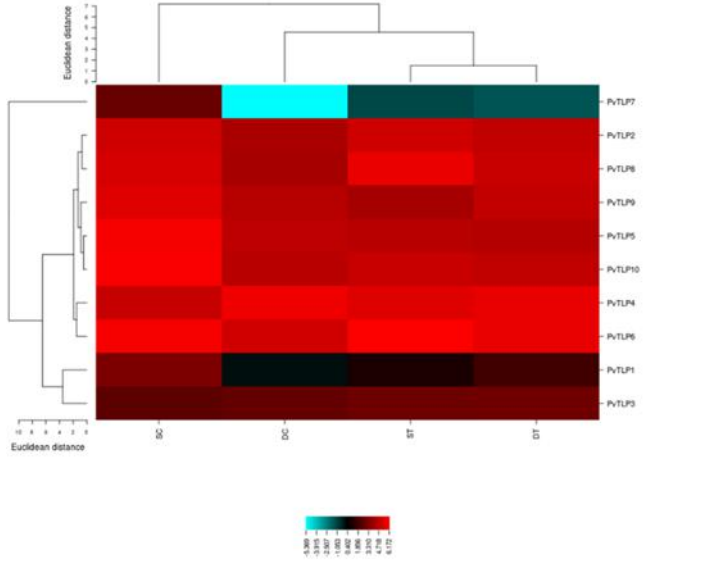
Şekil 8. PvTLP ve AtTLP genlerinin sinteni analizi



Şekil 9. PvTLP ve GmTLP genlerinin sinteni analizi

Tuz ve kuraklık streşi uygulanan fasulye yapraklarından alınan özel doku kütüphanelerinde PvTLP genlerinin ifadeleri CIMminer

programında analiz edilmiştir (Şekil 10). Yapılan analiz sonucunda tuz stresinde kontrole göre kıyaslandığında PvTLP7 ve PvTLP1 genlerinin ifade seviyesi düşmüştür. Kuraklık stresinde kontrole göre kıyaslandığında PvTLP7 ve PvTLP1 genlerinin ifade seviyesi artmıştır. Diğer genlerde ise hem tuz hem de kuraklık stresinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir.



Şekil 10. Tuz ve kuraklık stresi altındaki PvTLP genlerinin in siliko ifade seviyeleri

### 3.2. Tartışma

TUBBY-like proteinleri hayvanlardan, bitkilere bitkilerden tek hücreli ökaryotlara kadar birçok türde tanımlanmıştır. TLP'ler hayvanlarla kıyaslandığında çok az bitki türünde karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda *Arabidopsis*'te 11 (Lai et al., 2004) çeltikte 14 (Liu, 2008), elmada 9 (Xu et al., 2016), *Salvia miltiorrhiza* 12 (Wang et al., 2021), *Brassica napus* 28 (Wang et al., 2020) ve mısırdada 15 (Yulong et al., 2016) aday TLP geni tespit edilmiştir. Bu çalışmada fasulye genomunda 10 TLP geni tespit edilmiştir.

Çalışmamızda PvTLP genlerin karakteristik özellikleri de tanımlanmıştır. *Salvia miltiorrhiza* (Wang et al., 2021), elmada (Xu et al., 2016) ve çeltikte (Liu, 2008) de TLP genlerinin amino asit sayıları çalışmamızda olduğu gibi hemen hemen yakın sayılarda olup tüm TLP proteinleri bazik özellik sergilemektedir. Gen ve protein yapısının analizi, çoğu TLP'nin hem Tub hem de F-box domainine sahip olduğunu ve daha önce bildirilen sonuçlarla tutarlı olduğunu ortaya koydu (Liu, 2008; Lai et al., 2004; Xu et al., 2016; Yulong et al., 2016). Benzer şekilde, PvTLP proteinlerinin 3D modelleme analizi, PvTLP7'nin dışındaki PvTLP'lerin, 12 anti-paralel şeritli kapalı bir  $\beta$  tabakası ve merkezi bir hidrofobik  $\alpha$  sarmalından oluşan tam TUB alanına sahip olduğunu desteklemektedir. SmTLP'lerde yapılan bir çalışmada da SmTLP11'in benzer sonuçlar gösterdiği bildirilmiştir (Wang et al., 2021).

*Arabidopsis*, fasulye ve *G. max* TLP'lerin filogenetik ağacı TLP genlerinin üç gruba ayrıldığını göstermektedir (Şekil 2). *Arabidopsis*, kavak ve çeltikte yapılan filogenetik ağaçta da TLP genleri üç gruba ayrılmıştır (Wang et al., 2021). Benzer sonuçlar MdTLP genlerinin karakterizasyonunun yapıldığı çalışmada da görülmektedir (Xu et al., 2016). C grubunda diğer genlerle evrimsel uzaklığı fazla olan AtTLP4 geni bulunmaktadır. Bir

çalışmada da bu şekilde filogenetik ilişki göstermiştir (Yang et al., 2008). B grubunda ise yapısında PvTLP7, AtTL8P ve GmTLP14 genlerinde sadece TUB domaini bulunup F-Box domaini içermemektedir. A grubu ise 4 alt gruba bölünmüştür. Benzer sonuçlar *Arabidopsis*, kavak ve çeltikte de rapor edilmiştir (Wang et al., 2021). AI grubu 4, AII grubu 10, AIII grubu 11 ve AIV grubu 14 TLP geni içermektedir. PvTLP, AtTLP ve GmTLP genlerindeki intron/ekzon dağılımını belirlemek ve gen yapısı ve organizasyonunun protein işlevselliği ve türler arasındaki evrimsel değişiklikler üzerindeki kurallarını ve olası sonuçlarını anlamak için ekzon/intron organizasyonu veritabanlarında depolanan genomik DNA dizilerinden gerçekleştirilmektedir (Wang et al., 2013). Benzer motifleri içeren genler aynı gruplarda yer almakta olup hemen hemen benzer gen yapısını içermektedir.

PvTLP genleri, absisik asit, salisilik asit, gibberellin ve MeJA yanıt öğeleri dahil olmak üzere çeşitli hormon yanıt öğeleri ve ışık, düşük sıcaklık gibi stres yanıt öğeleri içermektedir. Önceki çalışmalar, TLP'lerin ışık, sıcaklık, hipoksi ve tuz stresine de yanıt verebildiğini göstermiştir (Zhang et al., 2014). PvTLP7 bitkinin soğuk direncinde önemli bir rol oynadığını gösterebilecek çok sayıda LTR elementi içermektedir (Şekil 6). SmTLP10 geni de aynı şekilde düşük sıcaklığa tepki unsurları içermektedir (Wang et al., 2021).

Duplikasyonlar, yeni gen fonksiyonlarının, yeni gelişimsel ve fizyolojik yolların evriminde ve genişlemesinde önemli bir rol oynamıştır. (Hanada et al., 2008). Bitkilerde, tandem ve segmental duplikasyon olayları genellikle mevcut gen ailelerinin yeni üyelerinin oluşmasına yol açar (Cannon et al., 2004). Duplike genlerin Ka/Ks oranı 1'den küçük ise evrimsel süreçte arındırıcı seleksiyona, büyük ise pozitif seleksiyona ve 1'e eşit ise nötr seleksiyona uğramaktadır (Kasapoğlu et al., 2020; Kızılkaya et al., 2020). PvTLP genlerinde de segmental duplike genler bulunurken tandem duplike genlere rastlanmamıştır. Ayrıca bu duplike genlerin birbirlerinden kaç milyon yıl önce ayrıldıkları hesaplanmıştır. PvTLP5 ve PvTLP10 genleri bundan yaklaşık 5 milyon yıl önce birbirlerinden ayrılmışlardır.

*Arabidopsis*, fasulye ve *G. max* genomlarındaki ortolog TLP genleri belirlenmiştir. *Arabidopsis* TLP genlerinden 5'i PvTLP genlerinden 6'sı ile ortoloji göstermiştir. *G. max* TLP genlerinden 18'i PvTLP genlerinden 10'u ile ortoloji göstermiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da *Arabidopsis*, çeltik, kavak, elma ve mısır gibi bitkiler arasında TLP genleri ortoloji göstermektedir (Yang et al., 2008; Xu et al., 2016).

İn siliko gen ifade analizi sonucunda PvTLP7'nin tuz ve kuraklık stresi altındayken ifade seviyesinde değişiklik gözlemlenmiştir. PvTLP7'nin gen ve motif yapısı bakımından diğer PvTLP'lerden farklı olması stres şartlarında farklı gen ifadesi göstermesine neden olmuş olabilir. Ayrıca PvTLP7'nin doğrudan abiyotik stresle ilişkili bir gen olduğu da düşünülmektedir. Bu görüş farklı deneysel çalışmalarla da desteklenmelidir. Daha önceki çalışmalar TLP genlerinin stresle ilişkili olduğunu göstermiştir. Örneğin; AtTLP9 tuz ve kuraklık stresine verilen yanıtta rol aldığı rapor edilmiştir (Bao et al., 2014).

## 4. Sonuç

Fasulye genomunda yapılan in siliko analizler sonucunda fasulyenin 7 kromozomuna dağılmış TLP gen ailesi üyelerinden 10 tane PvTLP geni saptanmıştır. PvTLP genlerinden PvTLP7 sadece TUB domainini içerirken diğer PvTLP genleri TUB domainine ilave F-Box domaini de içermektedir. PvTLP1, PvTLP2

ve PvTLP4 genleri, PvTLP3 ve PvTLP8 genleri ve PvTLP5 ve PvTLP10 genleri segmental duplike genlerdir. Tuz stresinde PvTLP7 ve PvTLP1 genlerinin ifade seviyesi düşerken kuraklık stresinde PvTLP7 ve PvTLP1 genlerinin ifade seviyesi artmıştır. Diğer genlerin ifade seviyeleri her iki stres koşulunda yüksek oranda ifade olmaktadır. PvTLP genleri abiyotik stres şartlarına karşı dirençte etkili bir rol oynamaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında TLP genlerinin fasulyedeki işlevi aydınlatılarak gelecekte yapılacak olan fonksiyonel çalışmalara zemin oluşturacaktır.

## Kaynakça

- Bailey TL, Williams N, Mischak H, Li WW (2006) MEME: discovering and analyzing DNA and protein sequence motifs. *Nucleic Acids Res* 34:W369-W373. <https://doi.org/10.1093/nar/gkl198>
- Bao Y, Song W-M, Jin Y-L, Jiang C-M, Yang Y, Li B, Huang W-J, Liu H, Zhang H-X. 2014. Characterization of Arabidopsis Tubby-like proteins and redundant function of AtTLP3 and AtTLP9 in plant response to ABA and osmotic stress. *Plant Molecular Biology* 86:471–483 DOI 10.1007/s11103-014-0241-6.
- Boggon TJ, Shan WS, Santagata S, Myers SC, Shapiro L. 2000. Implication of tubby proteins as transcription factors by structure-based functional analysis. *Acta Crystallographica Section A Foundations of Crystallography* 56:s263–s263 DOI 10.1107/S0108767300025642.
- Cai, M., Qiu, D., Yuan, T., Ding, X., Li, H., Duan, L., et al. (2008). Identification of novel pathogen-responsive cis-elements and their binding proteins in the promoter of OsWRKY13, a gene regulating rice disease resistance. *Plant Cell Environ.* 31, 86–96.
- Cannon, S. B., Mitra, A., Baumgarten, A., Young, N. D., & May, G. (2004). The roles of segmental and tandem gene duplication in the evolution of large gene families in *Arabidopsis thaliana*. *BMC plant biology*, 4(1), 1-21.
- Chen, C., Chen, H., Zhang, Y., Thomas, H. R., Frank, M. H., He, Y., and Xia, R. (2020). TBtools: an integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data. *Molecular plant*, 13(8), 1194-1202.
- Gagne, J. M., Downes, B. P., Shiu, S. H., Durski, A. M., & Vierstra, R. D. (2002). The F-box subunit of the SCF E3 complex is encoded by a diverse superfamily of genes in *Arabidopsis*. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(17), 11519-11524.
- Guo Y, Qiao DH, Yang C, Chen J, Li Y, Liang SH, Lin KQ, Chen ZW (2020) Genome-wide identification and expression analysis of SABATH methyltransferases in tea plant (*Camellia sinensis*): insights into their roles in plant defense responses. *Plant Signal Behav* 15(10). <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1804684>
- Hanada, K., Zou, C., Lehti-Shiu, M. D., Shinozaki, K., and Shiu, S. (2008) Importance of lineage-specific expansion of plant tandem duplicates in the adaptive response to environmental stimuli. *Plant Physiol.* 148, 993–1003.
- Horton P, Park KJ, Obayashi T, Fujita N, Harada H, Adams-Collier CJ, Nakai K (2007) WoLF PSORT: protein localization predictor. *Nucleic Acids Res* 35:W585-W587. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm259>
- Ikeda, A., Nishina, P. M., and Nagert, J. K. (2002) The tubby-like proteins, a family with roles in neuronal development and function. *J. Cell Sci.* 115, 9–14.
- Jain, M., Nijhawan, A., Arora, R., Agarwal, P., Ray, S., Sharma, P., Kapoor, S., Tyagi, A. K., and Khurana, J. P. (2007) F-box proteins in rice. Genome-wide analysis, classification, temporal and spatial gene expression during panicle and seed development, and regulation by light and abiotic stress. *Plant Physiol.* 143, 1467–1483.
- KASAPOĞLU, A. G., İLHAN, E., KIZILKAYA, D., POUR, A. H., and HALİLOĞLU, K. (2020). Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Genomunda BES1 Transkripsiyon Faktör Ailesinin Genom Çaplı Analizi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 85-95.
- Kelley LA, Mezulis S, Yates CM, Wass MN, Sternberg MJE (2015) The Phyre2 web portal for protein modeling, prediction and analysis. *Nat Protoc* 10(6):845-858. <https://doi.org/10.1038/nprot.2015.053>
- Kırıcı A. Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) bitkisinde Yabby ve Dof genlerinin kuraklık stresi ile olan ilişkilerinin salisilik asit etkisiyle karşılaştırmalı olarak gen ifadesi düzeyinde incelenmesi. 2019. M. thesis, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- KIZILKAYA, D., KASAPOĞLU, A. G., HOSSEINPOUR, A., HALİLOĞLU, K., MUSLU, S., and İLHAN, E. (2020) Sorghum bicolor L. CAMTA Transkripsiyon Faktörlerinin Genom Çaplı Analizi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51(3), 267-278.
- Kim S, Sung HJ, Lee JW, Kim YH, Oh Y-S, Yoon K-A, Heo K, Suh P-G. 2017. C-terminally mutated tubby protein accumulates in aggresomes. *BMB Reports* 50:37–42 DOI 10.5483/BMBRep.2017.50.1.140.
- Korkmaz, H., & Durmaz, A. (2017). Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Karşı Geliştirilen Cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 192-207.
- Kou, Y., Qiu, D., Wang, L., Li, X., and Wang, S. (2009). Molecular analyses of the rice tubby-like protein gene family and their response to bacterial infection. *Plant Cell Rep.* 28, 113–121. doi: 10.1007/s00299-008-0620-z
- Kumar S, Stecher G, and Tamura K (2016) MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* 33:1870-1874
- Lai C-P, Lee C-L, Chen P-H, Wu S-H, Yang C-C, Shaw J-F. 2004. Molecular analyses of the Arabidopsis TUBBY-like protein gene family. *Plant Physiology* 134:1586–1597 DOI 10.1104/pp.103.037820.
- Lai, C. P., Chen, P. H., Huang, J. P., Tzeng, Y. H., Chaw, S. M., and Shaw, J. F. (2012) Functional diversification of the Tubby-like protein gene families (TULPs) during eukaryotic evolution. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 1, 2–8.
- Lamesch, P., Berardini, T. Z., Li, D., Swarbreck, D., Wilks, C., Sasidharan, R., Huala, E. (2011). The Arabidopsis Information Resource (TAIR): improved gene annotation and new tools. *Nucleic Acids Research*, 40(D1), D1202–D1210. <https://doi.org/10.1093/nar/gkr1090>
- Lescot, M., Déhais, P., Thijs, G., Marchal, K., Moreau, Y., Van de Peer, Y., ... & Rombauts, S. (2002). PlantCARE, a database of plant cis-acting regulatory elements and a portal to tools for in silico analysis of promoter sequences. *Nucleic acids research*, 30(1), 325-327.
- Letunic I, Bork P (2011) Interactive Tree Of Life v2: online annotation and display of phylogenetic trees made easy. *Nucleic Acids Res* 39:W475-W478. <https://doi.org/10.1093/nar/gkr201>
- Liu, Q. (2008). Identification of rice TUBBY-like genes and their evolution. *The FEBS Journal*, 275(1), 163-171.

- Mortazavi A, Williams BA, Mccue K, Schaeffer L, Wold B (2008) Mapping and quantifying mammalian transcriptomes by RNA-Seq. *Nat Methods* 5(7):621-628. <https://doi.org/10.1038/nmeth.1226>
- Quevillon E, Silventoinen V, Pillai S, Harte N, Mulder N, Apweiler R, Lopez R (2005) InterProScan: protein domains identifier. *Nucleic Acids Res* 33:W116-W120. <https://doi.org/10.1093/nar/gki442>
- Schmutz, J., Cannon, S. B., Schlueter, J., Ma, J., Mitros, T., Nelson, W., Jackson, S. A. (2010). Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature*, 463(7278), 178–183. <https://doi.org/10.1038/nature08670>
- SİRAT, Abdulveli. "Yerel Kuru Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Tane Verimi, Verim Unsurları ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi." *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 17.2 (2020): 245-254.
- Suyama M, Torrents D, Bork P (2006) PAL2NAL: robust conversion of protein sequence alignments into the corresponding codon alignments. *Nucleic Acids Res* 34:W609-W612. <https://doi.org/10.1093/nar/gkl315>
- Thompson JD, Gibson TJ, Plewniak F, Jeanmougin F, Higgins DG (1997) The CLUSTAL\_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Res* 25(24):4876-4882. <https://doi.org/10.1093/nar/25.24.4876>
- Valliyodan, B., Cannon, S. B., Bayer, P. E., Shu, S., Brown, A. V., Ren, L., ... & Nguyen, H. T. (2019). Construction and comparison of three reference-quality genome assemblies for soybean. *The Plant Journal*, 100(5), 1066-1082.
- Voorrips RE (2002) MapChart: Software for the graphical presentation of linkage maps and QTLs. *J Hered* 93(1):77-78. <https://doi.org/10.1093/jhered/93.1.77>
- Wang, K., Cheng, Y., Yi, L., He, H., Zhan, S., & Yang, P. (2021). Genome-wide identification of the Tubby-Like Protein (TLPs) family in medicinal model plant *Salvia miltiorrhiza*. *PeerJ*, 9, e11403.
- Wang, M., Xu, Z., & Kong, Y. (2018). The tubby-like proteins kingdom in animals and plants. *Gene*, 642, 16-25.
- Wang, Tong, et al. "Identification, evolution and expression analyses of whole genome-wide TLP gene family in *Brassica napus*." *BMC genomics* 21.1 (2020): 1-14.
- Wang, Y., You, F. M., Lazo, G. R., Luo, M. C., Thilmony, R., Gordon, S., ... & Gu, Y. Q. (2013). PIECE: a database for plant gene structure comparison and evolution. *Nucleic acids research*, 41(D1), D1159-D1166.
- Wang, Yupeng, et al. "MCScanX: a toolkit for detection and evolutionary analysis of gene synteny and collinearity." *Nucleic acids research* 40.7 (2012): e49-e49.
- Wardhan V, Jahan K, Gupta S, Chennareddy S, Datta A, Chakraborty S, Chakraborty N. 2012. Overexpression of CaTLP1, a putative transcription factor in chickpea (*Cicer arietinum* L.), promotes stress tolerance. *Plant Molecular Biology* 79:479–493 DOI 10.1007/s11103-012-9925-y.
- Xu J, Xing S, Sun Q, Zhan C, Liu X, Zhang S, Wang X. 2019. The expression of a tubby-like protein from *Malus domestica* (MdTLP7) enhances abiotic stress tolerance in *Arabidopsis*. *BMC Plant Biology* 19:60 DOI 10.1186/s12870-019-1662-9.
- Xu, Jia-Ning, et al. "Genome-wide identification and expression analysis of the tubby-like protein family in the *Malus domestica* genome." *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 1693.
- Yang ZH (2007) PAML 4: Phylogenetic analysis by maximum likelihood. *Mol Biol Evol* 24(8):1586-1591. <https://doi.org/10.1093/molbev/msm088>
- Yang, Z., Zhou, Y., Wang, X., Gu, S., Yu, J., Liang, G., ... & Xu, C. (2008). Genomewide comparative phylogenetic and molecular evolutionary analysis of tubby-like protein family in *Arabidopsis*, rice, and poplar. *Genomics*, 92(4), 246-253.
- Yulong, C., Wei, D., Baoming, S., Yang, Z., and Qing, M. (2016). Genome-wide identification and comparative analysis of the TUBBY-like protein gene family in maize. *Genes Genom.* 38, 25–36. doi: 10.1007/s13258-015-0338-6
- Zhang L, Wu B, Zhao D, Li C, Shao F, Lu S. 2014. Genome-wide analysis and molecular dissection of the SPL gene family in *Salvia miltiorrhiza*: the SPL gene family in *Salvia miltiorrhiza*. *Journal of Integrative Plant Biology* 56:38–50 DOI 10.1111/jipb.12111.







# A Dual-Band Antenna Design for 2.4 and 5 GHz Wi-Fi Applications

Yasar Kaplan<sup>1\*</sup>, Cem Gocen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Izmir Katip Çelebi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9566-3282), yasarkaplan1510@gmail.com

<sup>2</sup> Izmir Katip Çelebi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8086-5690), cem.gocen@ikcu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084161)

**ATIF/REFERENCE:** Kaplan, Y. & Gocen, C. (2022). A Dual-Band Antenna Design for 2.4 and 5 GHz Wi-Fi Applications. *European Journal of Science and Technology*, (34), 685-688.

## Abstract

In these days, with the improvement of wireless and mobile communication, Wi-Fi technology is everywhere in life. When wireless communication standards are examined, it is observed that 2.4 GHz (2.4-2.4835 GHz) and 5 GHz (5.15-5.825 GHz) frequency bands are used as the Wi-Fi frequency band. Therefore, in this paper, a microstrip Wi-Fi antenna design with dual band performance at 2.4 GHz and 5 GHz frequencies has been achieved. Thanks to the choice of microstrip antenna. It will be ensured that the proposed antenna has the advantageous features of microstrip antennas compared to other antennas. The feed of the antenna will realize with a microstrip line. FR-4 substrate is used as dielectric material with a thickness of 0.8 mm. Thanks to the preferred materials and cheap production cost, fabrication of the antenna is considered. The CST Studio Suite is preferred by the world's largest technology and engineering companies, as it provides a market advantage over the products by providing a shorter development period and lower cost. The design stages of the antenna have been carried out using CST Studio Suite. Also, important parameters of the antenna have been examined and optimized bandwidth, input impedance, resonance frequency, reflection coefficient, return loss, etc. As a result, dual-band Wi-Fi antenna design has been determined with wide bandwidth and high gain.

**Keywords:** Microstrip Antennas, Wi-Fi Technology, Dual-Band, 2.4/5 GHz Antenna, High Gain

## 2.4 GHz ve 5 GHz Wi-Fi Uygulamaları için Çift Band Anten Tasarımı

### Öz

Günümüzde kablosuz ve mobil iletişimin gelişmesiyle birlikte Wi-Fi teknolojisi hayatın her yerinde bulunmaktadır. Kablosuz iletişim standartları incelendiğinde Wi-Fi frekans bandı olarak 2.4 GHz (2.4-2.4835 GHz) ve 5 GHz (5.15-5.825 GHz) frekans bantlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu bildiride, 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarında, çift bant performansına sahip bir mikroşerit Wi-Fi anten tasarımı elde edilmiştir. Mikroşerit anten seçilmesi sayesinde, mikroşerit antenlerin diğer antenlere göre avantajlı özelliklerinden faydalanarak önerilen antenin avantaj elde etmesi sağlanmıştır. Antenin beslemesi mikroşerit hat ile gerçekleştirilecektir. Dielektrik malzeme olarak 0.8 mm kalınlığında FR-4 malzemesi kullanılmaktadır. Antenin fabrikasyonu göz önünde bulundurularak tercih edilen malzemeler ona göre seçilmiş ve ucuz üretim maliyeti amaçlanmıştır. CST Studio Suite, CST ortamında geliştirilen ürünlere daha kısa geliştirme süresi ve daha düşük maliyet sağlayarak diğer ürünlere göre pazar avantajı sağladığından dolayı dünyanın en büyük teknoloji ve mühendislik şirketleri tarafından tercih edilmektedir. Bu yüzden, antenin tasarım aşamaları CST Studio Suite kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca antenin önemli olan bazı parametreleri incelenmiş ve bant genişliği, giriş empedansı, rezonans frekansı, yansıma katsayısı, geri dönüş kaybı vb. parametreler optimize edilmiştir. Sonuç olarak, geniş bant genişliğine sahip ve yüksek kazançlı çift bantlı Wi-Fi anten tasarımı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit Antenler, Wi-Fi Teknolojisi, Çift-Bant, 2.4/5 GHz Anten, Yüksek Kazanç

\* Corresponding Author: [yasarkaplan1510@gmail.com](mailto:yasarkaplan1510@gmail.com)

# 1. Introduction

In latest years, the progress of wireless and mobile communication necessitates the development of the design of suitable antennas with low return loss, high bandwidth, and miniature size to enlarge the data volume to be transferred in wireless network communication, to increase the data traffic, to be uninterrupted and fast [1]. IEEE standards should be examined while determining the operating frequency of the proposed antenna. Wireless communication applications realized in various frequency bands according to IEEE standards can only be provided with a single antenna element, but with the multi-band performance of the relevant antenna. According to IEEE standards, the IEEE 802.11n model is used as Wi-Fi frequency at 2.4 GHz and 5 GHz all over the world. Therefore, the IEEE 802.11n model was chosen for the proposed antenna [2].

The 2.4 GHz band is generally used in single-band Wi-Fi antennas. However, there are devices other than Wi-Fi devices in this band. Therefore, the band became crowded and could not respond to requests [3]. In line with this problem, the 5 GHz band has also been used in Wi-Fi devices. This band is an emptier band than the 2.4 GHz band, and higher speeds have been achieved in this band [2]. Microstrip antennas are frequently preferred in wireless communication applications due to their light weight, cheap, small volume, easy adaptation to circuits and non-directional radiation performance [4]. Also, it is used in a wide frequency range from approximately 100 MHz to 50 GHz [5]. So, in this paper, a microstrip antenna was preferred for a Wi-Fi antenna. Microstrip antennas consist of a very thin metallic strip placed usually above a ground plane [6].

With the fast progress of innovative wireless communication systems, the technological need for mobile devices is growing by the day. Compact size, lightweight, low profile, and low cost are currently critical issues for RF/microwave designers to overcome for every wireless mobile component. One of the most essential aspects of any wireless system is the antenna. In addition to physical requirements, good directivity, high gain, and efficient and broadband antenna operability are becoming increasingly important in wireless systems. Many approaches have been studied to fulfill specific needs, including from the means of different shaped slots, or radiating patches [7],[8],[9] with the use of artificial metamaterials [10],[11] and the engineering of the ground plane in the case of EBG structures.

This paper presents a dual band microstrip Wi-Fi antenna. The antenna can perform in the 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands. The antenna consists of patch, substrate, and ground. With a view to low production cost, as substrate material FR-4 material with dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) of 4.3 and loss tangent of 0.02 has been chosen. The antenna has compact structure with a total size of 10 mm x 50 mm.

# 2. Material and Method

## 2.1. Antenna Configuration and Design

Geometrical configuration of the proposed antenna shown in the figure 1. It uses FR-4 substrate with a thickness of 0.8mm and a relative permittivity of 4.3. Copper was used as the conductive material with thickness of 0.035mm. The antenna is fed by a microstrip line. The proposed antenna is designed to realize in 2.4 GHz and 5 GHz Wi-Fi applications.

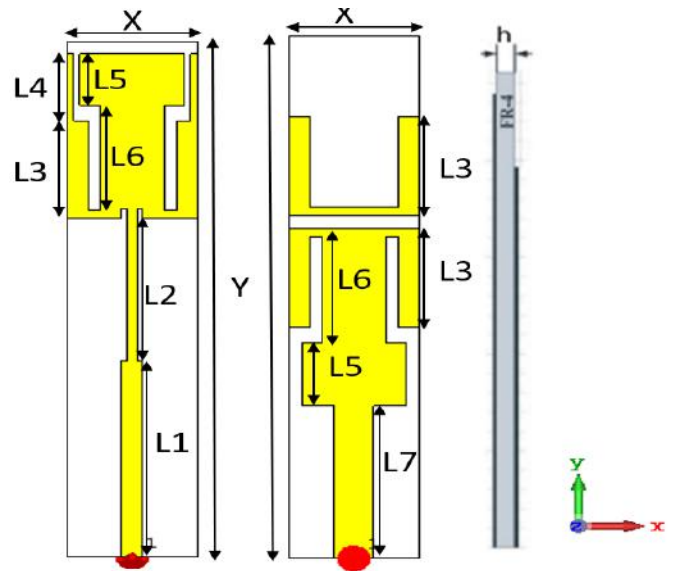


Figure 1. Design of Proposed Antenna

All dimensions of the proposed antenna are given in the table 1. Simulations of the designed antenna were achieved by using CST Microwave Studio.

Table 1. Dimensions of Proposed Antenna (in mm)

L1	L2	L3	L4	L5 – W6
19	13.8	9.5	6.5	5
W1	W2 - H	W3	W4	W5
1.65	0.8	1.6	0.5	8
L6	L7	X	Y	W7
11	14.6	10	50	3

Microstrip antennas can be fed through contact and non-contact feeding types. The most prominent of these feeding types are microstrip feeding, coaxial feeding, aperture feeding, and proximity feeding methods [12]. The microstrip feeding method was used in the antenna design designed in this paper.

It is available in the literature that one of the important techniques affecting antenna performance is to open slots at the feeding point [12]. So, 0.4 x 1 mm slots opened in the feeding point. To provide more information about the proposed antenna optimization and design, parametric studies had been carried out through CST Microwave Studio to analyze the results of the key geometrical sizes proposed antenna. Some of them, changing the length of the transmission lines on both sides by same length as seen in the figure 2. As seen in the figure 2, the length of the transmission lines is a variable that affects the resonant frequency in 2.4 GHz and return loss parameter. Changing the length of L3 patch on both sides by the same length as seen in the figure 3. As seen in the figure 3, the length of the L3 patch is a variable that affects the resonant frequency in 5 GHz.

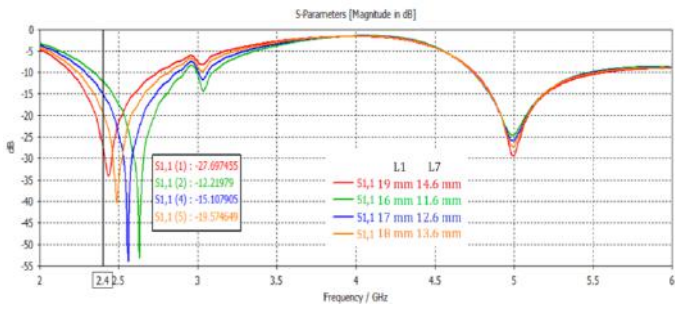


Figure 2. The Return Loss Parameter According to different L1 and L7 Lengths.

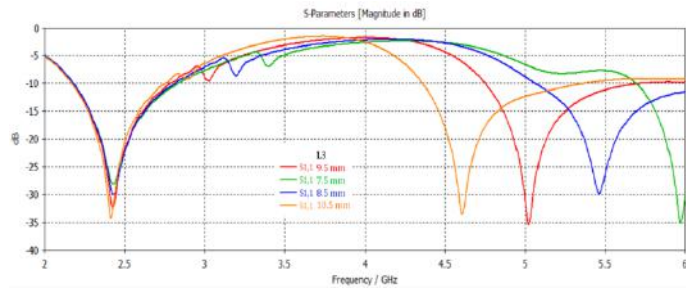


Figure 3. The Return Loss Parameter According to different L3 Lengths.

After calculating all the parameters that may affect the performance of the antenna, the optimum parameters were determined as seen in the table 1 and the design process has been completed.

### 3. Results and Discussion

The proposed antenna in figure 1 have been designed with CST Microwave Studio and simulation results were investigated as seen follows. The simulated return loss parameter of the proposed antenna shows in the figure 4. The antenna can operate at both bands of 2.4 GHz and 5 GHz. Bandwidth is the performance of the antenna according to its specifications to a specified standard is the appropriate frequency range. In other words, it is used to express the capacity of the communication channel [13]. In wireless communication, bandwidth of antenna is less than -10 dB return loss across the frequency. Frequencies where return loss is -10 dB the difference between gives bandwidth of antenna [14]. Simulated bandwidth is from 2.19 GHz to 2.75 GHz and from 4.74 GHz to 6 GHz as seen figure 4.

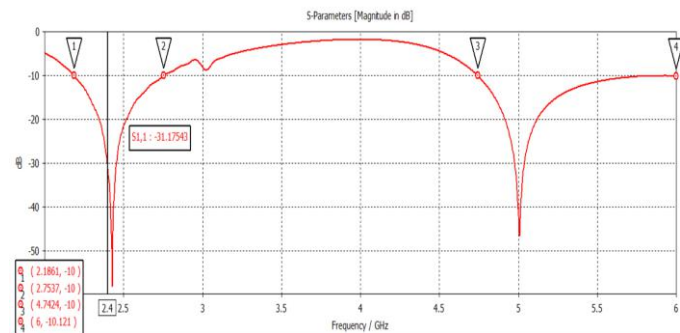


Figure 4. S<sub>11</sub> Parameter of Proposed Antenna

Figure 5 (a) and (b) shows current distributions of antenna at 2.4 GHz and 5 GHz respectively. By examining these graphs, the regions where the current is concentrated can be determined. By observing the regions where the current is concentrated, information about the radiation characteristics of the antenna can be obtained. Gain is a measure of the antenna's ability to convert the input power received by the antenna into radiation in a certain direction [15]. Therefore, the gain is an important criterion in determining the performance of the antenna. realized gain of the antenna at 2.4 GHz and 5 GHz respectively. It is 1.918 dBi and 2.303 dBi at 2.4 GHz and 5 GHz respectively.

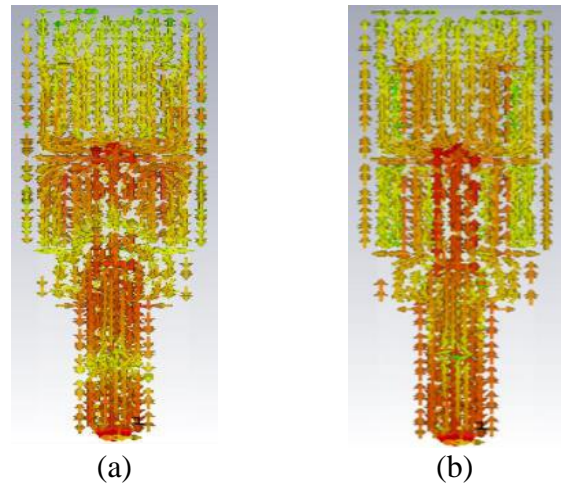


Figure 5. Proposed Antenna Current Distributions: a) 2.4 GHz, b) 5 GHz.

There are many antenna designs developed for Wi-Fi applications in the literature. The results of some antenna designs with similar center resonance frequencies are shown in Table 2. When considering some parameters of proposed antenna, the dimensions, return loss, bandwidth etc. it has been observed that the proposed antenna has better performance compared to other antennas in the literature. When the data in table 2 is examined, the proposed antenna has the best results at 2.4 GHz and 5 GHz, although it has the smallest dimensions. These results reveal the importance of the proposed antenna.

Table 2. Comparison of the proposed antenna with the antennas in the literature

Ref.	Dimensions (mm)	Operating Frequency (GHz)	S <sub>11</sub> (min. value in dB)	Bandwidth (MHz)
[16]	24 x 21 x 1.6	2.5	-29.9	100
[12]	18.7 x 17.6 x 1.6	5	-15.7	190
[17]	30 x 40 x 1.5	2.43 5.4	-23 -20	340 1180
[1]	38 x 46.6 x 1.6	2.4	-24	301
[18]	50 x 50 x 1.6	2.4 5.2	-17.6 -12.8	210 1010
Proposed Antenna	10 x 50 x 0.8	2.4 5	-31.17 -42.05	600 1250

## 4. Conclusions

Microstrip antennas, since it is designed using printed circuit technology, it is easy to manufacture. Also, it is low cost and has small volume antennas. So, it is preferred in Wi-Fi applications. In this paper, a microstrip antenna designed for Wi-Fi applications. The designed antenna can operate both frequency bands in 2.4 GHz and 5 GHz. Thanks to its performance in the 5 GHz frequency band, it provides faster, and uninterrupted data traffic compared to traditional antenna designs. The design stages of the antenna were carried out with CST Microwave Studio. Then, all simulation results obtained were examined and important variables optimized according to simulation results. The geometry and dimensions of final design are given in the figure 1 and table 1. Proposed antenna has resonant frequency in 2.42 GHz and 5 GHz. Proposed antenna has -31.17 dB and -42.05 dB return loss value in 2.4 GHz and 5 GHz respectively. Its bandwidth is 600 MHz and 1250 MHz, from 2.19 GHz to 2.75 GHz and from 4.74 GHz to 6 GHz respectively in 2.4 GHz and 5 GHz. It has 1.918 dBi and 2.303 dBi realized gain.

## 5. Acknowledge

This study has been carried out using the laboratory facilities of İzmir Katip Çelebi University Smart Factory Systems Application and Research Center (AFSUAM). This study is supported by the TUBITAK 2209-A University Students Research Projects Support Program within the scope of project numbered 1919B012102205.

## References

- [1] Keskin, S. E. B. (2019). 2.4 GHz Wide Band Microstrip Antenna Design. *Kırklareli University Journal of engineering and science*, 5(1), 1-14.
- [2] Akıncıoğlu, U. (2019). Dual band Microstrip patch Wi-Fi Antenna Design (Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik University).
- [3] Balanis, C. A. (2005). *Antenna theory analysis and design*, A JOHN WILEY & SONS, Inc., Publication, 811.
- [4] Özkaya, U., Yiğit, E., Seyfi, L., Öztürk, Ş., & Singh, D. (2021). Comparative regression analysis for estimating resonant frequency of c-like patch antennas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [5] Akman, H. (2012). Microstrip patch antenna design with cellular automata and tabu search algorithm (Doctoral dissertation, SDÜ Institute of Science and Technology).
- [6] Tansarıkaya, İ. (2007). Wideband Patch Antenna Design (Doctoral dissertation, Insitute of Science and Technology).
- [7] BAYTÖRE, C., GÖÇEN, C., PALANDÖKEN, M., Kaya, A., & ZORAL, E. Y. (2019). Compact metal-plate slotted WLAN-WIMAX antenna design with USB Wi-Fi adapter application. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(6), 4403-4417.
- [8] Göçen, C., Akdağ, İ., Palandöken, M., & Kaya, A. (2020, October). 2.4/5 GHz WLAN 4x4 MIMO Dual Band Antenna Box Design for Smart White Good Applications. In *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [9] Palandoken, M. (2017). Compact bioimplantable MICS and ISM band antenna design for wireless biotelemetry applications. *Radioengineering*, 26(4), 917-923.
- [10] Palandoken, M., & Henke, H. (2009, December). Fractal

- spiral resonator as magnetic metamaterial. In *2009 Applied Electromagnetics Conference (AEMC)* (pp. 1-4). IEEE.
- [11] Palandoken, M., & Henke, H. (2010, March). Fractal negative-epsilon metamaterial. In *2010 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)* (pp. 1-4). IEEE.
- [12] Kütük, H., Teşneli, A. Y., & Teşneli, N. B. (2000). 3.3 GHz microstrip antenna design and analysis for different feeding methods. *Sakarya University Journal of Science*, 17(1), 119-124.
- [13] Harish A.R. ve Sachidananda M. (2007). *Antennas and Wave Propagation*, Oxford University Press
- [14] Chen, J., Tong, K. F., Al-Armaghany, A., & Wang, J. (2015). A dual-band dual-polarization slot patch antenna for GPS and Wi-Fi applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 406-409.
- [15] Aktar, M. (2019). Design and Implementation of Microstriped Patch Antenna. (Doctoral dissertation, Gazi University, Insitute of Science and Technology)
- [16] Uqaili, R. S., Uqaili, J. A., Zahra, S., Soomro, F. B., & Akbar, A. (2020). A Study on Dual-band Microstrip Rectangular Patch Antenna for Wi-Fi. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 16, 1-12.
- [17] Herraiz-Martínez, F. J., Zamora, G., Paredes, F., Martín, F., & Bonache, J. (2011). Multiband printed monopole antennas loaded with OCSRRs for PANs and WLANs. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10, 1528-1531.
- [18] Srivastava, V. K., & Saini, G. (2016). A Dual Wide-Band Slotted Rectangular Patch Antenna for 2.4/5 GHz WLAN Applications. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(6).



# High-Gain Circularly-Polarized Square Patch UHF RFID Reader Antenna Design for Smart Factory Applications

Gulbahar Guven<sup>1\*</sup>, Ismail Akdag<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Katip Celebi University, Faculty of Architecture and Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0155-5011), [gulbaharguven44@gmail.com](mailto:gulbaharguven44@gmail.com)

<sup>2</sup> İzmir Katip Celebi University, Faculty of Architecture and Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6470-5892), [ismail.akdag@ikcu.edu.tr](mailto:ismail.akdag@ikcu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084172)

**ATIF/REFERENCE:** Guven, G. & Akdag, I. (2022). High-Gain Circularly-Polarized Square Patch UHF RFID Reader Antenna Design for Smart Factory Applications. *European Journal of Science and Technology*, (34), 689-692.

## Abstract

In this paper, a UHF (Ultra High Frequency) RFID (Radio-frequency identification) circular polarization reader antenna is presented. The proposed antenna is a low cost, easy to manufacture UHF RFID reader antenna in the European UHF RFID band. The proposed antenna design employs an air-substrate patch antenna. The antenna size of 250x250x7mm. The proposed antenna works from 850 to 874 and 880 to 893 MHz with return loss less than -10 dB, thus covering the European UHF RFID band. The proposed antenna return loss bandwidth is 37 MHz. The gain of the designed antenna is 7.88 dBi at 867 MHz. Also, with a bandwidth of 864-870 MHz, the axial ratio (AR) is less than 3dB. This means that the antenna has circular polarization at 867 MHz. Each result has been calculated on CST Studio Suite 2020. The antenna recommended for use in smart factory applications promises a good antenna among RFID reader antennas.

**Keywords:** RFID Reader, UHF (Ultra High Frequency), RFID (Radio-frequency identification), Circular Polarization (CP), Axial Ratio

## Akıllı Fabrika Uygulamaları için Yüksek Kazançlı Dairesel Polarize Kare Yama UHF RFID Okuyucu Anten Tasarımı

### Öz

Bu bildiri, bir UHF (Ultra Yüksek Frekans) RFID (Radyo frekansı tanımlama) dairesel polarizasyon okuyucu anteni sunulmaktadır. Önerilen anten, Avrupa UHF RFID bandında düşük maliyetli, üretimi kolay bir UHF RFID okuyucu antenidir. Önerilen anten tasarımı, bir hava-substrat yama anteni kullanır. 250x250x7mm antenin boyutudur. Önerilen anten 850 ila 874 ve 880 ila 893 MHz arasında ve -10 dB'den daha az geri dönüş kaybıyla çalışır, böylece Avrupa UHF RFID bandını kapsar. Önerilen anten dönüş kaybı bant genişliği 37 MHz'dir. Tasarlanan antenin kazancı 867 MHz'de 7.88 dBi'dir. Ayrıca, 864-870 MHz bant genişliği ile eksenel oran (AR) 3dB'den azdır. Bu, antenin 867 MHz'de dairesel polarizasyona sahip olduğu anlamına gelir. Her sonuç CST Studio Suite 2020 üzerinde hesaplanmıştır. Akıllı fabrika uygulamalarında kullanılması önerilen anten, RFID okuyucu antenler arasında iyi bir anten vaat ediyor.

**Anahtar Kelimeler:** RFID Okuyucu, UHF (Ultra Yüksek Frekans), RFID (Radyo frekansı tanımlama), Dairesel Polarizasyon (CP), Eksenel Oran

\* Corresponding Author: [gulbaharguven44@gmail.com](mailto:gulbaharguven44@gmail.com)

## 1. Introduction

Today, factories are rapidly transitioning to mechanization technologies. The most important improvements made in this process are made with UHF (Ultra High Frequency) RFID (Radio-frequency identification). RFID systems are frequently utilized in industries such as object monitoring, product manufacturing, production tracking, sales, and logistics. [1-4]. Due to the obvious rapid technological discoveries in microwave and millimeter wave component technologies, existing wireless components [5-9] are being replaced by alternative wireless component designs that are targeted to be technically compatible with emerging technology. RFID technology is an automatic identification system consisting of a tag and a reader with an antenna wrapped around it. Data and energy transfer are provided without any contact between the tag and the reader. As in every wireless communication system, the antenna is one of the vital parts of in RFID systems [10]. A circularly polarized antenna is required to ensure reliable communication between the reader and the tag [11]. Air-substrate can be used to obtain circularly polarized characteristics, increase impedance bandwidth and reduce antenna dielectric loss [12-14]. In recent years, different architectures have been proposed to generate broadband circular polarization radiation [10-15]. In [15], a reader antenna with a maximum gain of 8.9 dBi in the 890 - 944 MHz range is presented. The disadvantage of this antenna is that the antenna does not have circular polarization and its dimensions are large (305x3025x7mm). In [12] presents an L-shaped ground plane powered antenna with a maximum gain of 8.6 dBi in the 836 and 986 MHz range. The disadvantage of this antenna is its large dimensions (250x250x60mm). In [16], a reader antenna with a maximum gain of 4 dBi is presented in the 618- 998 MHz range. The Dimension size of the antenna is 120x120x0.8 mm. In [17], a reader antenna with a maximum gain of 5.62 dBi is presented in the 850 - 1060 MHz range. The disadvantage of this antenna is that the antenna is very thick and has a more complex structure because it is multi-layered. (150x100x10mm). However, these antennas are either large, have a small bandwidth, or have a small gain compared to the antenna.

The design of a UHF RFID high-gain circularly polarized RFID reader antenna is presented in this article. The proposed new antenna offers high gain for better readability of tags along with good impedance matching in the 864-870 MHz UHF RFID band. The proposed antenna circular polarization design is preferred because circular polarization provides distance gain over linear polarization and facilitates communication between antennas that are not in direct line of sight [19]. In addition, a suitable size design has been made for the reader antenna and the use of FR4 has been presented for a low cost.

## 2. Material and Method

### 2.1. Antenna Design

Figure 1 shows the geometry and size of the proposed antenna. The air-substrate thickness used in the proposed antenna is 5.42 mm. Used FR4 A 0.8 mm thick and FR4 substrate with permittivity =4.4, and loss tangent =0.02.

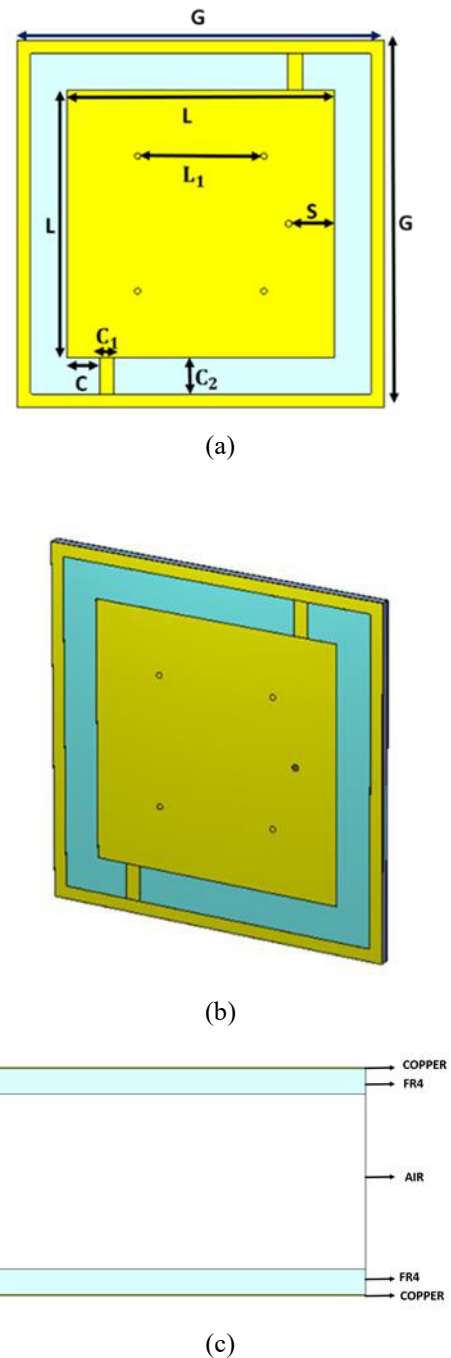


Fig.1: Geometry of proposed antenna. (a) top view, (b) antenna view (c) side view.

Fig.1 (e) shows the simplified version of the antenna from the side. Fig.1 (c), the antenna has 0.035 mm thick copper ground, 0.8 mm thick FR4, 5.42 mm air, 0.8 mm thick FR4, and 0.035 mm thick copper, from bottom to top, respectively. The patch and ground plane are connected by four copper pins. The antenna is fixed with these copper pins, which force the radiation patch to connect directly to the ground plane, increasing the antenna's impedance bandwidth. The antenna is fed by a 50  $\Omega$  SMA connector. The parameters used are  $G=250$  mm,  $L=183$  mm,  $L_1=82$  mm,  $C=22.50$  mm,  $C_1=24.50$  mm,  $C_2=10$  mm,  $S=30$  mm.

### 3.Results and Discussion

#### 3.1. Results

The proposed antenna was constructed and simulated using CST Studio Suite 2020. Antenna dimensions are optimized to achieve desired performance in reflection coefficient, bandwidth, axial ratio, and gain. The S parameters of the proposed antenna are shown in Fig.2. When Figure 2 is examined, the proposed antenna offers a bandwidth of 37 MHz in the frequency range of from 850 to 874 and 880 to 893 MHz. When Fig.3 is examined, the antenna provides 7.88 dBi gain at 867 MHz.

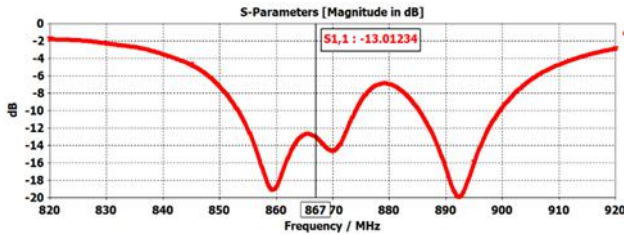


Fig.2: |S11| of a proposed reader antenna

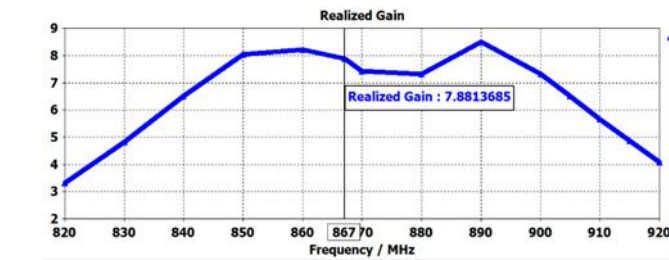


Fig.3: Realized gain of a proposed reader antenna

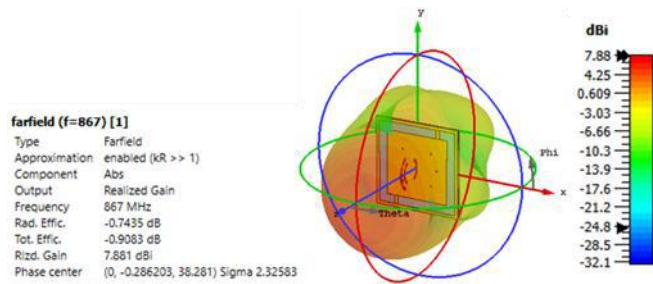


Fig.4: Realized gain of the proposed reader antenna

The 3D radiation patterns of the designed antenna are illustrated in Figure 4. The realized gain of the antenna is 7.88 dBi at 867 MHz.

When Fig.5 is examined, the axial ratio is below 3 dB in the range of 864-870 MHz. In the frequency range where the axial ratio is above 3 dB, the antenna exhibits circular polarization.

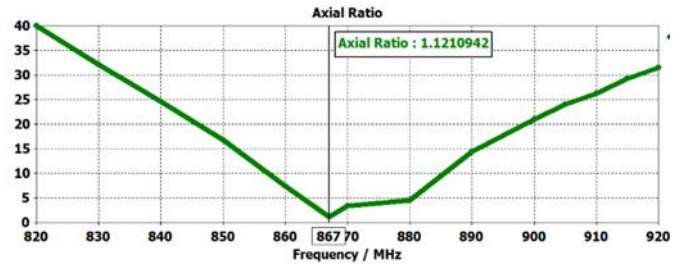


Fig.5: Axial the ratio of a proposed reader antenna

#### 3.2. Discussion

As seen in Table 1, the proposed reader antenna is better when compared to the reader antennas in the literature. Different studies have been examined in different working ranges and gains created with different parameters and methods. The proposed antenna is more applicable and usable than other antennas in terms of size and gain.

Table 1. Comparison of the performance parameters of the proposed antenna

Ref.	10 dB Bandwidth (MHz)	AR Bandwidth (MHz)	Gain (dBi)	Dimensions (mm)
[7]	880-960	906-928	9	254x254x18
[8]	890-944	902-928	8.9	305x305x7
[9]	685-1125	836-986	8	250x250x60
[10]	618-998	761-1123	4	120x120x0.8
[11]	850-1060	876-1084	5.62	150x100x10
Prop osed	900-940	911-921	8.64	250x250x7

### 4. Conclusion

In this paper, a high-gain circularly polarized RFID reader antenna has been proposed. The proposed antenna has a reading range from 850 MHz to 874 MHz, from 880 MHz to 893 MHz, and offers 37 MHz bandwidth. The gain of the designed antenna is 7.88 dBi at 867 MHz. Also, with a bandwidth of 864-870 MHz, the axial ratio (AR) is less than 3 dB. This indicates that the antenna has circular polarization at 867 MHz. The antenna, which is recommended to be used in UHF RFID applications, promises a good and useful antenna among RFID reader antennas.

### 5. Acknowledge

This study has been carried out using the laboratory facilities of İzmir Katip Çelebi University Smart Factory Systems Application and Research Center (AFSUAM).

## References

- [1] Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE pervasive computing*, 5(1), 25-33.
- [2] Farooq, U., ul Hasan, M., Amar, M., Hanif, A., & Asad, M. U. (2014). RFID based security and access control system. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(4), 309.
- [3] Özkaya, U., Yiğit, E., Seyfi, L., Öztürk, Ş., & Singh, D. (2021). Comparative regression analysis for estimating resonant frequency of c-like patch antennas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [4] Sevinc, Y., & Kaya, A. (2012). Reconfigurable antenna structure for RFID system applications using varactor-loading technique. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 20(4), 453-462.
- [5] Montero-de-Paz, J., Oprea, I., Rymanov, V., Babel, S., García-Muñoz, L. E., Lisauskas, A., ... & Carpintero, G. (2013). Compact modules for wireless communication systems in the E-band (71–76 GHz). *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 34(3), 251-266.
- [6] Rymanov, V., Palandöken, M., Lutzmann, S., Bouhlal, B., Tekin, T., & Stöhr, A. (2012, September). Integrated photonic 71–76 GHz transmitter module employing high linearity double mushroom-type 1.55  $\mu\text{m}$  waveguide photodiodes. In *2012 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics* (pp. 253-256). IEEE.
- [7] Palandöken, M., Rymanov, V., Stöhr, A., & Tekin, T. (2012, August). Compact metamaterial-based bias tee design for 1.55  $\mu\text{m}$  waveguide-photodiode based 71–76GHz wireless transmitter. In *Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS*.
- [8] Palandöken, M., & Ucar, M. H. (2014). Compact metamaterial-inspired band-pass filter. *Microwave and Optical Technology Letters*, 56(12), 2903-2907.
- [9] Palandöken, M., & Sondas, A. (2014). Compact Metamaterial Based Bandstop Filter. *Microwave Journal*, 57(10).
- [10] Lu, Y. L., Cui, H. R., Sun, X. W., Xu, M., & Yin, Y. Z. (2011, December). A simple UHF RFID circularly-polarized reader antenna design. In *2011 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS)* (pp. 1-2). IEEE.
- [11] Chung, H. L., Qing, X., & Chen, Z. N. (2007). A broadband circularly polarized stacked probe-fed patch antenna for UHF RFID applications. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2007.
- [12] Hsu, Y. W., & Yang, G. (2014). Slits loaded circularly polarized universal UHF RFID reader antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14, 827-830.
- [13] Zhao, H., Luo, Z., Shen, X., & Zhang, B. (2018, October). A Circularly Polarized Microstrip UHF RFID Reader Antenna with the Impedance Match Easily Advantage. In *2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)* (pp. 1876-1881). IEEE.
- [14] Nuangwongsa, K., & Miyai, K. (2018, July). Corner truncated patch circularly polarized antenna for UHF RFID applications. In *2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* (pp. 433-436). IEEE.
- [15] Tajin, M. A. S., & Dandekar, K. R. (2020). Pattern reconfigurable UHF RFID reader antenna array. *IEEE Access*, 8, 187365-187372.
- [16] Cao, R., & Yu, S. C. (2015). Wideband compact CPW-fed circularly polarized antenna for universal UHF RFID reader. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(9), 4148-4151.
- [17] Yuan, J., Wu, S., Chen, Z., & Xu, Z. (2019). A compact low-profile ring antenna with dual circular polarization and unidirectional radiation for use in RFID readers. *IEEE Access*, 7, 128948-128955.
- [18] Akdağ, İ., Göçen, C., Palandöken, M., & Kaya, A. (2020, October). Estimation of the Scattering Parameter at the Resonance Frequency of the UHF Band of the E-Shaped RFID Antenna Using Machine Learning Techniques. In *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [19] Desai, A., Akdag, I., Palandoken, M., Bui, C. D., Kulkarni, J., & Nguyen, T. K. (2021, October). Wide Slot Circularly Polarized Conductive Oxide-based Transparent Antenna Design for ISM Band RFID Applications. In *2021 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)* (pp. 217-221). IEEE.





# Makine Öğrenmesi ile Hedefe Yönelik Nanoterapötiklerin Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu

Naim Karasekreter<sup>1\*</sup>, Şeyda Gündüz<sup>2</sup>, Sadık Kağa<sup>3</sup> ve Süleyman Yaman<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2892-6430),

[karasekreter@aku.edu.tr](mailto:karasekreter@aku.edu.tr)

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Y.L Öğrencisi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9311-8611),

[seyda.gunduz@usr.aku.edu.tr](mailto:seyda.gunduz@usr.aku.edu.tr)

<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6303-7981),

[skaga@aku.edu.tr](mailto:skaga@aku.edu.tr)

<sup>4</sup> Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler M. Y. O, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1186-5918), [suleyman.yaman@firat.edu.tr](mailto:suleyman.yaman@firat.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 202\*2, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084311)

**ATIF/REFERENCE:** Karasekreter, N., Gündüz, Ş., Kağa, S. & Yaman, S. (2022). Makine Öğrenmesi ile Hedefe Yönelik Nanoterapötiklerin Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 693-700.

## Öz

Etkin ilaç dağıtımı, daha güvenli ve verimli terapötik sonuçlar elde etmek için bir ilacın belirli bir hastalık bölgesine verilmesini ifade etmektedir. Son zamanlarda geleneksel ilaç dağıtım yöntemleri yerine ilacın etkin bir şekilde dağıtımını hedefleyen nanopartikül temelli ilaç dağıtım yöntemleri kullanılmaktadır. Etkin ilaç dağıtımını sınırlandıran nanoparçacığın yapısından ve farmakokinetik sınırlamalardan kaynaklı çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler nanoterapötiklerin özellikle hastalıklı kısımlarda başarılı bir şekilde birikmesini engeller ve hastalık sürecinde etkin yanıtı sınırlar. Nanoterapötik ilaçların vücuttaki dağılımında karşılaşılan temel problem, nanopartiküllerin hastalık bölgelerinde terapötik ilaç seviyelerine ulaşamamasıdır. Spesifik bir hedefe yapılamayan ilaç dağıtımını ve terapötiklerin hastalıklı bölgede yetersiz birikimi gibi engeller, ilaç geliştiricileri için zorluk olmaya devam etmektedir. İlaç dağıtımına yönelik bu engelleri başarılı şekilde aşmak için geleneksel nanoparçacıkların yeniden tasarlanmasına ihtiyaç vardır. Nanoparçacıkların intravenöz uygulamada karşılaştığı engeller göz önüne alındığında, hedefe yönelik terapötiklerin birikimini, kandaki dolaşım süresini ve hücre membran etkileşimlerini etkileyen birçok faktör olduğu anlaşılmaktadır. Bu parametrelerden başlıcaları; nanoparçacık yüzey yapısı ve yüzey yükü, nanoparçacık boyutu, nanoparçacık şekli, nanoparçacık uygulama yöntemi ve dozudur. Bu parametreler akciğer, karaciğer, dalak ve böbrekler dahil olmak üzere farklı organlar arasındaki biyolojik dağılımı belirler. Üretilen terapötik nanoparçacıkların farmakokinetik özelliklerinin belirlenmesi, uzun zaman isteyen, yüksek teknoloji ve uzmanlık gerektiren, yüksek maliyetli testlerle mümkün olmaktadır. Bu durum ar-ge aşamasında olan çalışmalar için hem zaman hem maliyet açısından ciddi bir engel oluşturmaktadır. Bu çalışmada biyolojik dağılımı etkileyen parametrelerle ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ele alınarak nanotıp, ilaç sektörü, biyoteknoloji gibi birçok bölümde ileride yapılacak çalışmalar için bir veri seti oluşturulmuştur. Ayrıca istenen özelliklere göre üretilecek olan nanoparçacığın üretim parametrelerinin optimum şekilde hesaplanmasını sağlayacak akıllı bir sistem tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nanopartikül, Nanoterapötik, Makine Öğrenmesi, Veri Seti, Optimizasyon

## Optimizing Production Parameters of Targeted Nanotherapeutics with Machine Learning

### Abstract

Effective drug delivery refers to the delivery of a drug to a specific disease site to achieve safer and more efficient therapeutic results. Recently, nanoparticle-based drug delivery methods aiming at effective drug delivery have been used instead of traditional drug delivery methods. There are several factors that limit the effective drug delivery due to the structure of the nanoparticle and pharmacokinetic limitations. These factors prevent the successful deposition of nanotherapeutics, especially in diseased parts, and limit the effective

\*Sorumlu Yazar: [karasekreter@aku.edu.tr](mailto:karasekreter@aku.edu.tr)

response in the disease process. The main problem encountered in the distribution of nanotherapeutic drugs in the body is that nanoparticles cannot reach therapeutic drug levels at disease sites. Barriers such as inability to deliver drugs to a specific target and insufficient accumulation of therapeutics at the diseased site remain challenges for drug developers. To successfully overcome these barriers to drug delivery, traditional nanoparticles need to be redesigned. Given the barriers nanoparticles face in intravenous administration, it appears that there are many factors that influence the accumulation of targeted therapeutics, circulation time in the blood, and cell membrane interactions. The main ones among these parameters are; nanoparticle surface structure and surface charge, nanoparticle size, nanoparticle shape, nanoparticle application method and dose. These parameters determine the biodistribution between different organs, including the lung, liver, spleen, and kidneys. Determination of the pharmacokinetic properties of the produced therapeutic nanoparticles is possible with high cost tests that require long time, high technology and expertise. This situation creates a serious obstacle in terms of both time and cost for studies that are in the R&D stage. In this study, a data set was created for future studies in many departments such as nanomedicine, pharmaceutical industry, biotechnology, by considering the data obtained from the studies on the parameters affecting the biological distribution. In addition, an intelligent system has been designed to optimally calculate the production parameters of the nanoparticle to be produced according to the desired properties.

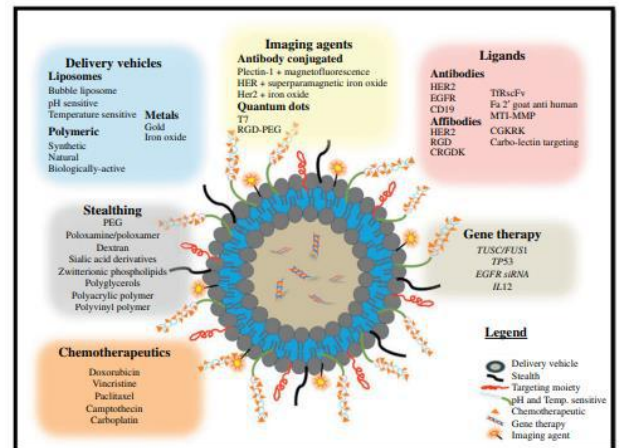
**Keywords:** Nanoparticle, Nanotherapeutic, Machine Learning, Dataset, Optimization

## 1. Giriş

Nanoteknoloji, nano ölçekte malzeme ve cihazların tasarımı, sentezi, karakterizasyonu ve uygulamasına odaklanmaktadır. Nanoteknolojinin tıbbi uygulanması, tıbbi sorunları ele almak, insan sağlığını korumak ve iyileştirmek için moleküler bilgiyi kullanan “nanotıp” adı verilen yeni bir alanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Nanotipteki hızlı ilerlemenin kapsamı, in vivo görüntüleme, teşhis, hedefli ilaç dağıtımı ve gen tedavisi gibi terapötiklere kadar uzanmaktadır (Freitas R. A., Jr, 2002). Nanotıp alanında en dikkat çeken uygulamalardan birisi de etkin ilaç dağıtımını sağlamak amacıyla geleneksel ilaç dağıtım yöntemleri yerine spesifik bir bölgenin ya da hastalığın tedavisini amaçlayan nanopartikül temelli ilaç dağıtım yöntemlerinin kullanılmasıdır. Çeşitli hastalıklarda tedavinin başarılı bir şekilde sonuçlanması, büyük ölçüde ilaçların belirli bir hedefe yönlendirilebilme yeteneğine bağlıdır. Geleneksel ilaç formülasyonunda ilaç molekülleri vücutta serbestçe yayılarak dağılmaktadır. Bu durum, tedavi edilmek istenen spesifik bölge dışında diğer bölgelere de yayılmasına ve bunun sonucu istenmeyen yan etkilerin oluşmasına sebep olabilmektedir. Bunun yanında, ilacın tedavi edilmek istenen bölgede yeterli seviyede toplanmaması sebebiyle hastaya uygulanacak ilaç dozu artırılmak zorunda kalılabilmektedir (Torchilin V. P. (2005). Geleneksel ilaç dağıtım yöntemlerinin yukarıda bahsedilen istenmeyen farmakokinetik sınırlamaların önüne geçmek için nanopartikül temelli ilaç dağıtım yöntemleri ortaya çıkmıştır (Patel, H. M., & Moghimi, S. M., 1998).

Son yıllarda, kanserin daha etkili bir şekilde tedavi edilebilmesi için pasif veya aktif hedefli nanopartiküllerin geliştirilmesinde ve uygulanmasında kayda değer ilerlemeler kaydedilmiştir (Baeza, A., 2017). Buna ek olarak günümüzde, optik (Chen, W., 2016 ve Dykman, L. A., 2016), elektriksel (N. Salah, 2016), manyetik (R.M. Patil, 2014. P.B. Shete, 2014. R.M. Patil, 2014. P.B. Shete, 2013) vb. açılardan optimum fizikokimyasal özelliklere sahip farklı nanoyapıları sentezlemek için bilimsel çalışmalar halen devam etmektedir. Bu optimum fizikokimyasal özellikteki nanoyapılar boyutları, şekilleri, yüzey yükleri gibi özellikleri kontrol edilerek hazırlanmaktadır. Bu nanoyapıların yüzeyi daha sonra biyogörüntüleme, fototermal terapi, hedeflenen ilaç dağıtımı gibi in vivo biyomedikal uygulamalar için biyoyumluluk sağlamak amacıyla işlevselleştirilmektedir. Metalik/organik nanopartiküller, nanoçubuklar, nanolevhalar ve nanotüpler gibi farklı nanoyapı

türleri kanser tedavisi için hazırlanmıştır ( Sailor, M. J., & Park, J. H., 2012). Metalik nanoyapılar arasında süperparamanyetik demir oksit nanopartiküller (IONP,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MgFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, NiFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve CoFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), karbon nanotüpleri (CNT), altın nanopartiküller, La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> ve mezogözenekli silika nanopartiküller yer almaktadır. Örneğin, birçok manyetik nanopartikül yüksek biyoyumluluk ve düşük toksisite gösterdiğinden, hedefe yönelik ilaç dağıtımı, kanser teşhisi ve tümörlerin hipertermik tedavisi gibi biyomedikal uygulamalar için kullanılmıştır (Shah, M. A., 2015). Son yıllarda kanserde daha etkili tedavi için hem tanısal hem de terapötik işlevleri tek bir nano ölçekli sistemde birleştirmek için önemli çabalar sarf edilmiştir. Nanopartiküller, özellikle hibrit nanoyapı olarak adlandırılan bir nano düzeneğe birden fazla türde nanoyapı dahil edilebildiği için bu tür ikili işlevleri başarma konusunda büyük potansiyele sahiptir. Bu yaklaşımda lipozomal, misel, gözenekli silika, polimerik, asil metal ve nanotüp sistemleri, bir nanopartikülün içine veya yüzeyine dahil edilmektedir. Şekil 1’de çok işlevli nanopartiküllerin şematik diyagramı gösterilmektedir (Sailor, M. J., & Park, J. H., 2012)



Şekil 1. Çok işlevli nanoparçacık sistemlerinin, çeşitli ilaç dağıtım aracı, tümör hedefleyici ligandlar, moleküler görüntüleme ajanları ve biyolojik ve sentetik terapötikler olarak kullanılması.

İn vitro ilaç dağıtımı esas olarak nanopartikül-hücre etkileşimleri ile ilgiliyken, in vivo dağıtım ise nanopartikülün uygulama noktasından hedef noktaya nasıl taşınacağı ile ilgilidir.

Nanopartikül vücuda girdikten sonra herhangi bir tedavi uygulanmadan önce hedef dokuya ulaşması ve orada birikmesi gerekmektedir. Bu nedenle, organ ve sistem seviyelerinde nanopartiküllerin taşınması, hedeflemede seçicilik ve verimlilik, bağışıklık tepkisi, biyolojik bozunma, biyolojik dağılım, klirens ve toksisite gibi birçok konu ile ilgilenilmelidir (Chen, W, 2016).

Etkin ilaç dağıtımı, daha güvenli ve verimli terapötik sonuçlar elde etmek için bir ilacın belirli bir hastalık bölgesine verilmesini ifade etmektedir (Ur Rehman, F, 2021). Etkin ilaç dağıtımını sınırlandıran faktörler vardır ve bu faktörler nanoterapötik ilaçların özellikle hastalıklı kısımlarda başarılı bir şekilde birikmesini engellemektedir. Bu yüzden hastalık sürecindeki etkin yanıtı kısıtlamaktadır. Nanoterapötik ilaçların vücuttaki dağılımında karşılaşılan temel problem, nanopartiküllerin hastalık bölgelerinde terapötik ilaç seviyelerine ulaşamamasıdır. Spesifik bir hedefe yapılamayan ilaç dağıtımı ve bunun sonucunda terapötiklerin hastalıklı bölgede yetersiz birikimi gibi engeller, ilaç geliştiricileri için zorluk olmaya devam etmektedir (Patel, H. M., & Moghimi, S. M., 1998). İlaç dağıtımına yönelik bu engelleri aşmak için geleneksel nanoparçacıkların yeniden tasarlanmasına ihtiyaç vardır (Chen, W, 2016). Nanoparçacıkların intravenöz uygulamada karşılaştığı engeller göz önüne alındığında, hedefe yönelik terapötiklerin birikimini, kandaki dolaşım süresini ve hücre membran etkileşimlerini inceleyen birçok faktör olduğu anlaşılmaktadır. Bu parametrelerden başlıcaları; nanoparçacık yüzey yapısı ve yüzey yükü, nanoparçacık boyutu, nanoparçacık şekli, nanoparçacık uygulama yöntemi, uygulama süresi ve dozudur (Aryal, S., 2019). Bu parametreler akciğer, karaciğer, dalak ve böbrekler dahil olmak üzere farklı organlar arasındaki biyolojik dağılımı belirlemektedir. Şekil 2'de nanoparçacık boyutu, şekil ve yüzey yükü değişkenliğine göre akciğer, karaciğer, dalak ve böbrekler dahil olmak üzere farklı organlar arasındaki biyolojik dağılımını gösteren tablo görünmektedir (Moghimi, S., 1993).

Ayrıca kullanılan hayvan modeli, enjekte edilen doz, hibrit nanoyapıların boyutu ve uygulama modu gibi farklı parametrelerle, farklı hibrit nanoyapıların biyolojik dağılımı hakkında kısa bilgi Tablo 1'de verilmiştir (R. M. Patil, P. B. Shete, 2019).

Tablo 1. Farklı hibrit nanoyapıların biyolojik dağılımı hakkında kısa bilgi

Yüzey Maddesi	Boyut (nm)	Denek Hayvan	Uygulama Yöntemi	Organ
PEGylated MSNs	120	Fare	IV	Akciğer
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -dextran	80	Sıçan	IV	Dalak
HA-NPs	400	Fare	IV	Böbrek
MagDye @MSNs		Fare	Göz damarı enjeksiyonu	Akciğer
AuNP	80	Fare	IV	Tümör

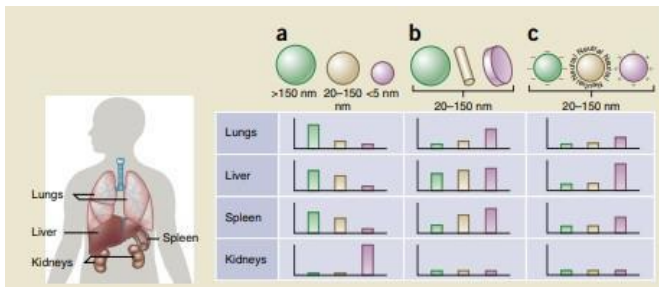
### 1.1. Nanoparçacık Yüzey Yapısı ve Yüzey Yükünün Etkisi

Bir nanopartikülün yüzey yapısı, hedeflenen organ veya dokuya ulaşmasında ve ardından vücuttan temizlenmesinde önemli bir rol oynar. Ayrıca hücreler arası etkileşimi de etkiler. Hibrit nanoyapıların da yüzeyinde bulunan yük ve fonksiyonel gruplar, hücre alımını yanı sıra biyolojik dağılımlarını da belirler. Bu hibrit nanoyapıların biyolojik dağılımı, hedefledikleri doku ve/veya hücre tipine de bağlıdır. Bu nedenle, hibrit nanoyapıların yüzey özellikleri, hedeflenen doku/hücreye etkili ve spesifik taşınmaları için iyi yönetilmelidir.

Farklı organik ve inorganik malzemeler ile yüzey modifikasyonu kullanarak farklı yüzey yükleri olan nanopartiküller sentezlemek için çalışmalar yapılmıştır. Yüzey özelliği, nanomalzemeler ve hücreler arasındaki etkileşimi etkiler. Bu özellik doğrudan fiziksel kararlılıkla ilgilidir. Nötr yüke sahip parçacıklar daha hızlı toplanma eğilimindedir. Güçlü katyonik nanopartiküller, hücre içi alımlarını artıracak olan hücre zarları ile daha uygun bir şekilde etkileşime girer. Pozitif yüklü nanopartiküller, hücreler tarafından anyonik nanopartiküllerden daha fazla alınabilir (Zaki NM., 2011). Örneğin yapılan çalışmalarda polilizin-dekstran kaplı IONP'ler başlıca karaciğer ve dalakta bulunurken, süksinat polilizin-dekstran kaplı IONP'ler esas olarak lenf düğümlerinde bulunduğu, ayrıca hem pozitif yüklü hem de negatif yüklü IONP'lerin, nötr yüklü IONP'lere kıyasla karaciğer alımında daha yüksek artış ve daha kısa dolaşım süreleri gösterdiğini buldu (Chouly, C, 1996).

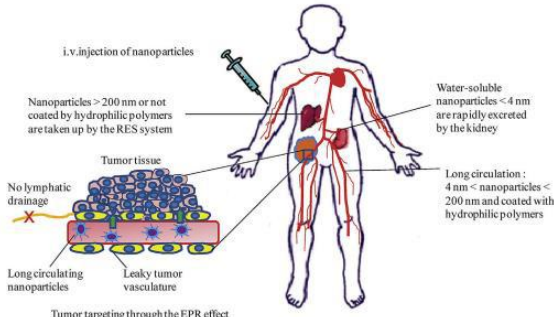
### 1.2. Nanoparçacık Boyutunun Etkisi

Nanoparçacık boyutu, optimum biyolojik dağılım, atılım ve toksisite için bir nanoparçacık tasarlarken kritik bir husustur. Kan dolaşımı yarı ömrü, moleküler hedefleme ve hücre alım gibi fizyolojik olaylarda, yüzey malzemesi ve yükü ile birlikte partikül boyutunun da önemli bir faktör olduğu ve terapötik etkinin elde edilmesine katkı sağladığı bilinmektedir. Optimum nanoparçacık boyutu belirlenirken nanoparçacık tarafından hedeflenen biyolojik sistem, organ veya doku nihai karar faktörüdür. Bir nanoparçacığın boyutu, nanoparçacığın hangi sistem ile filtreleneceği ve filtre işleminin ne hızda gerçekleşeceğini belirler. Örneğin, nanopartiküller intravenöz(iv) enjeksiyonla uygulandığında, 200 nm'den büyük olanlar mononükleer fagosit sistemi (MPS) tarafından kan dolaşımından hızla filtrelenecektir, fakat 5 nm'den küçük nanopartiküller böbrek kılcal damarlarından geçebilir ve böbrek sistemi tarafından hızla



Şekil 2: Nanoparçacıkların biyodağılımı

atılır (Aryal, S., 2019 ve Choi, H, 2007). Yapılan bir çalışmada Daha büyük IONP'lerin karaciğer ve dalak tarafından daha hızlı alındığı ve kanda daha kısa bir dolaşım süresine sahip olduğu, daha küçük IONP'lerin ise lenf düğümleri gibi organlara erişimi ve daha uzun dolaşım süresinin olduğu gözlemlenmiştir (Bourrinet, P, 2006). Şekil 3'de Artmış geçirgenlik ve alıkonma (EPR) etkisine bağlı olarak nanoparçacıkların tümörlerde birikimi, retikuloendotelial sistem (RES) tarafından nanoparçacık alımını ve böbrek tarafından nanoparçacık atılımını gösteren intravenöz olarak enjekte edilen nanoparçacık biyodağılımının şematik gösterimi verilmiştir (R. M. Patil, P. B. Shete, 2019).



Şekil 3. Boyut endeksli nanoparçacık biyodağılımının şematik gösterimi

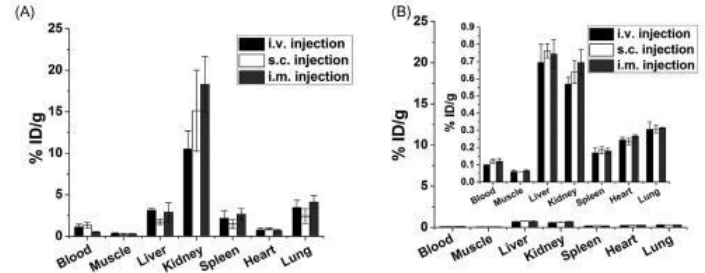
### 1.3. Nanoparçacık Şeklinin Etkisi

Şekil, nanopartiküllerin kan dolaşımı, hedefleme, hüresel alım ve hücre içi trafikteki davranışlarını belirlemede çok önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Küreler, ilaç taşıma taşıyıcıları olarak en yaygın olarak kullanılan şekli temsil eder. Parçacık geometrisinin makrofajlar tarafından fagositoz üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Küresel nanopartiküller, makrofajlar tarafından kolayca fagosite edilir. Eliptik disk şeklindeki parçacıklar, nanopartikül şekline bağlı olarak makrofajlarla farklı etkileşimler sergiler. Eliptik disk şeklindeki parçacıklar için, makrofajlar parçacıkla başlangıçta düz tarafta temas ettiğinde fagositozu tamamlayamazlar. Bununla birlikte, eliptik disk şeklindeki parçacığın sivri ucuyla temas ettiklerinde normal fagositoz sergilerler. Eliptik disk şeklindeki parçacıklar, küresel parçacıklara kıyasla daha uzun dolaşım süreleri ve daha yüksek hedefleme yeteneği sergiler. Solucan benzeri esnek miseller kanda uzun süreli dolaşım sergiler. Bu misellerin solucan benzeri şekli ve esnekliği, fagositozdan kaçınmayı ve kanda şaşırtıcı derecede uzun (1 hafta) kalma süresini elde etmeyi mümkün kılmaktadır. (Yoo, J, 2010). Yapılan bir çalışmada, farklı şekillerdeki mezogözenekli silika nanoparçacıkların (MSN) biyolojik dağılımı incelenmiştir. Çubuk şeklindeki partiküllerin karaciğer ve akciğerde daha yüksek bir alıma sahipken, küre şeklindeki partiküllerin dalakta alımının yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Cilliers, C, 2017).

### 1.4. Nanoparçacık Uygulama Şeklinin Etkisi

Nanoparçacıkların görüntüleme ve terapi için etkin kullanımında bir diğer husus, uygulama yoludur. Yapılan bir çalışmada, Periton içine enjekte edilen partiküllerde yüksek dalak birikimine rastlanmış ve diğer organlarda daha yavaş dağılıma sahip olduğunu bulmuşlardır. Oral uygulama ile ise birikim esas olarak bağırsakta olmuştur. Yapılan başka bir çalışmada ise

nanopartikülün üç enjeksiyon yolunun (i.v., deri altı ve kas içi) in vivo dolaşım, temizleme ve tümör birikimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Başlangıçta, i.v. uygulama, deri altı veya kas içi yollardan çok daha yüksek kan seviyelerine yol açtı. Ancak, i.v. enjekte edilen partikül kandan hızla temizlenirken hem deri altı hem de kas içi uygulanan partiküller zamanla kanda birikmiştir (Ji, Z., Guo, W, 2021). Şekil 4'de farklı uygulama yöntemleri sonucunda partiküllerin organlarda birikme oranı gösterilmiştir.



Şekil 4. Uygulama yöntemine bağlı olarak partiküllerin organlarda birikimi

Üretilen terapötik nanoparçacıkların farmakokinetik özelliklerinin belirlenmesi, uzun zaman isteyen, yüksek teknoloji ve uzmanlık gerektiren, yüksek maliyetli testlerle mümkün olmaktadır. Bu durum ar-ge aşamasında olan çalışmalar için hem zaman hem maliyet açısından ciddi bir engel oluşturmaktadır. Nano endüstrinin hızla genişlemesi nedeniyle, nano malzemelerin sentezi, fizikokimyasal özellikleri ve biyoaktiviteleri ile ilgili büyük miktarda veri üretilmiştir. Bu veriler nanomalzemelerin çeşitli yönleri hakkında, farklı kaynak ve formattadırlar. Ancak bahsedilen verilerde, daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar ham şekilde paylaşılmakta ve yorumlanamamaktadırlar. Buradan çıkan sonuç doğrultusunda biyolojik dağılımı etkileyen parametrelerle ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ele alınarak nanotıp, ilaç sektörü, biyoteknoloji gibi birçok bölümde ileride yapılacak çalışmalar için bir veri seti oluşturulmasının gerekliliği görülmektedir. Ayrıca istenen özelliklere göre üretilen nanoparçacığın üretim parametrelerinin optimum şekilde hesaplanmasını sağlayacak akıllı bir sisteme ihtiyaç olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, Nanoparçacıkların, hedef alınan organda toplanabilmesi için üretim parametrelerinin optimizasyonuna destek olması amacıyla akıllı bir sistem tasarımı yapılmıştır. Çalışmada, nanoparçacıkların üretim ve uygulama aşamasında önemli olan parametreler belirlenmiş, organ dağılımı ile ilgili olan çalışmalardan bu parametrelerle ilgili veriler toplanarak bir veri seti haline getirilmiş ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak verilerin sınıflandırılmalarına çalışılmıştır. Sınıflandırmada, K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması kullanılmıştır. Uygulama, Weka yazılımı ile yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Setinin Hazırlanması

Bu çalışmada hedef odaklı nanopartiküllerin biyolojik dağılımının, makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Yapılan literatür ve veri tabanları araştırmalarında nanopartiküllerin biyolojik dağılımına ilişkin hazır bir veri seti bulunamamıştır. Bu yüzden nanopartiküllerin biyolojik dağılımını inceleyen çalışmaların bir bölümü detaylı bir şekilde incelenerek 31 veri içeren bir veri seti oluşturulmuştur

(27-41). Nanopartiküllerin biyolojik dağılımını araştıran çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarda nanopartiküllerin boyutu, yüzey maddesi, uygulama yöntemi, uygulama süresi ve denek hayvanı ile ilgilenildiği görülmüştür. Bu yüzden oluşturulan veri setinde nanopartiküllerin boyutu, yüzey maddesi, uygulama yöntemi, uygulama süresi ve denek hayvanına karşılık nanopartikülün görüldüğü organ ya da dokular kaydedilmiştir. Oluşturulan veri setinin örnek bir bölümü Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2. Örnek Veri Seti Değerleri

Boyut (nm)	Yüzey Maddesi	Denek Hayvan	Uygulama Yöntemi	Uygulama Süresi	Organ Doku
50	PEG-SH	Fare	IV	2 h	Kan
50	Galactose-PEG-SH	Fare	IV	2 h	Akciğer
65	PEG-SH	Fare	IP	72 h	Tümör
65	PEG-SH	Sıçan	IV	1h	Dalak
15	Gum arabic	Fare	IV	24h	Karaciğer
5	PEG	Sıçan	IV	4d	Böbrek

## 2.2. Ön İşlem

Nanopartikülün biyolojik dağılımına ilişkin oluşturulan veri seti, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak sınıflandırılabilmesi için öncelikle kategorik veriler sayısal değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bu yüzden oluşturulan veri setinde uygulama yöntemi, yüzey maddesi, denek hayvanı ve biyolojik dağılım kategorik değerlerden sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Dönüştürme işlemi etiket kodlama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Etiket kodlama yönteminde kategorik değerlerin her birine eşsiz bir tamsayı değeri atanmaktadır (Hancock, J. T., & Khoshgoftaar, T. M., 2020). Veri setinin bulunan kategorik değerlerin etiket kodlama yöntemi ile sayısal değerlere çevrilmiş halinin bir bölümü tablo 3,4,5’de gösterilmektedir.

Tablo 3. Yüzey Maddesi Sayısal Değerleri

1:	PEG SH
2:	GUM ARABIC
3:	PAMAM
4:	PEG
5:	DEXTRAN
6:	NA ALGINATE

Tablo 4. Denek Hayvanı Sayısal Değerleri

1:	DOMUZ
2:	FARE
3:	SIÇAN
4:	İNSAN

Tablo 5. Çıkış Organ ve Dokusu Sayısal Değerleri

1:	AKCİĞER
2:	KALP
3:	BEYİN
4:	TÜMÖR
5:	KAN

## 2.3. KNN Algoritması

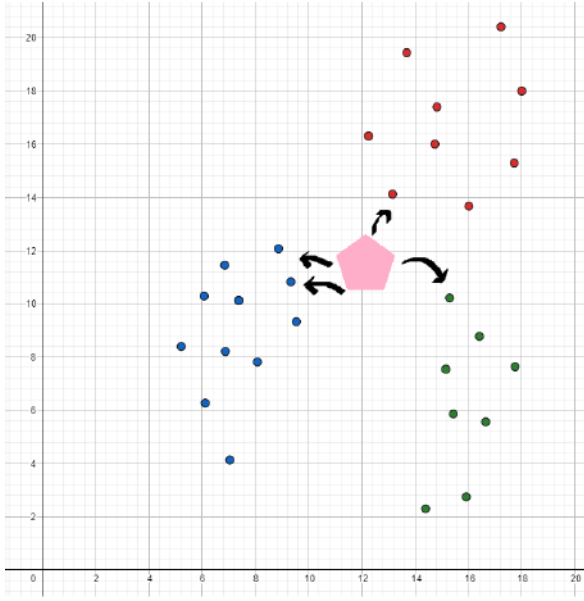
Sınıflandırmalarda başlıca hedef, nesnelerin özelliklerine göre hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesidir. Karar ağaçları, en yakın komşu, bayes, yapay sinir ağları gibi birçok sınıflandırma türü ve algoritmaları bulunmaktadır. K en yakın komşular (kNN) algoritması, yeni bir test verisini sınıflandırmak için, sistem eğitim verilerine en yakın olan k adet komşuyu bulur ve kategori adaylarını ağırlıklandırmak için en yakın komşuların kategorilerini kullanır. kNN algoritması, sınıflandırmaları yapabilmek için uzaklık fonksiyonlarını kullanır. Bu sınıflandırma işlemlerinde denklem 1,2 ve 3’de verilen uzaklık fonksiyonlarını kullanılabilir.

$$\text{Öklid Fonksiyonu} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i + y_i)^2} \quad (1)$$

$$\text{Manhattan Fonksiyonu} = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \quad (2)$$

$$\text{Minkowski Fonksiyonu} = ((\sum_{i=1}^k |x_i - y_i|^q)^{\frac{1}{q}}) \quad (3)$$

Denklemlerde belirtilen uzaklık fonksiyonları, çalışma kapsamında, nanopartikülün yüzey kimyası, nanopartikül boyutu, partikül uygulama yöntemi, denek hayvan gibi özellikleri kullanır. Test edilmek istenen partikülün hangi sınıfa ait olduğunu öğrenmek için öncelikle yukarıda sayılan özellikleri çıkarılır ve hangi sınıfa ait olduğu bilinen partikül ile kıyaslanır. Bu kıyaslama aradaki uzaklık dikkate alınarak yapılır. Bunun sonucunda test parçasığına en yakın mesafeye sahip olan parçacık hangi hareket grubuna dahilse, test parçasığı da o gruba dahil edilir. Daha sağlıklı sonuçlar almak için en yakın seçilen komşu sayısı artırılabilir (Çerçi, Ç., 2017). Örnek olarak Şekil 5’de, nanopartiküle en yakın dört komşunun dikkate alındığı görülmektedir.



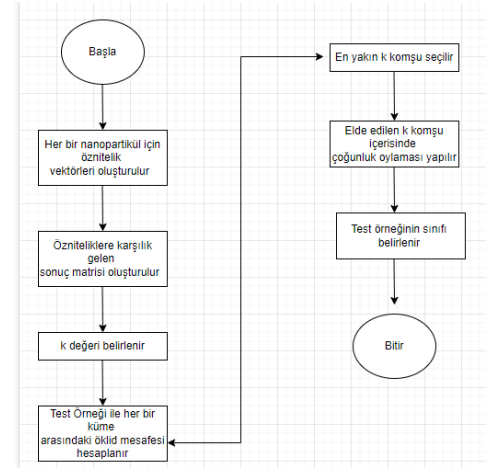
Şekil 5. En yakın dört komşunun gösterimi.

Daha sonra dört komşu arasında çoğunluk oylaması yapılarak, bu sayede daha doğru sonuçların elde edilmesi sağlanır.

$$L(x, y) = \sqrt{(x_1 + y_1)^2 + (x_2 + y_2)^2 + \dots + (x_k + y_k)^2} \quad (4)$$

Denklem 4'de mesafenin öklid teoremine göre hesaplanmasına ilişkin formül bulunmaktadır. Literatürde mesafe hesaplaması ile ilgili farklı yöntemler de bulunmaktadır. Formüle x ve y, yakınlığı ölçülen iki nanopartikülün öznitelikleri olarak düşünülebilir. Bu durumda k ise öznitelik sayısı olmaktadır. Yapılan çalışmalarda hesaplamaların daha doğru sonuçlar verebilmesi için verilerin sıfır ile bir arasında normalleştirilerek işlemlere devam edilmesi önerilmektedir. Normalleştirme işlemi, her bir özellik matrisi için ayrı ayrı yapılmalıdır. KNN algoritması, işlem yükü olarak ağır bir sınıflandırmadır.

Hedef için bir defa, tüm örnek için tahmin yapmak yerine, yeni bir örneği sınıflandırılıncaya kadar işlemi geciktirir ve bir test verisini eğitim setindeki tüm veri setleriyle karşılaştırması gerekir. Buna ek olarak, bu algoritmanın performansı büyük ölçüde iki faktöre, yani uygun bir benzerlik fonksiyonuna ve k parametresi için uygun bir değere bağlıdır. k parametresi, kaç adet komşunun seçileceğini belirtir. k'nın uygun bir değer seçilmesinin, kNN algoritmasının tanısıl performansı üzerinde etkisi büyüktür. k değerinin olması gerekenden büyük seçilmesi rastgele hata sebebiyle oluşan varyansın etkisini azaltırken, küçük fakat önemli kalıpların da göz ardı edilmesi riskini taşır. k değerini uygun seçmenin püf noktası, aşırı uyum ile yetersiz uyum arasında bir denge oluşturmaktır. Bazı yazarlar k'yı eğitim veri setindeki gözlem sayısının kareköküne eşit olarak ayarlamayı önerirler (Çerçi, Ç., 2017). kNN algoritması için akış şeması şekildeki gibi gösterilebilir.



Şekil 6. kNN algoritması akış şeması

kNN algoritması uygulanırken, nanopartikül için bazı öznitelikler belirlenir. Ardından nanopartikülün özniteliklerine ait veriler normalleştirilir. Her bir öznitelik ayrı bir şekilde incelenir. Değerler, kendi öznitelik grubundaki en büyük sayıda öznitelige bölünürler. Bu işlemin sonucunda yeni öznitelik verileri oluşmaktadır. Sonrasında test nanopartikülünün, öklid mesafesi kullanılarak her bir nanopartikül ile olan uzaklığı incelenir. Hesaplamalar sonucunda test nanopartikülünün en yakın olduğu partikül bulunur. Anlatılan yöntemde k, 1 alınarak yapılmıştır. Bu sayede en yakın komşu hangisiyse ona atanmış olur. Eğer k değeri birden farklı bir değer olsaydı, sonuç olarak bulunacak en yakın k tane değer alınacaktı. Elde edilen k tane değer arasında da bir çoğunluk oylaması yapılarak, test nanopartikülünün hangi sınıfa dahil olduğuna o şekilde karar verilmesi beklenmektedir (Çerçi, Ç., 2017).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Vücutta filtrasyon işlemi yapan karaciğer, dalak ve böbreğin doğası gereği vücuttaki istenmeyen kimyasallar süzüleceğinden, bu organlarda toplanması veya bulunması ihtimali çok yüksektir. Bu nedenle, bu organlar sınıflandır dışı tutulmuştur. Sınıflandırmada KNN algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırmada kullanılan öznitelikler, boyut(size), yüzey kimyası (surface coating), hayvan modeli (animal model) ve örnek alım zamanı (exposure duration) olarak belirlemiştir. Çıkış sınıfları olarak ise filtrasyon organları dışında en çok nanoparçacık toplanan organlar seçilmiştir. Bunlar, kalp(heart), kan(blood), beyin(brain), tümör(tumour) ve akciğer(lung) olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma işleminde çapraz doğrulama modeli kullanılmıştır. Rastgele seçilen 10 veri doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Buna göre, algoritmanın sınıflandırma sonuçları Tablo6'da verilmiştir.

Tablo 6. Sınıflandırma Sonuçları

Doğru Sınıflandırılan Veri Sayısı (Correctly Classified Instances)	17 (54.8387%)
Kappa Sayısı (Kappa statistic)	0.4014
Ortalama Mutlak Hata (Mean absolute error)	0.1991
Standart Sapma (Root mean squared error)	0.3966
Total Number of Instances	31

Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, ağırlıklı sınıflandırma başarımı %54,83 olarak belirlenmiştir. Çapraz doğrulama işleminde ise rastgele seçilen 10 veri kullanılmış ve buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Çapraz Doğrulama sonuçları

	a	b	c	d	e
1. Doğrulama	9	1	0	0	0
2. Doğrulama	2	5	0	0	0
3. Doğrulama	3	1	2	1	1
4. Doğrulama	1	0	0	0	2
5. Doğrulama	0	0	0	2	1

a: Kan, b: Tümör, c:Akciğer, d: Kalp, e: Beyin

Elde edilen bulgular çalışmanın ön verilerinin sunumu niteliğindedir. Hazır bir veri setinin olmamasından dolayı, veriler literatürdeki çalışmalardan elde edilmiştir. Dolayısıyla yüksek doğrulukta bir sınıflandırma için yeterli veri olmamasına rağmen, elde edilen sonuçlar, veri sayısının artırılmasıyla sınıflandırma veriminin artacağını göstermektedir.

## 4. Sonuç

Nanoparçacıkların üretim ve uygulama süreçleri oldukça maliyetli ve uzmanlık gerektiren işlerdir. O nedenle, toplanma hedefine göre üretim parametrelerinin optimize edilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda hızla gelişen yapay zekâ teknolojisi ve sınıflandırma algoritmaları ile çözülebilecek bir problem olmasına rağmen hazır veri setinin olmaması çalışmanın özgünlüğüne vurgu yapmaktadır. Çalışmanın sonraki aşamalarında, literatürdeki yayınlanan tüm veriler elde edilerek büyük bir veri seti oluşturulacak ve filtrasyon organları da sisteme dahil edilerek, nanoparçacıkların toplanması istenen organ veya tümör dokusu ile aralarındaki regresyona da bakılacaktır.

## Kaynakça

- [1] Freitas R. A., Jr (2002). The future of nanofabrication and molecular scale devices in nanomedicine. *Studies in health technology and informatics*, 80, 45–59.
- [2] Torchilin V. P. (2005). Recent advances with liposomes as pharmaceutical carriers. *Nature reviews. Drug discovery*, 4(2), 145–160.
- [3] Patel, H. M., & Moghimi, S. M. (1998). Serum-mediated recognition of liposomes by phagocytic cells of the reticuloendothelial system - The concept of tissue specificity. *Advanced drug delivery reviews*, 32(1-2), 45–60.
- [4] Baeza, A., Ruiz-Molina, D., & Vallet-Regí, M. (2017). Recent advances in porous nanoparticles for drug delivery in antitumoral applications: inorganic nanoparticles and

nanoscale metal-organic frameworks. *Expert opinion on drug delivery*, 14(6), 783–796.

- [5] Chen, W., Zhang, S., Yu, Y., Zhang, H., & He, Q. (2016). Structural-Engineering Rationales of Gold Nanoparticles for Cancer Theranostics. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 28(39), 8567–8585.
- [6] Dykman, L. A., & Khlebtsov, N. G. (2016). Biomedical Applications of Multifunctional Gold-Based Nanocomposites. *Biochemistry. Biokhimiia*, 81(13), 1771–1789.
- [7] N. Salah, S. Habib, A. Azam, M.S. Ansari, W.M. AL-Shawafi. (2016). Formation of Mn-doped SnO<sub>2</sub>Nanoparticles Via the MicrowaveTechnique: Structural, Optical andElectrical Properties. *Nanomaterials and Nanotechnology*.
- [8] R.M. Patil, P.B. Shete, N.D. Thorat, S.V. Otari, K.C. Barick, A. Prasad. (2014) Superparamagnetic iron oxide/chitosan core/shells for hyperthermia application: Improved colloidal stability and biocompatibility. *Journal of magnetism and magnetic materials*.355.
- [9] P.B. Shete, R.M. Patil, N.D. Thorat, A. Prasad, R.S. Ningthoujam, S.J. Ghosh. (2014) Magnetic chitosan nanocomposite for hyperthermia therapy application: Preparation, characterization and in vitro experiments. *Applied Surface Science*. 288. 149-157.
- [10]R.M. Patil, P.B. Shete, S.V. Otari, N.D. Thorat, A. Prasad, R.S. Ningthoujam. (2014). Non-aqueous to aqueous phase transfer of oleic acid coated iron oxide nanoparticles for hyperthermia application. *Royal Society of Chemistry*. 4515-4522.
- [11]P.B. Shete, R.M. Patil, R.S. Ningthoujam, S.J. Ghosh, S.H. Pawar. (2013). Magnetic core-shell structures for magnetic fluid hyperthermia therapy application. *New Journal of Chemistry*. 37. 3784-3792
- [12]Sailor, M. J., & Park, J. H. (2012). Hybrid nanoparticles for detection and treatment of cancer. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 24(28), 3779–3802.
- [13]Shah, M. A., Ali, Z., Ahmad, R., Qadri, I., Fatima, K., & He, N. (2015). DNA Mediated Vaccines Delivery Through Nanoparticles. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 15(1), 41–53.
- [14]Ur Rehman, F., Mazhar, K., Malik, A., Naz, S. S., Shah, K. U., Khan, A., Khan, S., Ahmed, R., & Qaisar, S. (2021). Surface modified multifaceted nanocarriers for oral non-conventional cancer therapy; synthesis and evaluation. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 123, 111940.
- [15]Aryal, S., Park, H., Leary, J. F., & Key, J. (2019). Top-down fabrication-based nano/microparticles for molecular imaging and drug delivery. *International journal of nanomedicine*, 14, 6631–6644.
- [16]Moghimi, S. M., Hedeman, H., Muir, I. S., Illum, L., & Davis, S. S. (1993). An investigation of the filtration capacity and the fate of large filtered sterically-stabilized microspheres in rat spleen. *Biochimica et biophysica acta*, 1157(3), 233–240.
- [17]R. M. Patil, P. B. Shete, (2019) Chapter 4- Biodistribution and Cellular Interaction of Hybrid Nanostructures, *Hybrid Nanostructures for Cancer Theranostics, Micro and Nano Technologies*, 63-86.
- [18]Zaki NM, Nasti A, Tirelli N. (2011). Nanocarriers for cytoplasmic delivery: cellular uptake and intracellular fate of

- chitosan and hyaluronic acid-coated chitosan nanoparticles in a phagocytic cell model. *Macromol Biosci.* 11(12):1747–1760
- [19] Chouly, C., Pouliquen, D., Lucet, I., Jeune, J. J., & Jallet, P. (1996). Development of superparamagnetic nanoparticles for MRI: effect of particle size, charge and surface nature on biodistribution. *Journal of microencapsulation*, 13(3), 245–255.
- [20] Choi, H. S., Liu, W., Misra, P., Tanaka, E., Zimmer, J. P., Ito, Ipe, B., Bawendi, M. G., & Frangioni, J. V. (2007). Renal clearance of quantum dots. *Nature biotechnology*, 25(10), 1165–1170.
- [21] Bourrinet, P., Bengel, H. H., Bonnemain, B., Dencausse, A., Idee, J. M., Jacobs, P. M., & Lewis, J. M. (2006). Preclinical safety and pharmacokinetic profile of ferumoxtran-10, an ultrasmall superparamagnetic iron oxide magnetic resonance contrast agent. *Investigative radiology*, 41(3), 313–324.
- [22] Yoo, J. W., Chambers, E., & Mitragotri, S. (2010). Factors that control the circulation time of nanoparticles in blood: challenges, solutions and future prospects. *Current pharmaceutical design*, 16(21), 2298–2307.
- [23] Cilliers, C., Nessler, I., Christodolu, N., & Thurber, G. M. (2017). Tracking Antibody Distribution with Near-Infrared Fluorescent Dyes: Impact of Dye Structure and Degree of Labeling on Plasma Clearance. *Molecular pharmaceutics*, 14(5), 1623–1633.
- [24] Ji, Z., Guo, W., Sakkiah, S., Liu, J., Patterson, T. A., & Hong, H. (2021). Nanomaterial Databases: Data Sources for Promoting Design and Risk Assessment of Nanomaterials. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 11(6), 1599.
- [25] Hancock, J. T., & Khoshgoftaar, T. M. (2020). CatBoost for big data: an interdisciplinary review. *Journal of big data*, 7(1), 94.
- [26] Çerçi, Ç. (2017). Emg İşaretlerinin Özniteliklerinin Çıkarılması, Knn Ve Ysa Yöntemleri İle Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [27] Özkaya, U., & Seyfi, L. (2021). Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi. *Geomatik*, 6(2), 84-92.
- [28] Huang, X. L., Zhang, B., Ren, L., Ye, S. F., Sun, L. P., Zhang, Q. Q., Tan, M. C., & Chow, G. M. (2008). In vivo toxic studies and biodistribution of near infrared sensitive Au-Au(2)S nanoparticles as potential drug delivery carriers. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 19(7), 2581–2588.
- [29] Huang, X. L., Zhang, B., Ren, L., Ye, S. F., Sun, L. P., Zhang, Q. Q., Tan, M. C., & Chow, G. M. (2008). In vivo toxic studies and biodistribution of near infrared sensitive Au-Au(2)S nanoparticles as potential drug delivery carriers. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 19(7), 2581–2588
- [30] Takeuchi, I., Onaka, H., & Makino, K. (2018). Biodistribution of colloidal gold nanoparticles after intravenous injection: Effects of PEGylation at the same particle size. *Bio-medical materials and engineering*, 29(2), 205–215.
- [31] Akiyama, Y., Mori, T., Katayama, Y., & Niidome, T. (2009). The effects of PEG grafting level and injection dose on gold nanorod biodistribution in the tumor-bearing mice. *Journal of controlled release : official journal of the Controlled Release Society*, 139(1), 81–84.
- [32] Cho, W. S., Cho, M., Jeong, J., Choi, M., Cho, H. Y., Han, B. S., Kim, S. H., Kim, H. O., Lim, Y. T., Chung, B. H., & Jeong, J. (2009). Acute toxicity and pharmacokinetics of 13 nm-sized PEG-coated gold nanoparticles. *Toxicology and applied pharmacology*, 236(1), 16–24.
- [33] Fent, G. M., Casteel, S. W., Kim, D. Y., Kannan, R., Katti, K., Chanda, N., & Katti, K. (2009). Biodistribution of maltose and gum arabic hybrid gold nanoparticles after intravenous injection in juvenile swine. *Nanomedicine : nanotechnology, biology, and medicine*, 5(2), 128–135.
- [34] Terentyuk, G. S., Maslyakova, G. N., Suleymanova, L. V., Khlebtsov, B. N., Kogan, B. Y., Akchurin, G. G., Shantrocha, A. V., Maksimova, I. L., Khlebtsov, N. G., & Tuchin, V. V. (2009). Circulation and distribution of gold nanoparticles and induced alterations of tissue morphology at intravenous particle delivery. *Journal of biophotonics*, 2(5), 292–302.
- [35] Zhang, G., Yang, Z., Lu, W., Zhang, R., Huang, Q., Tian, M., Li, L., Liang, D., & Li, C. (2009). Influence of anchoring ligands and particle size on the colloidal stability and in vivo biodistribution of polyethylene glycol-coated gold nanoparticles in tumor-xenografted mice. *Biomaterials*, 30(10), 1928–1936.
- [36] Bourrinet, P., Bengel, H. H., Bonnemain, B., Dencausse, A., Idee, J. M., Jacobs, P. M., & Lewis, J. M. (2006). Preclinical safety and pharmacokinetic profile of ferumoxtran-10, an ultrasmall superparamagnetic iron oxide magnetic resonance contrast agent. *Investigative radiology*, 41(3), 313–324.
- [37] Lawaczeck, R., Bauer, H., Frenzel, T., Hasegawa, M., Ito, Y., Kito, K., Miwa, N., Tsutsui, H., Vogler, H., & Weinmann, H. J. (1997). Magnetic iron oxide particles coated with carboxydextran for parenteral administration and liver contrasting. Pre-clinical profile of SH U555A. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*, 38(4 Pt 1), 584–597.
- [38] Chen, H., Wang, L., Yeh, J., Wu, X., Cao, Z., Wang, Y. A., Zhang, M., Yang, L., & Mao, H. (2010). Reducing non-specific binding and uptake of nanoparticles and improving cell targeting with an antifouling PEO-b-PgammaMPS copolymer coating. *Biomaterials*, 31(20), 5397–5407.
- [39] Zhao, Y., Sultan, D., Detering, L., Luehmann, H., & Liu, Y. (2014). Facile synthesis, pharmacokinetic and systemic clearance evaluation, and positron emission tomography cancer imaging of <sup>64</sup>Cu-Au alloy nanoclusters. *Nanoscale*, 6(22), 13501–13509.
- [40] Bergen, J. M., von Recum, H. A., Goodman, T. T., Massey, A. P., & Pun, S. H. (2006). Gold nanoparticles as a versatile platform for optimizing physicochemical parameters for targeted drug delivery. *Macromolecular bioscience*, 6(7), 506–516.
- [41] Balogh, L., Nigavekar, S. S., Nair, B. M., Lesniak, W., Zhang, C., Sung, L. Y., Kariapper, M. S., El-Jawahri, A., Llanes, M., Bolton, B., Mamou, F., Tan, W., Hutson, A., Minc, L., & Khan, M. K. (2007). Significant effect of size on the in vivo biodistribution of gold composite nanodevices in mouse tumor models. *Nanomedicine : nanotechnology, biology, and medicine*, 3(4), 281–296.





# Optimization of Dry-Type Transformer Parameters with Different Methods and FEA Analysis

Seda Kul<sup>1,2\*</sup>, Suleyman Sungur Tezcan<sup>2</sup>, Huseyin Duysak<sup>3</sup> and Seyit Alperen Celtek<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8278-4723), [sedakul@kmu.edu.tr](mailto:sedakul@kmu.edu.tr)

<sup>2</sup> Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6846-8222), [stezcan@gazi.edu.tr](mailto:stezcan@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup> Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2748-0660), [huseyinduysak@kmu.edu.tr](mailto:huseyinduysak@kmu.edu.tr)

<sup>4</sup> Karamanoglu Mehmetbey, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7097-2521), [salperenceltek@kmu.edu.tr](mailto:salperenceltek@kmu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084380)

**ATIF/REFERENCE:** Kul, S., Tezcan, S.S., Duysak, H. & Celtek, S.A. (2022). Optimization of Dry-Type Transformer Parameters with Different Methods and FEA Analysis. *European Journal of Science and Technology*, (34), 701-704.

## Abstract

Due to the importance of correct optimization of transformer design parameters and efficiency, six design variables are used in this study for the optimization of a dry type three-phase transformer based on FEA analysis. Optimization was carried out using the variables of an iron cross-section acceptability (C), the current density of primary and secondary windings (s), magnetic flux density (B), and primary and secondary windings cross-section area ( $q_1$ ,  $q_2$ ). For efficiency optimization, particle swarm optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC) algorithms are used and magnetic flux distribution and loss values are obtained with ANSYS/MAXWELL. As a result of the optimization, 98.67% and 98.69% efficiency, 1096.56 and 1108.45 W power gains were obtained with PSO and ABC. In addition, the change in magnetic flux distribution according to the cross-sectional area determined according to the C value obtained as a result of the optimization is shown.

**Keywords:** Power transformer, optimization, PSO, Artificial bee colony, FEA

## Kuru Tip Trafo Parametrelerinin Farklı Yöntemlerle Optimizasyonu ve SEY Analizi

### Öz

Trafo tasarım parametrelerinin ve verimliliğin doğru optimizasyonunun öneminden dolayı, bu çalışmada, FEA analizine dayalı olarak kuru tip üç fazlı bir transformatörün optimizasyonu için altı tasarım değişkeni kullanılmıştır. Optimizasyon işlemi, bir demir kesit kabul edilebilirliği (C), birincil ve ikincil sargıların (s) akım yoğunluğu, manyetik akı yoğunluğu (B) ve birincil ve ikincil sargı kesit alanı ( $q_1$ ,  $q_2$ ) değişkenleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verimlilik optimizasyonu için partikül sürü optimizasyonu (PSO) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmaları kullanılıp, ANSYS/MAXWELL ile manyetik akı dağılımı ve kayıp değerleri elde edilir. Optimizasyon sonucunda PSO ve ABC ile %98.67 ve %98.69 verim, 1096,56 ve 1108,45 W güç kazancı elde edilmiştir. Ayrıca optimizasyon sonucunda elde edilen C değerine göre belirlenen kesit alanına göre manyetik akı dağılımındaki değişim gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Transformatörü, Optimizasyon, PSO, Yapay Arı Kolonisi, SEY

\* Corresponding Author: [sedakul@kmu.edu.tr](mailto:sedakul@kmu.edu.tr)

## 1. Introduction

With increasing energy efficiency and environmental awareness, the importance of more environmentally friendly and efficient transformers is increasing. Dry-type transformers have started to be preferred more because they are more environmentally friendly in cooling and design. However, the parameters to be considered in the design come to the fore. Two crucial issues come to the fore for more efficient transformer design: The first one is the ability to see the electrical and electromagnetic properties of the transformer with the help of ANSYS/Maxwell software, which allows us to make realistic analyzes without the need for any prototypes. This makes it possible to obtain the losses and magnetic flux density distributions easily. The other issue is the optimization of the design variables determined by various optimization methods and the determination of other parameters to obtain the minimum loss. This way, weight, volume, and transformer losses are determined at optimum values.

Each method will calculate the selected variable values differently. The obtained values comment on which parameter affects efficiency and how much it affects other design parameters.

More than 20 optimization methods for transformer design have been used for efficiency, cost, sizing, and temperature optimizations in the literature so far. They are compared in terms of performance, speed, and improvement with each other. A review study was conducted in [1], which gives information about these algorithms. In [2], material and cost analysis was performed using two different algorithms besides bee algorithms. In [3], on the other hand, performed both efficiency and weight optimization using Particle Swarm Optimization (PSO), Firefly (FF), and Invasive Weed Optimization (IWO) and evaluated the algorithms according to each other. In another study [4], weight and cost optimizations were made using Genetic Algorithms (GA), PSO, and Artificial Bee Colony (ABC). In [5], besides optimization with the Nondominated Sorting GA (NSGA-II) algorithm, magnetic characteristic analyzes were obtained with FEM analysis.

Our motivation for this study is to identify two methods used for dry type transformer, which is gaining importance day by day, and make variable optimizations with them, modeling the design with Finite Element Analysis (FEA) and seeing the magnetic changes that occur. Therefore, in this study, six design variables have been used to optimize the efficiency of a dry-type three-phase transformer based on FEA analysis. The optimization process has been performed using an iron cross-section acceptability (C), the current density of primary and secondary windings (s), magnetic flux density (B), and primary and secondary windings cross-section area (q1, q2) variables. This situation is of great importance in giving an idea about the model before the design. It is possible to summarize the main purpose of this study as follows:

- application of PSO and ABC algorithms to a dry-type transformer design variable to optimize the efficiency
- Comparing results in terms of optimal performance in terms of efficiency increase

- FEA analysis of the transformer for the electromagnetic characteristics.

## 2. Material and Method

### 2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle swarm optimization (PSO) is one of the heuristic methods developed by Kennedy and Eberhart [6]. PSO is based on the social behavior of living species such as birds and fish. Kennedy and Eberhart have been inspired by monitoring their behavior while foraging for survival and have developed PSO. Each bird in the swarm is called a particle. Swarm behavior is a collective behavior exhibited by animals of the same species and grouped, walking in the same place, moving in groups, or migrating in the same direction [7]. Most of the time, individuals who could not obtain anything by themselves during the search and discovery of the food source were more successful in reaching the food source by moving in flocks. Observations have shown that the random movement of each individual in the herd affects other individuals in the herd, and with this effect, the herd reaches its common goal more quickly.

Particle swarm optimization has succeeded [8] – [10]. (1) and (2) shows mathematical expression related to position and velocity:

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + c_1(p_{best}(t) - x_i(t)) - c_2(g_{best}(t) - x_i(t)) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2)$$

Where  $p_{best}$ ,  $g_{best}$ , and  $v_i(t+1)$  are the local best particle, the global best particle, the position of a particle  $i$  in iteration  $t$ , the velocity of a particle  $i$  in iteration  $(t+1)$ , respectively. In Eq. (1-2),  $t$ ,  $v_i(t)$  and  $x_i(t)$  represent the number of iterations, the speed value of the particle  $i$ , and the position values of the particle  $i$ , respectively.

The acceleration coefficients, which call  $c_1$  and  $c_2$ , vary to interval  $0 < c_1, c_2 \leq 2$ . The inertia weight is indicated by  $\omega \in [0.8; 1.2]$ . The inertia weight equals 1 in the (1) in this work. We use the inertia weight to balance local and global searches. The aim is that the optimal outputs are achieved with less iteration. Therefore, determining the appropriate value of inertia weight is essential.

### 2.2. Artificial Bee Colony (ABC) Optimization

The ABC algorithm is one of the swarm-based optimization algorithms, and it has been preferred in various optimization problems such as absorber design [11], [12] UAV path planning [13] and image segmentation [14], and determination of geometric parameters of power transformer [2]. The modeling of the algorithm is inspired by the foraging behavior of bees [15], [16]. Basically, the algorithm includes three-phase of employed, onlooker, and scout. The algorithm is summarized as follows.

1. In the initial phase, random food sources corresponding to the solution of the problem are generated within the solution space of the problem.

2. In the employed phase, to generate new solutions, the employed bees search in the neighbor of the food source. According to the greedy selection procedure, the current solution is updated by comparing the objective function value of the new resource and the current resource. if the current solution is not updated, its abandonment counter (trial) is incremented by 1.

3. In the onlooker phase of the algorithm, onlooker bees search for new solutions in the source neighbor depending on the probability value of the current source. The location of the current solution is updated by applying the greedy selection. If the current solution is not updated, its abandonment counter (trial) is incremented by 1. The obtained best solution (food source) is memorized so far.

4. In the scout bee phase of the algorithm, if the solutions (food sources) in the population reach the abandonment counter limit value, random new solutions are generated instead of these solutions, as in step 1.

5. If the algorithm reaches the termination criterion, it is stopped; otherwise, it continues by going to step 2.

### 2.3. Design of Dry-Type Three Phase Transformer

The mathematical formulas used in modelling the dry-type transformer and calculating the losses are given in [8]. However, the formula of this study used for core loss has been updated with (3).

$$P_{fe} = K_h B_{pk}^{1.6} f + K_c B_{pk}^2 f^2 + K_e B_{pk}^{1.5} f^{1.5} \quad (3)$$

The variables  $K_c$ ,  $K_h$ , and  $K_e$ , are defined as eddy current loss constant, hysteresis loss constant, and abnormal loss constant, respectively. Since these variables are constants that change depending on the material, it allows the optimization application to be carried out regardless of the material change.

The specifications of the transformer used for this study are given in Table 1. Table 2 shows the maximum and minimum values of the variables selected for design parameters optimization.

As a result of the optimization, higher efficiency and power saving have been achieved. The basic calculation of this can be made according to the following formula [17]:

$$\text{Power gain} = \text{Sload factor} (1/\eta_{st} - 1/\eta_{new}) \quad (4)$$

An example of the table is given below.

Table 1. Specification of transformer

Quantity	Values
Power Level	50 kVA
Voltages	380/220 V
Connection Type	$\Delta/Y$
Turns	128/75
$A_c$	0.0128 m <sup>2</sup>

Table 2. Max and min limits of optimization variables

Design Variables	Lower Limit	Upper Limit
$C$	5.9	10.6
$s$	2.2	3.5
$k_{cu}$	0.8	0.9
$B$	0.9	1.2
$q_1$	28	35
$q_2$	48	55

### 3. Results and Discussion

As a result of the optimizations, the efficiency value with the label value of 96.58% was obtained using PSO and ABC algorithms as 98.6756% and 98.6931%, respectively, shown in Figure 1. In addition, the  $A_c$  value changed depending on the  $C$  value from the optimized values of the variables given in Table 3.

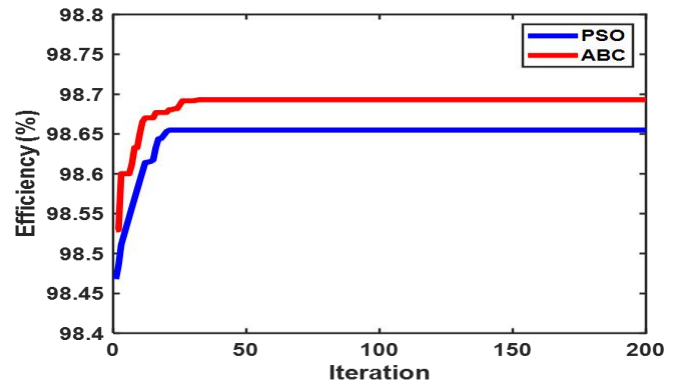


Figure 1. The efficiency of transformer based on PSO and ABC algorithms

Table 3. Optimized values of variables

Design Variables	PSO	ABC
$C$	5.9	5.9
$s$	3.5	3.2693
$k_{cu}$	0.9	0.8646
$B$	0.9	0.9
$q_1$	35	35
$q_2$	55	55

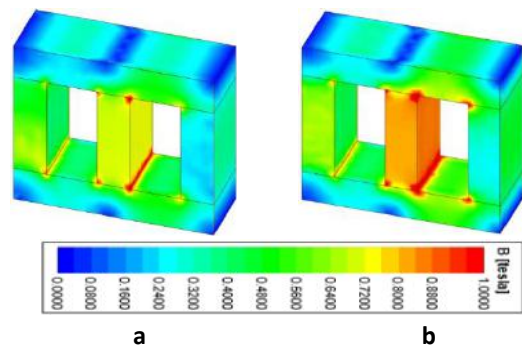


Figure 2. Magnetic flux density a)  $A_c = 128 \text{ cm}^2$  b)  $A_c = 107 \text{ cm}^2$

When the core size is reduced, the core loss automatically decreases. As seen in Figure 2b, although the instantaneous magnetic flux density seems higher than in the first case,  $B_{max}$  is approximately equal in both cases. However, it seems more intense due to the narrowing of the cross-section area.

The increase in efficiency and power gain according to (4) There is a 2.17% efficiency increase and 1096.56 W power gain in the PSO at full load condition. ABC also has an efficiency increase of 2.18% and a power gain of 1108.45W.

## 4. Conclusions and Recommendations

This study optimized a three-phase 50 kVA 380/220 V dry type transformer to achieve maximum efficiency using optimization methods such as PSO and ABC. Then electromagnetic analyzes were made using ANSYS/Maxwell program. For this, kernel coefficients (C and s) and some design parameters (B,  $k_{cu}$ ,  $q_1$ ,  $q_2$ ) are used. Between these two algorithms, ABC  $\eta = 0.9869$  gave good results. The maximum efficiency of the transformer was obtained, as seen in Table 2. The relative differences of these two yield results are approximately 2.17% and 2.18% for PSO and ABC, respectively. In addition to these, according to the power gain calculations, the gains for PSO and ABC are 1096.56 and 1108.45 W.

As a result, a study was conducted on optimizing the design parameters for maximum efficiency in dry-type transformers and comparing efficiency and power gain. As a future study, different design parameters and optimization methods can be used to contribute to design improvement with objective functions such as temperature, cost, material minimization.

## References

- [1] Mehta, H. D., & Patel, R. M. (2014). A review on transformer design optimization and performance analysis using artificial intelligence techniques. *International Journal of Science and Research*, 3(9), 726-733.
- [2] Rodríguez, S., Sánchez, N., & Gómez, D. (2019). Optimization of geometric parameters of power transformer using bee" s algorithm". *Annals of Electrical and Electronic Engineering*, 2(7), 7-10. doi: 10.21833/aeec.2019.07.002.
- [3] Aksu, İ. Ö., & Demirdelen, T. (2018). A comprehensive study on dry type transformer design with swarm-based metaheuristic optimization methods for industrial applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(14), 1743-1752. doi: 10.1080/15567036.2018.1486908.
- [4] Azizian, D., Bigdeli, M., & Faiz, J. (2016). Design optimization of cast-resin transformer using nature-inspired algorithms. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(9), 3491-3500. doi: 10.1007/s13369-016-2066-x.
- [5] M. S. Mohammed and R. A. Vural, 'NSGA-II+FEM Based Loss Optimization of Three-Phase Transformer', *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 9, 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2881935.
- [6] Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, October). A new optimizer using particle swarm theory. In *MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science* (pp. 39-43). Ieee. doi: 10.1109/mhs.1995.494215.
- [7] Çeltek, S. A., & Durdu, A. (2020). An Operant Conditioning Approach For Large Scale Social Optimization Algorithms. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 38-45. doi: 10.36306/KONJES.821958.
- [8] Seda, Kul., Celtek, S. A., & İskender, İ. Metaheuristic Algorithms Based Approaches for Efficiency Analysis Of Three-Phase Dry-Type Transformers. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(4), 889-903. doi: 10.36306/KONJES.946496.
- [9] Latchoumi, T. P., Balamurugan, K., Dinesh, K., & Ezhilarasi, T. P. (2019). Particle swarm optimization approach for waterjet cavitation peening. *Measurement*, 141, 184-189. doi: 10.1016/j.measurement.2019.04.040.
- [10] Celtek, S. A., Durdu, A., & Ali, M. E. M. (2020). Real-time traffic signal control with swarm optimization methods. *Measurement*, 166, 108206. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108206.
- [11] Yiğit, E., & Duysak, H. (2019). Determination of optimal layer sequence and thickness for broadband multilayer absorber design using double-stage artificial bee colony algorithm. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67(8), 3306-3317. doi: 10.1109/TMTT.2019.2919574.
- [12] Yiğit, E., & Duysak, H. (2020). Fully optimized multilayer radar absorber design using multi-objective abc algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(3), 136-145. doi: 10.26833/ijeg.743661.
- [13] Zhou, X., Gao, F., Fang, X., & Lan, Z. (2021). Improved bat algorithm for UAV path planning in three-dimensional space. *IEEE Access*, 9, 20100-20116. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3054179.
- [14] Ewees, A. A., Abd Elaziz, M., Al-Qaness, M. A., Khalil, H. A., & Kim, S. (2020). Improved artificial bee colony using sine-cosine algorithm for multi-level thresholding image segmentation. *Ieee Access*, 8, 26304-26315. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2971249.
- [15] Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk, C., & Karaboga, N. (2014). A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications. *Artificial Intelligence Review*, 42(1), 21-57. doi: 10.1007/s10462-012-9328-0.
- [16] Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of global optimization*, 39(3), 459-471. doi: 10.1007/s10898-007-9149-x.
- [17] Hepbaşlı, A., Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, vol. Schneider Electric. İstanbul: Esen Ofset Yayıncılık, 2010.



# Effect of Ethylene Glycol and Glycerol Concentrations on Properties of Rye-Based Films

Nurcennet Ertürk<sup>1</sup>, Suzan Biran Ay<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8958-9146), [nurcennete@eskisehir.edu.tr](mailto:nurcennete@eskisehir.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2968-4982), [suzanba@eskisehir.edu.tr](mailto:suzanba@eskisehir.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083197)

**ATIF/REFERENCE:** Ertürk, N. & Biran Ay, S. (2022). Effect of Ethylene Glycol and Glycerol Concentrations on Properties of Rye-Based Films. *European Journal of Science and Technology*, (34), 705-710.

## Abstract

Rye flour based edible films were produced by using glycerol and ethylene glycol as plasticizers at concentrations ranging between 40 to 100% (w/w of rye flour). The structural, mechanical, physical, and chemical properties of the films were investigated. The results showed that increasing the plasticizer concentration resulted in a greater the thickness, water vapor permeability, and water solubility of the films. While water vapor permeability and solubility were not affected by the plasticizer type, the thickness of glycerol-containing films was significantly higher. Good mechanical properties were obtained for the composites, where the greatest tensile strength of 7.47 MPa was measured in the film containing 40% ethylene glycol (w/w rye flour) and the highest elongation of 69.3% was observed in the film containing 100% glycerol (w/w rye flour). The increase in added plasticizer had an adverse effect on antioxidant activity and the total phenolic content of the films, due to probable dilution effect in the composites.

**Keywords:** Edible film, rye flour, glycerol, ethylene glycol, plasticizer.

# Etilen Glikol ve Gliserol Konsantrasyonlarının Çavdar Esaslı Filmlerin Özelliklerine Etkisi

## Öz

Çavdar unu bazlı yenilebilir filmler, %40 ila %100 (a/a çavdar unu) arasında değişen konsantrasyonlarda plastikleştirici olarak gliserol ve etilen glikol kullanılarak üretilmiştir. Filmlerin yapısal, mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, plastikleştirici konsantrasyonunun artırılmasının filmlerin kalınlığını, su buharı geçirgenliğini ve suda çözünürlüğünü arttırdığını göstermiştir. Filmlerin su buharı geçirgenliği ve çözünürlüğü plastikleştirici türünden etkilenmezken, gliserol içeren filmlerin kalınlığı önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır. Kompozitler için iyi mekanik özellikler elde edilmiş olup, en yüksek çekme mukavemeti 7,47 MPa ile %40 etilen glikol (a/a çavdar unu) içeren filmde ölçülmüş ve en yüksek uzama %69,3 ile %100 gliserol (a/a çavdar unu) içeren filmde gözlemlenmiştir. Eklenen plastikleştiricideki artış, kompozitlerdeki olası seyreltme etkisinden dolayı, filmlerin antioksidan aktivite ve toplam fenolik içeriği üzerinde olumsuz etkisi olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilebilir film, çavdar unu, gliserol, etilen glikol, plastikleştirici.

\* Corresponding Author: [suzanba@eskisehir.edu.tr](mailto:suzanba@eskisehir.edu.tr)

## 1. Introduction

To minimize oil-based plastic consumption in packaging, a significant effort has been directed towards formulation and production of environmentally friendly edible films for food applications. These materials are mostly proteins, polysaccharides, and lipids in nature and by predetermined modifications, they may acquire properties desired by consumers. Well-designed alterations or specific formulations are developed to obtain packaging materials with functional properties (Rong & Xie, 2021). In the selection of materials to be used, the edible packaging composition is determined depending on the type of product to be protected and the typical storage conditions the target food might endure (Fakhouri & Mei, 2012). Therefore, composition formulation is made by firstly determining what the edible film will be used for.

Many studies focus on edible films made with flour as a raw material. Flour is preferred because it has better properties than starch-based films produced from the same source of carbohydrate polymers (Gutierrez, 2021). In addition, the lack of any separation, purification procedure for acquiring of the raw material provides a cheap, readily available alternative to starch-, gum-, or protein-based composites. Another important component considered in composite formulations is the plasticizer, which have a great influence on mechanical properties of films. Studies have shown that concentration and type of plasticizer affected film's tensile strain and elongation (Maniglia et al., 2019; Toth & Halasz, 2019). Beside mechanical properties, the hydrophilic nature of a plasticizer influences the solubility, water vapor permeability (WVP), degradability of films, as well as the release of bioactive compounds in its structure.

In this study, the effect of different concentrations of glycerol and ethylene glycol plasticizers on structural, mechanical, and physicochemical properties of rye flour-based edible films was investigated. A comparison between films containing a commonly used plasticizer- glycerol- and rarely reported - ethylene glycol- was established

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

Rye flour was purchased from Demircibaşı (Turkey). Glycerol (Himedia®), ethylene glycol (Emplura®), 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical (DPPH) (TCI, Japan) were used as received.

### 2.2 Preparation of films

Solution casting method was used in film preparation. Rye flour (5% w/v) and plasticizers (40-100% (w/w flour)) were mixed in distilled water. After half an hour cooking at 90°C, 20 g of the blends were poured into 90 mm x 8 mm plastic petri dishes and dried in an oven at 40°C for 24 hours. The formed films were peeled from the petri dishes after 1h- conditioning at 25°C and 50% relative humidity. The obtained films were placed in plastic bags and stored at refrigeration temperature prior analyses.

## 2.3 Characterization of films

### 2.3.1. Film thickness

Film thickness was measured at 5 random positions on the film samples with a digital micrometer (Asimeto 307-06-A) (Daudt, 2017).

### 2.3.2. Opacity

Film strips were placed in a UV- Vis spectrophotometer (UV-2600 Shimadzu) test cell employing empty cuvette as reference (Liu & Lin, 2021). Film opacity was determined by Eq. (1):

$$\text{Opacity} = \frac{A_{600}}{x} \quad (1)$$

where x is the film thickness (mm) and  $A_{600}$  is the absorbance at 600 nm.

### 2.3.3. Water vapor permeability (WVP)

WVP studies were carried in a closed chamber at 25°C and 50% relative humidity. 30 mL of distilled water was poured in glass bottles and the films were placed on I-CHEM lids with a surface area of 1.767 cm<sup>2</sup>. The prepared test vessels were placed in the closed chamber and the weight change in the test bottles was measured against time. Weighing was done using a precision balance with an accuracy of ± 0.0001 g. Water vapor permeability (WVP) was calculated using (Eq. 2).

$$\text{WVP} = \frac{\Delta m \times x}{A \times \Delta t \times \Delta P} \quad (2)$$

where  $\Delta m/\Delta t$  is the moisture loss per unit time (ng s<sup>-1</sup>); A is the film area exposed to moisture transfer (1.767×10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>); x the film thickness (m); and  $\Delta P$  the water vapor pressure difference between the two sides of the film (Pa). At least three replicates per film were measured.

### 2.3.4. Solubility

The film solubility was determined according to Nouraddini (2018) and was expressed as the percentage of dry matter of the film solubilized after 24 h immersion in water (Nouraddini & Esmaili, 2018). Film samples were cut into 1 × 1 cm pieces and weighed. Then, the film pieces were immersed in 40 ml of distilled water, and the system was shaken for 24 h at room temperature. After removing excess water by filter paper, samples were dried in an oven at 70 °C. The water solubility of the films was calculated according to Eq. (3):

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{(w_0 - w_t)}{w_0} \times 100 \quad (3)$$

where,  $w_0$  and  $w_t$  are the initial and final weights of the dried samples, respectively.

### 2.3.5. Mechanical properties

A texture analyzer (Instron 5944MTS) was used to analyze tensile strength (TS, MPa) and elongation at break (EB, %) of the films according to the ISO 527-2-5a standard method. The cut film samples were placed between the two jaws of the device and pulled at a pulling speed of 5 mm/min. Strength values at break and elongation values were calculated with the help of a computer program connected to the test device. Each sample film was tested at least 5 times (Cai & Zhao, 2022).

### 2.3.6. Thermogravimetric analysis (TGA)

TGA of the samples was performed by a thermogravimetric analyzer (Perkin-Elmer STA 6000). Each film sample (5-6 mg) was sealed in a ceramic plate and heated from 40 °C to 600 °C at a heating rate of 50 °C/min in a nitrogen atmosphere (20 mL/min) (Du & Chen, 2021)

### 2.3.7. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

The samples were scanned at a wavenumber range of 650–4000 cm<sup>-1</sup> with 4 cm<sup>-1</sup> resolution in transmission mode, via a FTIR spectroscopy apparatus (Thermo Nicolet, IS10 FTIR) (Zahra & Yazdi, 2020).

### 2.3.8. DPPH radical scavenging capacity

The antioxidant activity of the film was estimated using DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) according to the method described by Adilah & Hanani (2016). Briefly, 0.1 gram of composite film was added to 5 mL of methanol and mixed. The mixture was kept in the dark for 1 hour. Then, 0.1 mL sample was taken and mixed with 3.9 mL of DPPH methanol solution (0.56 mmol/L) and incubated in the dark at ambient temperature for 30 min. The absorbance of solutions was measured at 517 nm against methanol (blank). Finally, the antioxidant activity was expressed as the percentage of DPPH free radical scavenging activity and calculated by Eqn. (4):

$$\% \text{Radical scavenging activity} = \frac{(Abs_{DPPH} - Abs_{sample})}{Abs_{DPPH}} \times 100 \quad (4)$$

where Abs<sub>DPPH</sub> was the absorbance of the methanolic solution of DPPH and Abs<sub>sample</sub> was the absorbance of the sample extracts measured at 517nm.

### 2.3.9. Total phenolic content

0.1 grams of film and 5 mL of distilled water were placed in centrifuge tubes, vortexed for 1 minute and kept for one hour in a dark environment. In test tubes, 0.1 mL aliquots of the extracts, 0.5 mL of 10% Folin Ciocalteau reagent and 1.5 mL 20% sodium carbonate solution were combined and stirred. Sample absorbances were measured at 750 nm, after 2 h of rest (Barros % Boas, 2021). The results were expressed in mg gallic acid equivalent (GAE) g<sup>-1</sup> of sample.

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Water Vapor Permeability, Thickness, Solubility and Opacity of Films

After production of the rye flour films, their physical properties were investigated. Table 1 shows the values of water vapor permeability, thickness, and solubility of 5% rye flour (w/w) films containing varying amounts of different plasticizers.

In general, the increase in the amount of plasticizer increased the film thickness. This might be related to the swelling ability of plasticizers as they absorb moisture. The higher the plasticizer content the greater the swelling and, consequently, the thicker the film. The thicknesses of the films made with glycerol varied between 145 and 232 μm. These values were close to the ones reported in the literature (Dick & Pagno, 2015). The thicknesses of films prepared with ethylene glycol were half of the glycerol-containing films, ranging between 77 and 84 μm (Marron, 2019).

The water vapor permeability of glycerol-containing films was slightly higher than ethylene glycol-containing films

(Blacido & Sobral, 2011). Overall, the increase in the amount of plasticizer caused an increase in water vapor permeability.

Table 1. Water vapor permeability, thickness, and solubility of films

Film composition*	WVP (ng.Pa <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	Thickness (μm)	Solubility (%)
R5G%40	1.08±0.02	145.3±25	58.60±2.85
R5G%60	1.13±0.02	159±16	63.27±0.77
R5G%80	1.25±0.00	185±29	67.16±3.68
R5G%100	1.44±0.01	232±17	68.07±1.96
R5EG%40	1.02±0.04	78±4	56.36±6.90
R5EG%60	1.00±0.01	76.67±8	56.83±1.45
R5EG%80	1.01±0.02	77±20	61.41±3.70
R5EG%100	1.02±0.14	84±6.8	61.05±3.45

\*R: rye flour; G: glycerol; EG: ethylene glycol

If a distinct, outer packaging is to be made, films with high solubility are preferred; so that their consumption with food is possible. However, if the film is preferred as a stand-alone packaging, in order to protect the edible film only on the food surface and extend its shelf life, it is more appropriate to prefer films that do not dissolve quickly in water (Erdoğan, 2020). Due to high hydrophilic characteristics of both plasticizers, in 24 h approximately half of the films were dissolved. The solubility studies showed that as the amount of plasticizer increased, films' solubility also increased. Factors affecting solubility are the molecular structure of plasticizers, the structure formed when combined with rye flour and water, and the residence time in the solvent.

While packaging materials with high opacity are preferred to protect food from sunlight; edible films with low opacity (high transparency) are preferred to emphasize the visual quality of the food. In our study, the films having higher opacity were the ones made with ethylene glycol with values between 10.23 and 12.74. Slightly more transparent films were obtained when glycerol was used as a plasticizer, where opacity values between 5.88 and 6.58 were calculated (Figure 1).

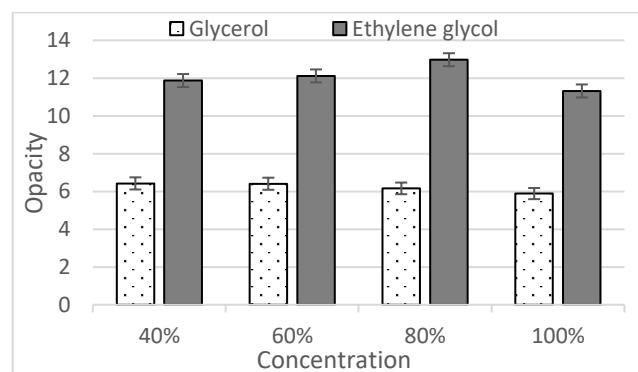


Figure 1. Opacity of rye flour films containing different plasticizers

### 3.2 Mechanical Properties

The main task of a packaging material is to protect and preserve the integrity of a food. This implies that the material itself should be able to withstand physical damage caused by external factors such as pressure or vibration during transportation (Akşehir, 2013).

Both the type and concentration of plasticizers had a substantial effect on mechanical properties of the rye flour films

(Table 2). In particular, ethylene glycol-containing films exhibited superior mechanical properties compared to glycerol-containing films. The tensile strength in presence of ethylene glycol and glycerol varied between 2.91 and 7.47 MPa, and 0.42 and 1.68 MPa, respectively. For both plasticizers, the increase in plasticizer concentration decreased the films' tensile strength and Young's modulus, but increased the elongation at break values.

Table 2. Mechanical properties of rye flour films

Film composition	TS <sup>1</sup> MPa	EAB <sup>2</sup> %	YM <sup>3</sup> MPa
R5G%40	1.68±0.28	39.75±3.69	42.23±9.98
R5G%60	0.67±0.05	57.55±6.58	3.29±0.88
R5G%80	0.50±0.09	53.95±14.21	1.57±0.20
R5G%100	0.42±0.063	69.3±6.44	1.07±0.13
R5EG%40	7.47±0.89	31.32±4.67	355.06±53.82
R5EG%60	4.9±0.46	37.5±2.38	136.99±37.53
R5EG%80	3.44±0.94	32.4±6.23	89.99±31.95
R5EG%100	2.91±0.15	34.42±9.95	80.75±17.81

<sup>1</sup>TS-tensile strength; <sup>2</sup>EAB-elongation at break; <sup>3</sup>YM- Young's modulus.

The elasticity of edible films constitutes an essential requirement in their utilization as packaging materials. Elongation at break values provide useful information about the potential of the produced films in food packaging applications. Comparing the effect of plasticizer type, the presence of glycerol in film compositions resulted in a favorable elasticity, with elongation values between 39.75 and 69.3%. Films containing ethylene glycol, on the other hand, exhibited greater firmness, since the elongation values were limited between 31.31 and 37.5%.

### 3.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy

Figure 2 shows FTIR spectra of rye flour films containing 60% (w/w rye flour) of both plasticizers.

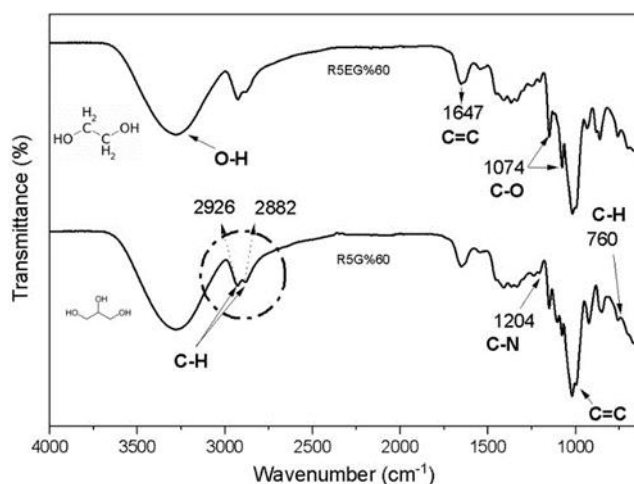


Figure 2. Typical FTIR spectra of rye flour films containing ethylene glycol (upper spectrum) and glycerol (bottom spectrum) as plasticizers.

A wide peak, corresponding to stretching of O-H and N-H bonds, around 3300 cm<sup>-1</sup> (Akşehir, 2013; Erdoğan, 2020; Martins & Cerqueira, 2021) was observed. This peak was not that intense in ethylene glycol film (upper spectrum) compared to glycerol-containing film (bottom spectrum). This was, obviously, due to the higher amounts of hydroxyl (-OH) groups present in glycerol (Toth & Halasz, 2019). The peak seen at 2924 cm<sup>-1</sup> indicated the

presence of methyl groups (-CH) vibrations (Shi & Zhang, 2007; Sucheta & Rai, 2019).

### 3.4 Thermal Stability

Thermogravimetric analysis plays a crucial tool for understanding the thermal properties, thermal degradation, and weight loss of material with variation in temperature (Shivangi & Shetty, 2021). The thermogravimetric (TG) curves of produced films are shown in Figure 3. The temperature peaks, weight loss and residual weight of films are shown in Table 3.

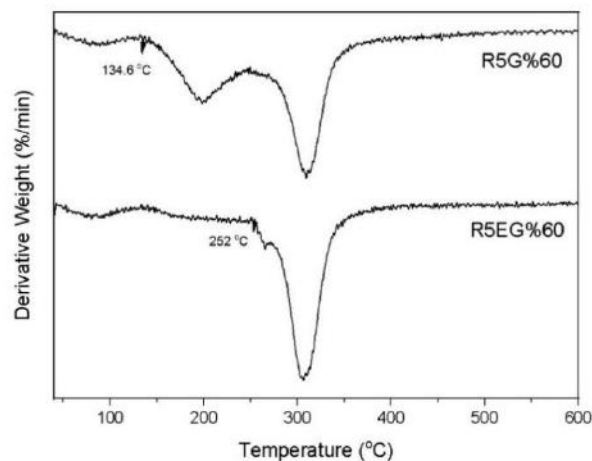


Figure 3. Differential thermogravimetric curves of rye films

The temperature at which initial degradation begins is important because the molecular structures in this film lose their integrity. The films containing glycerol exhibited degradation starting at as low as 153°C. Another important parameter is the maximum temperature. It indicates that the film deteriorates faster and loses its function at maximum temperature. Films with ethylene glycol lost 44.13% weight between 250 °C and 338 °C. The ethylene glycol film started to degrade at the highest temperature and it was observed that the ethylene glycol film was the least decomposed in a short time.

Table 3. Thermogravimetric analysis results of rye films

Plasticizer	Solvent evaporation		T (°C)		WL	RW
	T (°C)	WL (%)	Min	Max	(%)	(%)
G	115	5.92	153	347	69.21	15.06
EG	125	7.94	250	338	44.13	19.22

T-temperature; WL-weight loss; RW-residual weight

### 3.5 DPPH Radical Scavenging Capacity and Total Phenolic Content of Films

Antioxidants are defined as chemical components that prevent/reduce oxidation and have a protective effect against various agents by averting the harmful effects of free radicals formed in the food (Baykuş, 2019). The antioxidant capacity of the produced films was examined by measuring the release of antioxidant compounds into the reaction mixture, evaluated by the DPPH free radical scavenging method. The radical scavenging capacity and the total phenolic content of produced films are shown in Figure 4-a and Figure 4-b, respectively.

The radical scavenging ability of ethylene glycol films was relatively low and % inhibition values ranged between 0.48 and



2.76%. The antioxidant values of glycerol films, starting from negative values at low concentrations, increased as the amount of glycerol increased, reaching a maximum of 7.7%. These low antioxidant activities were due to the inability of the hydrophilic film composite to efficiently release the phenolics in methanolic DPPH solution (Priyadarshi *et al.*, 2022).

The highest total phenolic content was measured in the films containing 40% ethylene glycol (1.25 mg GAE/g). In general, the phenolic content of films was low. This was expected due to the exposure to high temperature during film preparation. Moreover, the increase in the amount of plasticizer reduced the total amount of phenolic substances per gram of film. This implied that as the rye flour was the source of phenolic compounds and addition of plasticizer most probably had a dilution effect in the composite, resulting in a decrease in the total phenolic compounds per gram film.

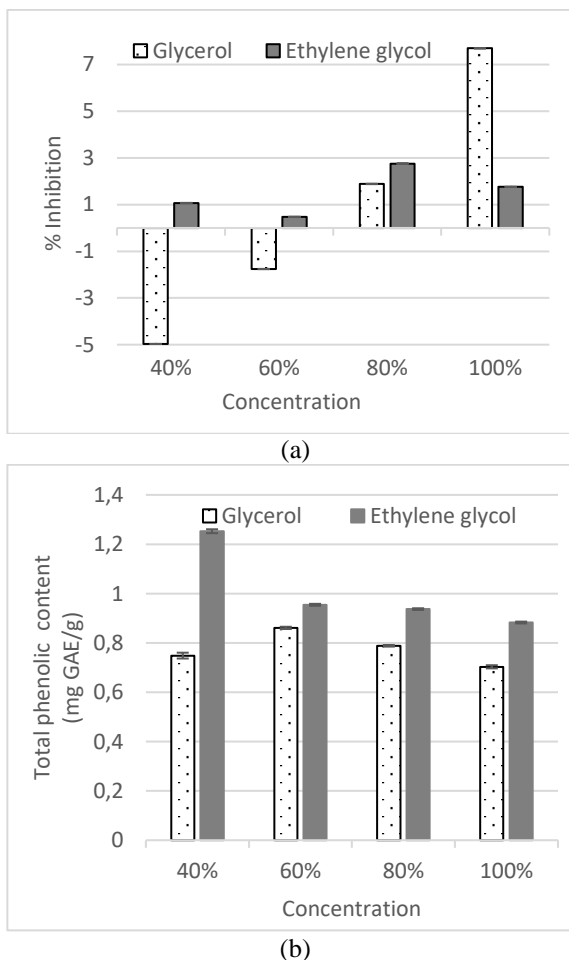


Figure 4. (a) DPPH radical scavenging capacity and (b) total phenolic content of rye films

#### 4. Conclusions and Recommendations

The study was focused on production and characterization of rye-flour edible films to determine the effect two hydrophilic plasticizers on the physical, mechanical, and chemical properties of the composite films. The investigation revealed that as the concentration of both glycerol and ethylene glycol increased, the thickness, water vapor permeability and water solubility values of edible films increased. Good tensile strength of ca. 7.5 MPa was observed in ethylene glycol containing films, whereas glycerol containing exhibited an elongation of 69.3%. The total phenol content and the DPPH radical scavenging activity of films was

*e-ISSN: 2148-2683*

substantially low implying that the preparation method might adversely affected the film composition. However, the presented formulations provided films with good mechanical properties and high biodegradability demonstrating their potential in food packaging applications. Further improvement can be attained by usage of bioactive additives, enriching the nutritional and antioxidant properties of the composites.

#### References

- Adilah, Z., & Hanani, Z. (2016). Active packaging of fish gelatin films with *Morinda citrifolia* oil. *Food Bioscience*, 16:66-71.
- Akşehir, K., (2013). Ak Dut (*Morus alba*) ve Kara Dut (*Morus nigra*) Meyvelerinden Elde Edilen Yenilebilir Filmlerin Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Turkey.
- Barros, H., & Boas, E. (2021). Edible seeds clustering based on phenolics and antioxidant activity using multivariate analysis. *LWT*, 152.
- Blacido, D., & Sobral, P. (2011). Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 44:1731-1738.
- Baykuş, A., (2019). Askorbik Asit ve Potasyum Sorbat ile Yenilebilir Film Kaplamanın Kaymağın Raf Ömrü Üzerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Turkey.
- Cai, L., & Zhao, R. (2022). Development of edible composite film based on chitosan nanoparticles and their application in packaging of fresh red sea bream fillets. *Food Control*, 132.
- Daudt, R. (2017). Development of edible films based on Brazilian pine seed (*Araucaria angustifolia*) flour reinforced with husk powder. *Food Hydrocolloids*, 71:60-67.
- Dick, M., & Pagno, C. (2015). Edible films based on chia flour: Development and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*.
- Du, H., & Chen, H. (2021). Development and characterization of fish myofibrillar protein/chitosan/rosemary extract composite edible films and the improvement of lipid oxidation stability during the grass carp fillets storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184:463-475.
- Erdoğan, A. E., (2020). Ayva Çekirdeği Müsilajı ve Kitosanla Yenilebilir Film Elde Edilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Turkey.
- Fakhouri, F., & Mei, L. (2012). Edible films made from blends of manioc starch and gelatin – Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. *LWT*, 49(1): 149-154.
- Gutierrez, T. (2021). In vitro and in vivo digestibility from bionanocomposite edible films based on native pumpkin flour/plum flour. *Food Hydrocolloids*, 112.
- Liu, Z., & Lin, D. (2021). Konjac glucomannan-based edible films loaded with thyme essential oil: Physical properties and antioxidant-antibacterial activities. *Food Packaging and Shelf Life*, 29.
- Maniglia, B.C., Tessaro, L., Ramos, A.P., Tapia-Blacido, D.R. (2019) Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods? *Food Hydrocolloids*, 89: 143-152.
- Marron, M. (2019). Effects of alginate-glycerol-citric acid concentrations on selected physical, mechanical, and barrier properties of papaya puree-based edible films and coatings, as evaluated by response surface methodology. *LWT*, 83-91.

- Martins, J. T., & Cerqueira, M. A. (2012). Influence of  $\alpha$ -tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*, 220-227.
- Nouraddini, M., & Esmaili, M. (2018). Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120:1639-1645.
- Priyadarshi, R., Riahi, Z., Rhim, J.W., (2022). Antioxidant pectin/pullulan edible coating incorporated with *Vitis vinifera* grape seed extract for extending the shelf life of peanuts, *Postharvest Biology and Technology*, 183, 111740.
- Rong, L., & Xie, J. (2021). Preparation and characterization of hyacinth bean starch film incorporated with TiO<sub>2</sub> nanoparticles and *Mesona chinensis* Benth polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190:151-158.
- Shi, R., & Zhang, Z. (2007). Characterization of citric acid/glycerol co-plasticized thermoplastic starch prepared by melt blending. *Carbohydrate Polymers*, 748-755.
- Shivangi, S., & Shetty, N. (2021). Development and characterisation of a pectin-based edible film that contains mulberry leaf extract and its bio-active components. *Food Hydrocolloids*, 121.
- Sucheta, & Rai, S. K. (2019). Evaluation of structural integrity and functionality of commercial pectin based edible films incorporated with corn flour, beetroot, orange peel, muesli and rice flour. *Food Hydrocolloids*, 127-135.
- Toth, A. & Halasz, K. (2019). Characterization of edible biocomposite films directly prepared from psyllium seed husk and husk flour, *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 100299.
- Zahra, Z., & Yazdi, F. T. (2020). Development and characterization of antioxidant and antimicrobial edible films based on chitosan and gamma-aminobutyric acid-rich fermented soy protein. *Carbohydrate Polymers*, 244.



# Türkiye’de Trafik Sigorta Primlerinin Harris Şahinleri Algoritması ile Tahmini

Mehmet Fatih Tefek<sup>1\*</sup>, Muhammed Arslan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3390-4201), [mehmetfatihtefek@osmaniye.edu.tr](mailto:mehmetfatihtefek@osmaniye.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kaman MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5650-7618), [marslan@ahievran.edu.tr](mailto:marslan@ahievran.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084397)

**ATIF/REFERENCE:** Tefek, M.F., Arslan M., (2022). Türkiye’de Trafik Sigorta Primlerinin Harris Şahinleri Algoritması ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 711-715.

## Öz

Türkiye’de son yıllarda artan nüfus ve ekonomik gelişmeye paralel olarak araç sayısı da artmaktadır. Araç sayısının artışı ve karayollarında hareketlilikte yaşanan yoğunluk trafik kazalarına artış olarak yansımaktadır. Yaşanan kazalar maddi ve manevi hasarlar bırakmaktadır. Bu hasarların özellikle maddi hasarların telafisi için kara araçları zorunlu sorumluluk trafik sigortası bulunmaktadır. Türk Sigortacılık sektöründe hayat dışı branş toplam primlerinin yaklaşık olarak 1/3’ini trafik sigortaları primleri tarafından oluşmaktadır. Sektör içinde önemli bir paya sahip branşta toplanan primlere karşı verilen teminatlar ile meydana gelen trafik kazaları sonucunda oluşan maddi ve manevi hasarlar sigorta şirketleri tarafından ödemeler ile yapılmaktadır. Bu çalışma da Türkiye trafik sigorta brüt primlerinin (TSBP) metasezgisel Harris Şahinleri Algoritması (HŞA) ile tahmin edilmiştir. Tahmin için HŞA Liner (HŞA-L) tahmin modeli öne sürülmüştür. TSBP tahmini için giriş göstergeleri olarak 2009 ile 2020 yılları arası sırasıyla nüfus, araç sayısı ve kaza sayıları alınmıştır. HŞA-L tahmin sonuçları grafiklerle gösterilmiş ve tablolarda verilmiştir. HŞA-L tahmin sonucu, çoklu liner regresyon (ÇLR) tahmin sonucu ile kıyaslanmış ve min RMSE değerlerine göre HŞA-L tahmin sonucu 1.053975, ÇLR tahmin sonucu ise 1.12606 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, HŞA-L tahmin sonuçlarının güvenilir ve uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zorunlu trafik sigortası, Trafik sigorta prim tahmini, Trafik kaza sayısı, Araç sayısı, Harris Şahinleri Algoritması, Çoklu liner regresyon.

## Estimation of Traffic Insurance Premiums in Turkey with the Harris Hawks Algorithm

### Abstract

The number of vehicles has been increasing in parallel with the increasing population and economic development in Turkey in recent years. The increase in the number of vehicles and the density experienced in the mobility on the highways are reflected as an increase in traffic accidents. Accidents cause material and moral damages. For the compensation of these damages, especially material damages, there is a compulsory liability traffic insurance for land vehicles. In the Turkish Insurance sector, approximately 1/3 of the total premiums for non-life branches are composed of traffic insurance premiums. The guarantees given against the premiums collected in the branch, which has a significant share in the sector, and the material and moral damages resulting from traffic accidents are paid by insurance companies. In this study, Turkey's traffic insurance gross premiums (TIGP) were estimated using the metaheuristic Harris Hawks Algorithm (HHA). For the estimation, the HHA Liner (HHA-L) estimation model has been proposed. The number of populations, the number of vehicles and the number of accidents between 2009 and 2020 were taken as input indicators for the TIGP estimation, respectively. HHA-L estimation results are shown in graphics and given in tables. The result of the HHA-L estimation method was compared with the multi-linear regression (MLR) estimation result, and according to the min RMSE values, the HHA-L estimation result was calculated as 1.053975 and the MLR estimation result as 1.12606. As a result, it has been determined that the HHA-L estimation results are reliable and applicable.

**Keywords:** Traffic Insurance, Traffic insurance premium estimation, Number of traffic accidents, Number of vehicles, Harris Hawks Algorithm, Multiple liner regression.

\* Sorumlu Yazar: [mehmetfatihtefek@osmaniye.edu.tr](mailto:mehmetfatihtefek@osmaniye.edu.tr)

## 1. Giriş

Ulaştırma sistemleri içerisinde karayolu ulaştırmasının ayrı bir önemi bulunmaktadır. Tarihin en eski ulaşım modu olan karayolu, ulaşım altyapısının temelini oluşturmaktadır (Yıldırım Keser, Ay, & Çetin, 2018). Türkiye’de ulaşım sektörünün %90’ın üzerinde bir bölümü kara taşımacılığı ile yapılmaktadır (Tefek & Arslan, 2022). Türkiye’de artan refah oranı ve nüfusa bağlı olarak araç sayısı 2009’da 14.31 milyonken 2020’de 24.14 milyon adet olmuş ve yaklaşık %68 oranında bir artış meydana gelmiştir (Doğan & Akgüngör, 2013; TÜİK, 2022). Özellikle artan nüfus ve refah imkânları çerçevesinde karayollarının kullanım talebinin ve yoğunluğunun artmıştır. Ülkedeki artan araç sayısına bağlı olarak aynı oranda artmayan denetim sistemleri, istenilen düzeyde alınmayan tedbirler ve uygulamaların yetersizlikleri trafik kazalarına yol açmaktadır. Meydana gelen kazalar gerek maddi gerekse de can kayıplarıyla sonuçlanmaktadır (Tefek & Arslan, 2022).

Karayolu trafik kazaları, etkili ve sürdürülebilir önleme için uyumlu çabalar gerektiren büyük bir halk sağlığı sorunudur (Peden Margaret et al., 2004). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), dünyada her yıl meydana gelen trafik kazası kaynaklı 50 milyondan fazla yaralanmayı ve 1 milyon 350 bin ölümü rapor etmektedir (DSÖ, 2018). Ülkelerin politikaları ve karar verici otoriteleri meydana gelen kaza sayıları ve kayıplarla ilgili temel sorunları belirlemeye ikna etmek halk sağlığı açısından önemli bir rol oynamaktadır (Peden Margaret et al., 2004). Karayollarında can ve mal güvenliğini korumak için kanunlara bağlı yasal mevzuatlar konulmaktadır. Trafik sigorta primleri de yasal olarak zorunlu kılınmıştır (Temur, 2018).

İlk olarak 1930’da İngiltere’de uygulanmaya başlanan ve temel olarak trafikte kazaya karışan bir aracın karşı tarafa vereceği zararı kusuru oranında tazmin eden bir sorumluluk sigortası olan trafik sigortası, tam adıyla Karayolları Zorunlu Mali Sorumluluk Sigortası, Türkiye’de 1953’ten bu yana uygulanmaktadır (Baykal & Bülbül, 2016). Bir trafik kazasında hatalı araç sürücüsü işlemin ödeme zorluğu çekmemesi ve bu zarardan etkilenen tarafların mağduriyetinin önlenmesi adına 2918 sayılı Trafik kanunu ile trafiğe çıkacak her aracın karayolu zorunlu mali sorumluluk (Trafik) sigortası yaptırması gerekmektedir. Karayolları motorlu araçlar zorunlu mali sorumluluk sigortası, hem zorunlu olması hem de Türkiyedeki motorlu araç sayısının da çok fazla olması nedeniyle en yaygın sigorta türlerinden biridir (Kırkbeşoğlu, 2015). Sigorta prim üretim paylarına hayat dışı ve hayat sigortaları toplamında bakıldığında trafik branşı prim üretimi ortalama yüzde 20’lik pay ile sektörün üretim lideri konumundadır (Temur, 2018).

Sigorta sektörü bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmenin ve ürün çeşitliliğinin etkisi ile gelişen bir sektördür. Sektörün prim üretimi ve bir sonraki yılın prim üretimlerine yönelik tahmin çalışmaları da yapılmıştır. Çekici ve İnel (2015), çalışmalarında direkt prim üretiminin önümüzdeki yıllara ait tahminini yapabilmek amacıyla Hazine Müsteşarlığı’ndan alınan 1981–2011 yılları arasındaki prim üretim değerlerinin, Basit Ortalama Tahmin Tekniği, lineer Regresyon Modeli gibi farklı modellere uygunluğu incelenmiştir (Çekici & İnel, 2015). Korkmaz ise çalışmasında Türkiye’de sigortacılık sektöründeki 1986–2015 yılları arasında hayat dışı prim üretimlerini etkileyen faktörler, 1994, 2001 ve 2008 ekonomik krizlerine vurgu yapılarak analiz edilmiş, kriz

dönemlerinde hayat dışı prim üretimlerinin nasıl etkilendiği ekonometrik olarak incelenmiş küçük kareler tahminleri yapılarak yorumlanmıştır. ve VAR modeli ile analiz çalışması yapmıştır (Korkmaz, 2017).

Bu çalışmada, Türkiye trafik sigorta brüt primleri (TSBP) metasezgisel Harris Şahinleri Algoritması (HŞA) ile tahmin edilmiştir. HŞA ile literatürde farklı tahmin problemleri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır (Abba et al., 2021; Kurniawan, Setiawan, Caraka, & Nasution, 2022; Naeijian, Rahimnejad, Ebrahimi, Pourmousa, & Gadsden, 2021; Turabieh et al., 2021). Bu çalışmada ise, TSBP tahmini için HŞA liner (HŞA-L) model oluşturulmuş ve 2009 ile 2020 yılları arasında tahmin edilmiştir. TSBP tahmini için 2009 ile 2020 yılları arası nüfus, araç sayısı ve kaza sayısı göstergeleri kullanılmıştır. Bu göstergeler Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK, 2022), TSBP gerçekleşen değerler ise Türkiye Sigortalar Birliğinden (TSB, 2022) alınmıştır. Amaç fonksiyonu olan min RMSE değeri, tahmin ve gerçekleşen değerlere bağlı olarak hesaplanmıştır. HŞA-L tahmin modeli sonucu çoklu liner regresyon (ÇLR) sonucu ile kıyaslanmıştır. Tahmin sonuçları tablolarda verilmiş ve grafikte gösterilmiştir.

## 2. Veri Seçimi ve Kullanımı

Bu çalışmada, TSBP tahmini için 2009 ile 2020 yılları arası nüfus, araç sayısı ve kaza sayısı göstergeleri kullanılmıştır. Tablo 1’de göstergeler ve gerçekleşen TSBP değerleri verilmiştir.

Tablo 1. TSBP için kullanılan göstergeler

Yıllar	Gerçekleşen TSBP (10 <sup>9</sup> TL) (TSB, 2022)	Nüfus (10 <sup>6</sup> ) (TÜİK, 2022)	Araç Sayısı (10 <sup>6</sup> ) (TÜİK, 2022)	Kaza Sayısı (10 <sup>5</sup> ) (TÜİK, 2022)
2009	1,971735149	72,5	14,3167	10,53
2010	2,305578574	73,7	15,095603	11,06
2011	2,700476916	74,7	16,089528	12,29
2012	3,600105988	75,6	17,033413	12,97
2013	4,965999144	76,6	17,939447	12,07
2014	5,072924881	77,7	18,828721	11,99
2015	6,810611462	78,7	19,994472	13,13
2016	12,47027356	79,8	21,090424	11,82
2017	12,4982697	80,8	22,218945	12,03
2018	15,30191038	82,03	22,865921	12,29
2019	18,01849968	83,1	23,156975	11,67
2020	19,57144198	83,6	24,144857	9,84

2016 ve sonraki yıllardaki TSBP hesaplama yöntemi değiştiğinden dolayı iki kata yakın artış meydana gelmiştir (Temur, 2018; TSB, 2022).

## 3. Harris Şahinleri Algoritması (HŞA)

Harris Şahinleri Algoritması (HŞA) olarak adlandırılan, popülasyona dayalı, doğadan ilham alan Heidari ve ark. (2019) tarafından önerilen bir optimizasyon algoritmasıdır (Heidari et al., 2019). HŞA’nın ana ilham kaynağı, Harris’in şahinlerinin doğada sürpriz sıçrama olarak adlandırılan işbirlikçi davranış ve

kovalama tarzıdır (Bednarz, 1988). Bu akıllı stratejide, birkaç şahin, bir avı şaşırtmak için iş birliği içinde farklı yönlerden saldırır. Harris şahinleri, senaryoların dinamik doğasına ve avın kaçış kalıplarına bağlı olarak çeşitli kovalama kalıpları ortaya çıkarabilir. Bu çalışma, bir optimizasyon algoritması geliştirmek için bu tür dinamik kalıpları ve davranışları matematiksel olarak taklit eder (Heidari et al., 2019).

Harris Şahinleri Algoritmasının aşamaları aşağıdaki gibidir:

#### A) Keşif Aşaması

Harris'in şahinleri, güçlü gözleriyle avını takip edip tespit edebilirler. Bazen av kolayca görülemez. Bu nedenle, şahinler belki birkaç saat sonra bir av tespit etmek için çöl alanını bekler, gözlemler ve izler. HŞA'da Harris'in şahinleri aday çözümlerdir. Her adımda en iyi aday çözüm amaçlanan av veya yaklaşık optimum olarak kabul edilir. HŞA'da, Harris'in şahinleri bazı yerlere rastgele tünere ve iki stratejiye dayalı olarak bir av bulmayı bekler. HŞA keşif aşaması matematiksel ifadesi Denklem 1'de verilmiştir.

$$X(t+1) = \begin{cases} X_{rand}(t) - r_1 |X_{rand}(t) - 2r_2 X(t)| & q \geq 0.5 \\ (X_{av}(t) - X_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)) & q < 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

Burada  $X(t)$ , Harris şahinini mevcut konumu,  $X(t+1)$  güncel konumunu vermektedir.  $X_{av}(t)$  avın mevcut konumudur.  $r_1, r_2, r_3$  ve  $r_4$  bir birinden farklı rastgele değerlerdir ve 0 ile 1 arasında değer almaktadır.  $UB$  arama uzayının üst sınır değeri,  $LB$  ise alt sınır değeridir.  $q$  değeri 0.5'e eşit veya büyük ve 0.5 değerinden küçük olma koşuluna göre tüneme stratejisini belirlemektedir. Şahinlerin ortalama konumu, Denklem 2 kullanılarak elde edilir.

$$X_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t) \quad (2)$$

Burada  $X_m(t)$ ,  $t$  iterasyonunda  $N$  adet şahinin ortalama konumunu ifade etmektedir.

#### B) Keşif-Atak geçişi

HŞA algoritmasında, şahinler global aramada keşif yaparken bir anda atağa geçiş yapabilir ve avın azalan enerjisi bağlı yerel aramada sömürü yapabilir. Avın enerji formülü Denklem 3'te verilmiştir.

$$E = 2E_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (3)$$

Burada  $E$ , kaçmaya çalışan avın enerjisi,  $E_0$  avın mevcut enerjisi,  $t$  mevcut iterasyonu,  $T$  ise maksimum iterasyonu belirtmektedir.

#### C) Sömürü Aşaması

HŞA'da sürü halindeki şahinler avlarını kuşatma davranışı gösterirler. Kuşatma ise yumuşak ve sert kuşatma ve bunlar arasındaki geçişlere bağlı olarak aşamalara ayrılmaktadır. Avın kaçış şansı  $r$  değeri olarak varsayılın. Avın  $r < 0$  durumu başarılı kaçışı,  $r \geq 0$  ise başarısız kaçışı ifade ettiği farz edilsin. Buradaki  $r$ , 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır.

Yumuşak kuşatma aşaması,  $r \geq 0.5$  ve  $|E| \geq 0.5$  olduğu durumdur. Kaçan avın yakalanma olasılığının yüksek olduğu aşamadır. Fakat avın halen enerjisi vardır ve kaçabilir. Denklem 4-6'da şahinler ve av arasındaki yumuşak kuşatma denklemi verilmiştir.

$$X(t+1) = \Delta X(t) - E |J X_{av}(t) - X(t)| \quad (4)$$

$$J = 2(1 - r_5) \quad (5)$$

$$\Delta X(t) = X_{av}(t) - X(t) \quad (6)$$

Burada  $\Delta X(t)$ , avın konum vektörü,  $J$  avın sıçramasını,  $r_5$  ise 0 ile 1 arasında rastgele bir değeri ifade etmektedir.

Sert kuşatma aşaması,  $r \geq 0.5$  ve  $|E| < 0.5$  olduğu durumdur. Avın enerjisinin çok düştüğü, neredeyse hareketsiz kaldığı aşamadır. Harris şahinleri bu aşamada avı kuşatmasından ziyade saldırıya geçmeye hazırlandığı konumdur. Denklem 7'de sert kuşatma aşaması matematiksel modeli verilmiştir.

$$X(t+1) = X_{av}(t) - E |\Delta X(t)| \quad (7)$$

$r < 0.5$  ve  $|E| \geq 0.5$  olduğunda kademeli hızlı saldırılarla yumuşak kuşatma aşaması durumu meydana gelmektedir. Kaçmak üzere olan avın etrafı şahinler tarafından yumuşak kuşatma ile sarılmaktadır. Bu aşamayı matematiksel olarak modellemek için Levy uçuşu (Levy Flight-LF) kavramı kullanılmıştır (Chechkin, Metzler, Klafter, & Gonchar, 2008; Humphries et al., 2010; Viswanathan et al., 2000). LF ile anı dalış ve çıkışlar yapan şahinler avlarını şaşırtmakta ve yorulmalarını sağlama amaçlanmıştır.

$$Y = X_{av}(t) - E |J X_{av}(t) - X(t)| \quad (8)$$

$$Z = Y + S \times LF(D) \quad (9)$$

$$LF(x) = 0.01 \times \frac{u \times \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}}, \sigma = \left( \frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (10)$$

Burada,  $D$  problemin boyutudur veya tasarım değişken sayısı,  $S$  boyuta göre rastgele bir vektördür.  $u, v$  değerleri (0,1) arası rastgele sayı,  $\beta$  değeri genelde 1.5 olarak alınmaktadır.

## 4. Trafik Sigorta Brüt Primlerinin Tahmini (TSBP Tahmini)

Bu çalışmada TSBP için HŞA Liner (HŞA-L) model öne sürülmüştür. HŞA-L model ile 2009-2020 yılları arası göstergelere bağlı TSBP tahmini yapılmıştır. HŞA-L modelin tahmin başarısını karşılaştırabilmek için çoklu liner regresyon (ÇLR) modeli ile tahmin yapılmıştır. Denklem 11'de HŞA-L modelin, Denklem 12'de ise ÇLR modelin matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$HŞA - L = w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3 + w_0 \quad (11)$$

$$ÇLR = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_0 \quad (12)$$

Burada,  $X_1, X_2$  ve  $X_3$  değerleri Tablo 1'deki sırasıyla nüfus, araç sayısı ve kaza sayısı göstergelerindeki değerleri ifade etmektedir.  $w_0 - w_3$  Ağırlık katsayıları HŞA-L ile hesaplanması gereken değerlerdir.  $w$  değerleri için arama uzayı [-1000, 1000] olarak alınmıştır.  $\beta_0 - \beta_3$  ise ÇLR model ile hesaplanması gereken değerleri ifade etmektedir. Amaç fonksiyonu olan RMSE değerini minimum yapmaktır. Min RMSE Denklem 13'te verilmiştir.

$$\min RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_g - y_t)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

Burada,  $n$  değeri 2009 ile 2020 yılları arasında toplam 12 yıllık veriyi ( $n = 12$ ),  $y_g$  2009-2020 yılları arasında gerçekleşen TSBP

değerini,  $y_t$  ise 2009- 2020 yılları arasında tahmin edilen değerleri göstermektedir.

## 5. Tahmin Sonuçları

Tablo 1'deki göstergeler HŞA-L model Denklem 11 ve ÇLR model Denklem 12'de hesaplandıktan sonra amaç fonksiyonu olan Denklem 13'teki RMSE değerini minimum yapan ağırlık katsayıları belirlenmiştir. HŞA-L model 25 popülasyon sayısında 1000 iterasyonda 30 bağımsız çalıştırılmıştır. HŞA-L'nin hesapladığı en iyi RMSE değeri ve ÇLR modelin hesapladığı RMSE değerleri ile  $w_0 - w_3$  ile  $\beta_0 - \beta_3$  değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

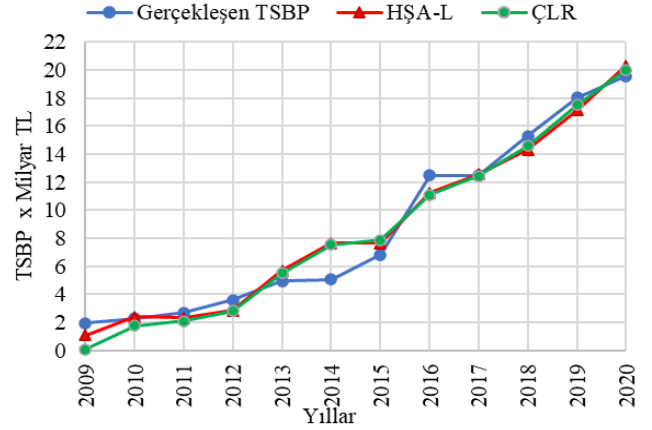
Tablo 2. Hesaplanan  $w$  ve  $\beta$  değerleri

HŞA-L model		ÇLR model	
$w_0$	1,8897285	$\beta_0$	2,286159268
$w_1$	-0,272823	$\beta_1$	-0,629375941
$w_2$	-1,373918	$\beta_2$	-1,083516212
$w_3$	-117,5557	$\beta_3$	-145,2395405
min RMSE	<b>1,053975</b>	min RMSE	1,12606

Tablo 2'de kalın yazı tipi ile belirtilen min RMSE değeri için HŞA-L modelin ÇLR modelden daha iyi hesapladığını belirtmektedir. Tablo 2'deki  $w$  ve  $\beta$  değerlerine bağlı olarak hesaplanan tahmin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Şekil 1'de gerçekleşen TSBP ile HŞA-L ve ÇLR modellerin tahmin grafikleri gösterilmiştir.

Tablo 3. HŞA-L model ve ÇLR model 2009-2020 yılları arası TSBP tahmin sonuçları

Yıllar	Gerçekleşen TSBP $x10^9$ TL	HŞA-L $x10^9$ TL	ÇLR $x10^9$ TL
2009	1,97173515	1,076272	0,083245221
2010	2,30557857	2,403267	1,763721041
2011	2,70047692	2,33191	2,094560885
2012	3,60010599	2,840887	2,82444023
2013	4,96599914	5,719955	5,507726772
2014	5,07292488	7,665956	7,553222899
2015	6,81061146	7,671373	7,866696582
2016	12,4702736	11,250907	11,10968195
2017	12,4982697	12,544226	12,4664361
2018	15,3019104	14,334863	14,58248547
2019	18,0184997	17,129296	17,51965729
2020	19,571442	20,318915	20,02746304



Şekil 1. TSBP Gerçekleşen değer ile HŞA-L model ve ÇLR model tahmin grafiği

## 6. Sonuçlar

2020 yılı sonu itibarı ile 300 milyar TL sınırı aşan aktif büyüklüğü ile sigorta sektörü gelişen ülke dinamiklerine göre büyümesini sürdürmektedir. Türkiye'de artan nüfus ve refaha bağlı olarak araç sayıları artmaktadır. Araç sayısı artışı dolaylı olarak kaza sayılarını da arttırmaktadır. Kaza sayısında ki artışa bağlı olarak trafik sigorta primleri her geçen yıl artmaktadır. 2020 yılı için yazılan toplam primin yaklaşık %25'i hayat dışı branş toplamının yaklaşık %30'unu oluşturan kara araçları zorunlu trafik tıgortası sektör içerisinde önemli bir paya sahiptir. Bu yüzden TSBP tahminlerinin yapılması sigorta sektörü için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, geçmişe yönelik olarak gerçekleşen Türkiye trafik sigorta brüt primleri (TSBP) metasezgisel Harris Şahinleri Algoritması (HŞA) ile 2009 ile 2020 yılları arasında tahmini yapılmıştır. Tahmin için HŞA liner (HŞA-L) model oluşturulmuştur. TSBP tahmini için 2009 ile 2020 yılları arası nüfus, araç sayısı ve kaza sayısı göstergeleri kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak tahmin ve gerçekleşen değerlere bağlı min RMSE değerleri alınmıştır. RMSE değerlerine göre ÇLR ve HŞA-L modellerinin tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. HŞA-L tahmin sonucu için min RMSE 1.053975, ÇLR tahmin sonucu ise 1.12606 olarak hesaplanmıştır. HŞA-L tahmin sonuçlarının ÇLR tahmin sonuçlarından daha iyi, güvenilir ve uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

## Kaynakça

- Abba, S. I., Najashi, B. u. G., Rotimi, A., Musa, B., Yimen, N., Kawu, S. J., . . . Dagbasi, M. (2021). Emerging Harris Hawks Optimization based load demand forecasting and optimal sizing of stand-alone hybrid renewable energy systems– A case study of Kano and Abuja, Nigeria. *Results in Engineering*, 12, 100260. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100260>
- Baykal, K. B., & Bülbül, S. (2016). Türkiye'de trafik sigortalarında optimal ödül-ceza sistemi tasarımı: İyi risk/kötü risk modeli. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 8(14), 17. doi:10.14784/jfrs.95682
- Bednarz, J. C. (1988). Cooperative Hunting Harris' Hawks (Parabuteo unicinctus). *Science*, 239(4847), 1525-1527. doi:10.1126/science.239.4847.1525

- Chechkin, A. V., Metzler, R., Klafter, J., & Gonchar, V. Y. (2008). Introduction to the Theory of Lévy Flights. In *Anomalous Transport* (pp. 129-162).
- Çekici, M., & İnel, M. (2015). Türk Sigorta Sektörünün Direkt Prim Üretimlerinin Tahmin Teknikleri İle İncelenmesi. *Marmara University Journal of Economic and Administrative Sciences*, 34(1), 135-152.
- Doğan, E., & Akgüngör, A. P. (2013). Forecasting highway casualties under the effect of railway development policy in Turkey using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 22(5), 869-877. doi:10.1007/s00521-011-0778-0
- DSÖ. (2018). *Global status report on road safety 2018*. In. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. (2019). Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*, 97, 849-872. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>
- Humphries, N. E., Queiroz, N., Dyer, J. R. M., Pade, N. G., Musyl, M. K., Schaefer, K. M., . . . Sims, D. W. (2010). Environmental context explains Lévy and Brownian movement patterns of marine predators. *Nature*, 465(7301), 1066-1069. doi:10.1038/nature09116
- Kırkbeşoğlu, E. (2015). *Risk Yönetimi ve Sigortacılık*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Korkmaz, E. (2017). *Türkiye'de ekonomik krizlerin hayat dışı sigorta primlerine etkisi: Ekonometrik yaklaşım*. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi,
- Kurniawan, R., Setiawan, I. N., Caraka, R. E., & Nasution, B. I. (2022). Using Harris hawk optimization towards support vector regression to ozone prediction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(2), 429-449. doi:10.1007/s00477-022-02178-2
- Naeijian, M., Rahimnejad, A., Ebrahimi, S. M., Pourmousa, N., & Gadsden, S. A. (2021). Parameter estimation of PV solar cells and modules using Whippy Harris Hawks Optimization Algorithm. *Energy Reports*, 7, 4047-4063. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.085>
- Peden Margaret, Richard Scurfield, David Sleet, Dinesh Mohan, Adnan A. Hyder, Eva Jarawan, & Mathers, C. (2004). *World Report on Road Traffic Injury Prevention*. In. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-road-traffic-injury-prevention>
- Tefek, M. F., & Arslan, M. (2022). Highway accident number estimation in Turkey with Jaya algorithm. *Neural Computing and Applications*. doi:10.1007/s00521-022-06952-9
- Temur, A. (2018). Türkiye'de Trafik Sigortalarının Branş Karlılığını Etkileyen Faktörler ve Bu Faktörlerin Sigorta Sektörü Karlılığına Etkisi. *Akademik Hassasiyetler*, 5(10), 305-330.
- TSB. (2022). Türkiye Sigortalar Birliği İstatistikler, Teknik Gelir Tabloları, . Retrieved from <https://www.tsb.org.tr/tr/istatistikler>
- Turabieh, H., Azwari, S. A., Rokaya, M., Alosaimi, W., Alharbi, A., Alhakami, W., & Alnfai, M. (2021). Enhanced Harris Hawks optimization as a feature selection for the prediction of student performance. *Computing*, 103(7), 1417-1438. doi:10.1007/s00607-020-00894-7
- TÜİK. (2022). Türkiye İstatistik Kurumu. Retrieved from <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=istgosterge>
- Viswanathan, G. M., Afanasyev, V., Buldyrev, S. V., Havlin, S., da Luz, M. G. E., Raposo, E. P., & Stanley, H. E. (2000). Lévy flights in random searches. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 282(1), 1-12. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(00\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(00)00071-6)
- Yıldırım Keser, H., Ay, S., & Çetin, I. (2018). Ulaştırma Karayolları: Türkiye'deki Gelecek Beklentileri. *TESAM Akademi Dergisi*, 63-93. doi:10.30626/tesamakademi.455999



# Big Data Planning Policies in the Age of Green Consensus

Aziz Cumhur Kocalar<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Şehir ve Bölge Planlama / Mimarlık Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Türkiye (azizcumhurkocalar@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084409)

**ATIF/REFERENCE:** Kocalar, A.C. (2022). Big Data Planning Policies in the Age of Green Consensus. *European Journal of Science and Technology*, (34), 716-719.

## Abstract

The study examines the prominent issues about Turkey's signing of the Paris Agreement and the harmonization process with the EU Green Consensus (EGC) from a technical point of view, within the framework of its responsibilities. The study evaluates the findings on big data planning and creating sectoral datasets, especially in the Green Consensus period and makes predictions about the near future on issues related to international trade. The research is important in terms of illuminating the context of the relevant process and critical points that may be missed due to the excess of strategic technical details. The main material of the research is international and national documents, and its method is based on interdisciplinary findings and observations. Turkey published the Green Reconciliation Action Plan in 2021. In the same year, Turkey also ratified the Paris Agreement in its parliament. Therefore, Turkey now must speed up the preparations for the related process, where the Green Consensus is in question. It is known that especially digital transformation will play a dominant role with the solutions it will provide in this process. For this purpose, it was deemed necessary for Turkey to start making new moves in big data policy. To obtain healthy measurement results in all sectors related to the subject, necessary preliminary preparations in the data infrastructure should be made quickly and on site. First, sectoral data sets should be determined. The study sets out the topics of discussion and provides technical details that determine the most accurate and consistent data policies that will remain based on strategic decisions to meet the upcoming target. Many issues related to this technical subject now must be discussed.

**Keywords:** Adaptation, Big data planning, Climate change economics, Data sets, Regional integration, Technical change.

## Yeşil Mutabakat Çağında Büyük Veri Planlama Politikaları

### Öz

Çalışma, Türkiye'nin Paris Anlaşması'na imza atması ve AB Yeşil Mutabakat'ına (AYM) uyum süreci hakkında öne çıkan hususları getirdiği sorumluluklar çerçevesinden ele alarak teknik açıdan incelemektedir. Çalışma özellikle Yeşil Mutabakat döneminde büyük veri planlaması ve sektörel veri setleri oluşturma konusunda bulguları değerlendirmekte ve uluslararası ticaretle ilgili konularda yakın geleceğe dair öngörülerde bulunmaktadır. Araştırma, konuyla ilişkili sürece dair bağlamı ve stratejik teknik ayrıntıların fazlalığı nedeniyle atlanabilecek olan kritik noktaları aydınlatması açısından önemlidir. Araştırmanın ana materyali uluslararası ve ulusal belgelerdir, yöntemi ise disiplinler arası bulgu ve gözlemlere dayanmaktadır. Türkiye 2021 yılında Yeşil Mutabakat Eylem Planını yayımlamıştır. Türkiye aynı yılda Paris Anlaşması'nı da meclisinde onaylamıştır. Türkiye bu yüzden Yeşil Mutabakat'ın söz konusu olduğu ilişkili sürece dair hazırlıkları artık hızlandırmak zorundadır. Özellikle dijital dönüşümün bu süreçte sağlayacağı çözümlerle başat bir rol oynayacağı bilinmektedir. Türkiye'nin bu amaçla büyük veri politikasında yeni hamleler yapmaya başlaması gerekli görülmüştür. Konuyla ilgili tüm sektörlerde sağlıklı ölçme sonuçları edinilebilmesi için veri altyapısındaki gerekli ön hazırlıkların hızlı ve yerinde bir şekilde yapılması sağlanmalıdır. Özellikle sektörel veri setlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma, tartışma konularını ortaya koymakta ve yaklaşan hedefi tutturmak üzere stratejik kararlara dayalı kalacak en doğru ve tutarlı veri politikalarını belirleyici teknik ayrıntılar sunmaktadır. Bu teknik konuyla ilişkili pek çok husus artık tartışılmak zorundadır.

**Anahtar Kelimeler:** Uyum, Büyük veri planlaması, İklim değişimi ekonomisi, Veri setleri, Bölgesel entegrasyon, Teknik değişim.

\* Corresponding Author: [azizcumhurkocalar@gmail.com](mailto:azizcumhurkocalar@gmail.com)



## 1. Giriş

Çalışma, Türkiye'nin Paris Anlaşması'na [1] imza atması [2] ve AB Yeşil Mutabakat'ına uyum süreci hakkında öne çıkan hususları getirdiği sorumluluklar çerçevesinden ele alarak teknik açıdan incelemektedir.

Çalışma özellikle Yeşil Mutabakat döneminde büyük veri planlaması ve sektörel veri setleri oluşturma konusunda bulguları değerlendirmekte ve uluslararası ticaretle ilgili konularda yakın geleceğe dair öngörülerde bulunmaktadır.

Araştırma, ilişkili sürece dair bağlamı ve stratejik teknik ayrıntıların fazlalığı nedeniyle atlanabilecek olan kritik noktaları aydınlatması açısından önemlidir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma ana materyali ve yöntemi alttaki ayrı bölümlerde özetlenmiştir.

Araştırmanın ana materyali uluslararası belgeler ve ulusal mevzuat değişiklikleridir. Bunlar ayrıca görselleştirilerek sunulmuştur (Şekil 1).

### 2.1. Uluslararası Belgeler

1. Paris Anlaşması [1] 5 Ekim 2016 tarihinde imzalanmıştır.
2. Avrupa Birliği 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı [2] yürürlüğe koymuştur.

### 2.2. Ulusal Mevzuat

3. 2021 yılında da Türkiye Yeşil Mutabakat eylem planını [3] yayımlamıştır.
4. Aynı yılda Türkiye Paris Anlaşması'na da imza atmıştır.

Sürece dair diğer en önemli veriler ise ulusal yönde ilerleyen ilk adımlar olup bulgular kısmında verilmiştir.

### 2.3. Araştırma Yöntemi

Araştırmanın yöntemi ise disiplinlerarası bulgu ve gözlemlere dayanmaktadır. Çalışmanın izlediği yöntem Şekil 2 ile verilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Türkiye'nin ilgili uluslararası anlaşmalara katılımı ile yürüyen süreçte parlamento onayı ve ulusal belgeleri yayımlaması alttaki gibi gerçekleşmektedir:

### 3.1. Tarihsel Süreç

Türkiye'nin Paris Anlaşması'ndaki taraf ülkeler arasına katılımı ile Avrupa Yeşil Mutabakatı'na uyum süreci alttaki gibi iç içe geçmiş ve hızlı bir şekilde ilerlemektedir (Şekil 1):

Paris Anlaşması, kabulünün üzerinden 1 yıl geçmeden yürürlüğe giren ilk küresel anlaşma olmuştur (Yürürlük tarihi: 4 Kasım 2016) [1]

11.12.2019 tarihinde Avrupa Birliği (AB) Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı kabul etmiştir [2].

Türkiye ise 16.07.2021 tarihli ve 2021/15 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile Yeşil Mutabakat Eylem Planı yayımlanmıştır [3].

Türkiye, Paris Anlaşması'nı, 22 Nisan 2016 tarihinde, New York'ta imzalamıştır. 175 ülke temsilcisiyle birlikte anlaşmaya taraf olmuştur. Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olarak imzaladığı vurgulanmıştır [4].

Türkiye bu yüzden Yeşil Mutabakat'ın (YM) söz konusu olduğu bu sürece dair hazırlıkları hızlandırmak zorundadır.

Özellikle dijital dönüşümün bu süreçte sağlayacağı çözümlerle başat bir rol oynayacağı bilinmektedir. Türkiye'nin bu amaçla büyük veri politikasında yeni hamleler yapmaya başlaması gerekli görülmüştür.

İlgili sektörlerde sağlıklı ölçme sonuçları edinilebilmesi için veri altyapısındaki gerekli ön hazırlıkların hızlı ve yerinde bir şekilde yapılması sağlanmalıdır. Özellikle sektörel veri setlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

### 3.2. Araştırma Yönteminin Sonuçları

Çalışmanın somut bulguları; dijital dönüşüm, Türkiye'nin diğer mevcut durumunun saptanması, sürecin analizi, model gereksinimi, kurumsal sorumluluk ve eşgüdüm, veri setlerinin belirlenmesi ile ilgili hususlardır. Bu hususlar altta da görselleştirildiği gibi (Şekil 2) araştırma yaklaşımı çerçevesinde belirtildiği sırada kısaca ele alınmıştır.

6 basamaklı yapıda alttaki şekildeki (Şekil 2) gibi sunulmuştur:

#### 3.2.1. Dijital Dönüşüm

Dijital dönüşüm yaklaşımlarının örgütlenme şekline değiştirdiği görülmektedir. 2000'li yıllarda kurumsal yapılarda da bu dönüşümün ilk ayak izleri şirket bölümlerine verilen adlardaki değişimle de kendisini yeteri kadar göstermiştir. Örneğin kurumlarda artık "Personel Başkanlığı" yerine "İnsan Kaynakları Başkanlığı" kullanılmaya başlamıştır. Örgütlenme modelleri bu şekilde hızla yenilenmiştir.

#### 3.2.2. Mevcut Durumun Saptanması

Somut ve ilişkisel veriler henüz tam olarak ortaya konulamamıştır. Türkiye'deki sanayileşmiş büyükşehirlerdeki saha örneklerinde de gözlemlenebildiği gibi genel durum oldukça iç karartıcıdır. Bundan dolayı son yıllarda hızlı ve çarpık sanayileşen kentlerdeki durum düşündürücüdür.

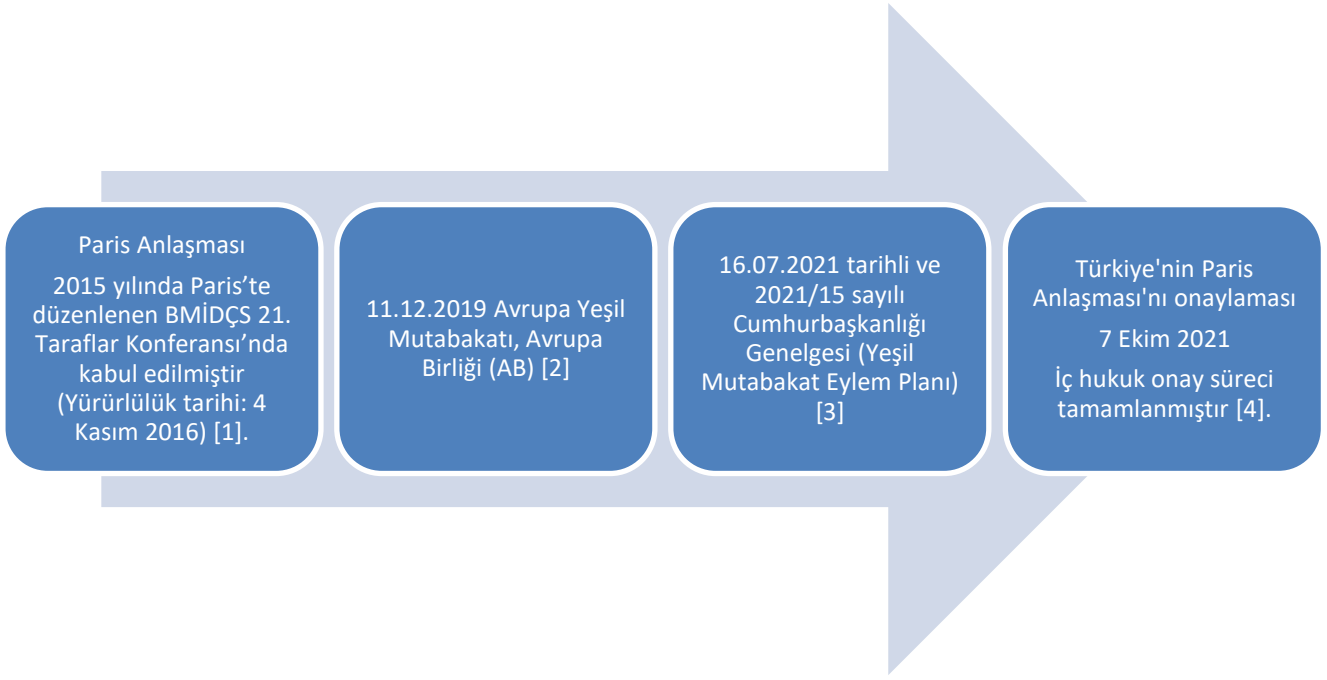
#### 3.2.3. Sürecin Analizi

Türkiye'den yurt dışı tedarik sağlayan ülkelerin uydukları YM kriterleri gereği ölçüm süreçleri de hızla yaklaşmaktadır.

2023 yılı ile artık karbon ayak izi hesaplamaları pratikte dikkate alınmaya başlamış olacaktır. Atık sudan yenilenebilir enerjiye kadar pek çok faaliyet bu kapsamda değerlendirmeye tabi tutulmuş olacaktır.

#### 3.2.4. Model Gereksinimi

Bu amaçla belgelere dayalı bir modelin ortaya konulması gerekmektedir. Ödenen vergi kalemlerinin görünür hale gelmesi gerekmektedir.



Şekil 1. İklim krizine uyum konusunda yakın geçmişteki ilerleme süreci.

Ticaret Bakanlığı bir eylem planı [3] hazırlamış ve plan Cumhurbaşkanlığı Genelgesi olarak yayımlanmıştır.

### 3.2.5. Kurumsal Sorumluluklar ve Eşgüdüm

Artık sürece dair paydaş durumda olan kurumların ve ilgili görevlerin hızla belirgin hale gelmesi gerekmektedir. Böylece ilgili faaliyetler daha kesin sorumluluk alanları içinde gerçekleştiriliyor olacaktır. Bu amaçla büyük veri toplanmadan ilgili veri setlerinin ortaya çıkarılmış olması beklenmektedir. O yüzden büyük veri toplanmadan önce bu ilgili veri setlerinin kullanılabilir kılınması sağlanmış olacaktır.

### 3.2.6. Veri Setlerinin Belirlenmesi

Büyük veri içerisinde ilgili sektörlerle yönelik sağlıklı ve doğru yöntemlerle ölçme yapılabilmesi artık mümkün ve kabul edilebilir bir hale getirilmelidir. Bunun için de özellikle sektörlerle yönelik veri setlerinin belirlenmesi ön plana alınmıştır.

Konu bu çalışma ile altta belirtilen hususlar üzerinden tartışmaya açılmıştır:

1.Öncelikle gecikmeksizin periyodik paydaş toplantıları yapılarak, büyük verinin kriterize edilmesi söz konusu edilmelidir.

2.Bu sürecin sonunda veri setlerinde ortak bir mutabakatın sağlanması ön plana gelmiştir.

3.Bu yollardan kamuda, sanayide ölçmeye dayalı veri bütünlüğü ve tutarlılığı sağlanmak zorundadır.

4.Ayrıca toplumun talebi de verimlilik anlamında farkındalık kazanılan konular arasında yer almaktadır.

5.Özel ölçmelerin de çok daha yöntemli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

6.YM ile akıllı bir dönüşüm sürecine girilmiştir. Dijital dönüşüm yaklaşımlarının bu perspektif içinde doğru bir şekilde evrimleşmesi beklenir.

Araştırma yaklaşımı çerçevesinde belirlenen konular üzerinden tartışma noktaları yukarıda sıralanmış, süreçte ortaya çıkabilecek diğer pek çok ayrıntı ise yeni ve daha kapsamlı çalışmaların konusu olarak geleceğe bırakılmıştır.

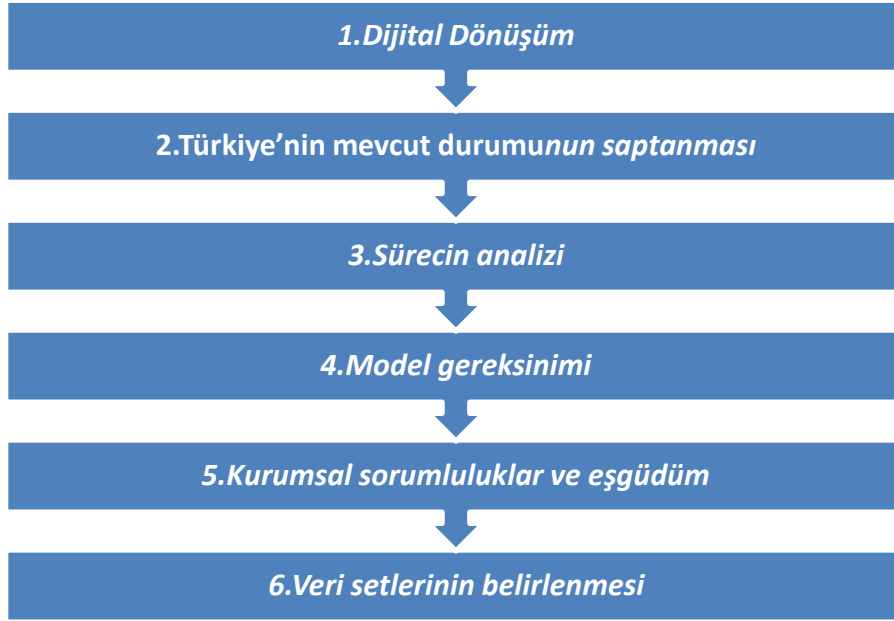
## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Dünya'da ve Türkiye'de gelişen son ticari süreçlerde artık sadece belli meslek grupları yeterli olamamaktadır. Gelecekte yapılacak ticari faaliyetlerdeki süreçlere paralel olarak tüm eylem kategorilerine ait kapasitelerdeki artışta oldukça dikkat çekici bir hale gelmiştir. Bu durum ticari süreçlere yönelik karmaşıklık derecesini de giderek arttırmakta ve paydaşlar arasındaki eşgüdümü de çok daha yoğun bir şekilde ön planda tutmaktadır.

Günümüzde tüm kurumsal süreçlere ilişkin eşgüdüm, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle sağlanmak durumundadır. Bu nedenle toplanan büyük veri içinde ilgili sektörlerle yönelik sağlıklı yollarla ölçme yapılabilmesi sağlanmak zorundadır. Dolayısıyla sektörler ve aktörler arası planlama da giderek önem kazanmıştır.

Sektörler için veri setlerinin belirlenmesi sonucunda ilgili sektörlerde doğru yöntemlerle ölçme yapılabilmesi de sağlanmış olacaktır.

Uluslararası ticarete rekabetin giderek artması neticesinde oluşan zorluklar, çalışmada sunulan yollardan gidilerek etkin ve zamanında yapılacak planlar ile aşılabılır.



Şekil 2. Çalışmada izlenen yöntem (Kocalar, A.C., 2022).

Yakın gelecekteki çalışmalarda büyük veri setleri için tek bir standartla uygunluk önemsenmelidir.

Ayrıca bu standart veriler önceden belirlenen merkezi tek bir yerde toplanmış olmalıdır. Veri yönetimi konusu karmaşık zorlukların baştan aşılmasını sağlamak için planlı süreçler içinde tasarlanıp, kademeli olarak hayata geçirilmelidir.

Çalışmanın sınırlarını aşan diğer pek çok konu ve teknik ayrıntı ise yakın süreç içinde gelecek olan çalışmaların konusu olarak tartışılmak zorundadır.

## 5. Teşekkür

Çalışma ICAENS 2022 isimli etkinlikte de bir bildiri olarak sunulmuştur, organizasyona teşekkürler. Bilgisayar Yük. Müh. Şaban Dalaman'a veri bilimi açısından değerlendirmeleri için de ayrıca teşekkürler. Araştırma alttaki projenin bir çıktısıdır:

“Akıllı Şehirler, Akıllı Ulaşım, Akıllı Lojistik, Akıllı Şebekeler, Akıllı ve Yeşil Binalar Araştırma Projesi”

İklim krizi ve Yeşil Mutabakat ile ilişkili diğer araştırmalar ise henüz 2022 yılı Bahar dönemi içinde çeşitli etkinliklerde sunum aşamasında olup, tam metin birer bildiri olarak pek yakında yayımlanacaklardır.

## Kaynaklar

- [1] 2015 tarihli Paris Anlaşması, 21. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Toplantısı (COP21), Paris. (Yürürlük tarihi: 4 Kasım 2016).
- [2] 11.12.2019 tarihli Avrupa Yeşil Mutabakatı, Avrupa Birliği (AB)
- [3] 16.07.2021 tarihli ve 2021/15 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi (Yeşil Mutabakat Eylem Planı) (16.07.2021 tarihli ve 31543 sayılı R.G.)
- [4] 7 Ekim 2021 tarihinde TBMM tarafından Parlamentoda onaylanması.



# Veli Yaklaşımlarının Öğretmenlerin Mesleki Yeterlilik Algısı ve Tükenmişlik Düzeyleri Arasındaki İlişki

Ayşegül Yılmaz<sup>1\*</sup>, Serdar Yılmaz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Ayvansaray Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Psikoloji Bölümü, İstanbul, Türkiye, [aysegulyilmaz@stu.ayvansaray.edu.tr](mailto:aysegulyilmaz@stu.ayvansaray.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4316-3737), [syilmaz75@iuc.edu.tr](mailto:syilmaz75@iuc.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1087696)

**ATIF/REFERENCE:** Yılmaz, A. & Yılmaz, S. (2022). Veli Yaklaşımlarının Öğretmenlerin Mesleki Yeterlilik Algısı ve Tükenmişlik Düzeyleri Arasındaki İlişki. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 720-723.

## Öz

Gelişmiş bir toplum için en önemli şart eğitimidir. Toplum içindeki bireyin en iyi şekilde eğitilmesi ve gelişimin sağlanmasında birinci ve en güçlü yapı taşı öğretmendir. Öğretmenlerin görevlerini en iyi şekilde icra edebilmesi, her meslekte olduğu gibi motivasyona bağlıdır.

Öğretmenlerin performanslarına etki edebilecek sebepler öğrencileri dolayısıyla toplumları olumlu ya da olumsuz etkileyecektir. Bu sebeplerden biri de veli yaklaşımlarıdır. Öğrencinin ilk eğitim gördüğü kurum ailedir. Okul çağına gelmiş öğrenci eğitiminin önemli bir kısmını ailesinden edinmiştir. Peki, aile yaklaşımlarının, öğretmenlerin motivasyon ve tükenmişlik düzeyine etkisi nedir? Bu sorudan yola çıkarak incelenmiş olan bu araştırmanın amacı; aile yaklaşımlarının, öğretmenlerin mesleki motivasyon düzeyleri ve tükenmişlik duyguları ile ilişkisine dair literatür araştırması gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda çalışmada öncelikle öğretmenlik mesleği ve öğretmenlerin mesleki motivasyon ve tükenmişlik düzeyleri ile ilgili araştırmaların yer aldığı makaleler incelenmiştir. Öğretmenlerin mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeylerine olan etkiler değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tükenmişlik düzeyi, Yeterlilik Algısı, Veli Yaklaşımları, Mesleki Yeterlilik

## The Relationship Between Parent's Approaches and Teachers' Perceptions of Professional Competence and Burnout Levels

### Abstract

Education is the most important condition for a developed society. The first and most powerful building block in the best education and development of the individual in the society is the teacher. The ability of teachers to perform their duties in the best way depends on motivation, as in every profession.

The reasons that may affect the performance of the teachers will affect the students, thus the society, positively or negatively. One of these reasons is parent approaches. The first institution where the student receives education is the family. A student of school age has acquired an important part of his education from his family. Well, what is the effect of family approaches on teachers' motivation and burnout levels? The aim of this research, which was examined based on this question; To conduct a literature research on the relationship between family approaches, teachers' professional motivation levels and feelings of burnout. For this purpose, first of all, articles about the teaching profession and the professional motivation and burnout levels of teachers were examined in the study. The effects on teachers' professional competence and burnout levels were evaluated.

**Keywords:** Burnout Level, Perception of Competence, Parent Approaches, Professional Competence

## 1. Giriş

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde öğretmen mesleki motivasyon ve tükenmişlik düzeyi üzerine araştırmaların yapıldığı görülmüştür, fakat veli yaklaşımlarına ilişkin ise çalışmaların içinde kısmen yer verilirken doğrudan öğretmen-veli ilişkilerinin, öğretmenin mesleki yeterliliği ve tükenmişliği üzerindeki etkilerinin yer aldığı çalışma görülmemiştir. Öğretmenlerin mesleki motivasyon ve tükenmişlik düzeyi ve veli yaklaşımının birlikte ele alındığı sınırlı sayıda araştırmaya rastlanmıştır. Araştırmanın bu yönüyle dikkate alındığında ilgili alanda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca araştırmadan ulaşılan sonuçların, öğretmen mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeyi ile ilgili olarak gelecekteki uygulamalarda fikir verici olacağı düşünülmektedir.

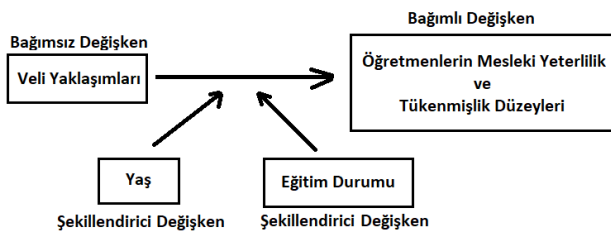
Günümüzde artan iletişim araçlarının artması ve bilgi akışındaki uyarıların yoğunluğu özellikle günümüz ebeveynlerinde çocuklarının eğitim ve öğrenimlerine daha çok ilgi ve alaka göstermelerine neden olmuştur. Durumun pozitif kazanımlarını takdir ve kabul etmekle birlikte, aşırı koruyucu ve yönlendirici ebeveynlerin öğretmenler üzerindeki beklentilerini artırmaktadır. Bu durum çalışmanın yapılması konusunda motivasyon kaynağı olarak kabul edilmiştir.

Çalışmamızda öncelikli olarak literatürdeki var olan öğretmen-veli ilişkilerinin yer aldığı makale ve yayımlar araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın motivasyon kaynağı son yıllarda özellikle de velilerin çocuklarının eğitime katkıda bulunmak amacıyla ilgi ve alakalarını artırmaları, veli-okul işbirliğinin öğrencilerin akademik başarısına katkı sağladığı reddedilemez bir gerçektir ancak velilerin beklentilerinin çok yüksek olması, aşırı kontrolcü tutumları gibi sebepler doğrultusunda öğretmenler üzerinde baskı oluşturmaya neden olmaktadır. Gerçekleştirilen araştırmalarda yaşlı öğretmenlerin veli iletişimi genç öğretmenlerin veli ile iletişimine göre daha zayıftır. Genç öğretmenlerin ise iletişim düzeyi yüksek olsa bile veli ile problem çözme becerileri daha düşüktür. Lisansüstü eğitim gören öğretmenlerin ise iletişim becerileri ve problem çözme düzeyleri yüksek olduğu yapılan çalışmada görülmüştür.

### 2.1. Araştırma Modeli ve Hipotezler



Şekil 1. Araştırma Modeli

Literatürde yapılan araştırmada kullanılan yaklaşıma ait model Şekil 1 üzerinde verilmektedir. Veli yaklaşımları, öğretmenlerin mesleki yeterlilikleri ve tükenmişlik düzeylerine etki edeceği düşünüldüğünden, bağımsız değişkenimizdir. Ayrıca veli tutumlarının öğretmenlerin mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeyleri ile olan ilişkisini yaş ve eğitim durumunun etkileyeceği düşünülmektedir.

Araştırma kapsamında ulaşılmaması düşünülen hipotezler H1, H2, H3 ve H4 olarak sunulmaktadır.

H1 Hipotezi: Veli yaklaşım tarzları ile öğretmenlerin mesleki yeterlilikleri ve tükenmişlik düzeyleri arasında bir ilişki vardır.

H2 Hipotezi: Veli yaklaşımlarının genç yaşta öğretmenlerin mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeylerine oranla ileri yaşta öğretmenlerin mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeyleri arasında fark vardır.

H3 Hipotezi: Veli yaklaşımları eğitim durumu düzeyi yüksek olan öğretmenlerin mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeylerine göre eğitim durumu düzeyi düşük öğretmenlerin mesleki yeterlilik ve tükenmişlik düzeyleri arasında fark vardır.

## 3. Literatür Araştırması

Yapılan literatür araştırmasında veli yaklaşımlarının öğretmenlerin mesleki yeterlilik algısı ve tükenmişlik düzeyi ile ilişkili olduğunu gösteren doğrudan bir çalışma bulunmamıştır. Çalışmalarda genellikle öğretmenlerin tükenmişlik düzeyi ne etki eden iç ve dış faktörlerden bahsedilmektedir. Veli davranış ve tutumlarının öğretmenlerin tükenmişliği ile dolaylı yoldan ilişkilendirildiği çalışmalar görülmekle birlikte, öğretmenlerin tükenmişliği konusunda genellikle iç-dış faktörler çalışılmıştır.

Einar M. Skaalvik (2010) yayınladığı, “Öğretmen öz yeterliliği ve öğretmen tükenmişliği: İlişkiler üzerine bir çalışma” adlı çalışmasında, 2249 Norveçli ilkököl ve ortaokul öğretmenleri üzerinde öz yeterliliğini değerlendirmesi araştırmıştır. Araştırmaya öğretmenlerin tükenmişliği üzerindeki; okul, kolektif öğretmen yeterlilikleri, öz yeterlilikleri, iş tatmini, öğretmenlik dışındaki etkiler konu olarak değerlendirilmiştir. Veriler, AMOS 7 programı kullanılarak yapısal eşitlik modellemesi yoluyla analiz edilmiştir. Çalışmada dikkate değer olarak, okul dışı nedenler içerisinde Öğretmen-veli ilişkilerinin öğretmenlerin tükenmişliği üzerindeki etkileri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmanın tartışmalar kısmında, öğretmenlerin velilerle ilişkilerinin hem öz-yeterlilik beklentileri hem de duyarsızlaşma ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu anlatılmaktadır.

Ayrıca kesin olarak bilinen yargı olan Öğretmen-veli ilişkisinin öğrencinin genel olarak okula karşı tutumunu etkileyebileceği ve akademik başarıyı artırabileceği gibi belirli öğretmenlere karşı da mesleki yeterliliği etkilediği ortaya konmaktadır. Öğretmen-veli ilişkilerinde, güvenli ortam oluşturulmasının sorumluluğu sadece bir tarafa yüklenmesi doğru olmayacağı, olumlu ilişkiler kurmada hem öğretmene hem veliye düşen görevler olduğu anlatılmaktadır. Özellikle farklı beklentilere sahip velilerin taleplerini bir öğretmenin karşılaması mümkün olamamaktadır, gelişebilecek öğretmen-veli ilişkilerindeki olumsuzlukların okul idaresi tarafından yumuşatılması önerilmektedir.

H. İ. Arslantaş ve arkadaşlarının (2018) yayınladıkları “Lise Öğretmenlerinde Mesleki Motivasyon Unsurları: Karma Yöntemli Bir Çalışma” adlı yayında öğretmenlerin tükenmişlik düzeyi üzerine etki eden iç ve dış nedenler anlatılmıştır. Araştırma karma yöntemli olup hem nicel hem nitel desenler birlikte kullanılmıştır. Araştırmanın nicel kısmında tesadüfi örnekleme yoluyla seçilen 236 lise düzeyi öğretmen, nitel kısmında da kolay ulaşılabılır örnekleme ile seçilen 28 öğretmen yer almıştır. Araştırma sonuçlarında öğretmenlerin eğitim düzeylerinin yüksek olmasının mesleki motivasyon üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmüştür, diğer yandan ise dış unsurların motivasyon

düşüşünde etkili olduğu açıklanmıştır. Araştırmanın nicel kısmında yer alan öğretmenler ait kişisel özellikler, cinsiyet, medeni durum, eğitim durumu, maddi durumları gibi bilgilerde yer almaktadır. Nitel araştırma yapılandırılmış görüşme formu ile gerçekleştirilmiştir, 4 ucu açık sorununda yer aldığı formlar, oluşturulurken ön uygulama denemeleri yapılmış ve gönüllülük esası ile birebir uygulama ile veri toplanmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde iki temel unsur olan iç ve dış unsurlar dikkate alınmıştır. Değerlendirmelerde öğretmenlerin, mesleki tercih motivasyonu, çalışma motivasyonu, motivasyonu artıran unsurlar, motivasyon düşürücü unsurlar iki temel neden olan iç ve dış nedenler olarak sunulmuştur. Veli etkileşimlerinin dış unsur olarak değerlendirildiği ve motivasyon düşürücü olarak bazı görüşme formlarında açık uçlu sorularda “velilerin olumsuz tavırları” şeklinde öğretmenler tarafından formlarda bildirilmektedir. Sonuç ve tartışmalar kısmında da velilerin öğretmenlerle olan tutum ve davranışlarının dış nedenler içinde olduğu anlatılmaktadır.

Şükrü Ada ve arkadaşlarının (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada, öğretmenlerin motivasyon etkenleri çalışılmıştır. Çalışmada nitel araştırma desenlerinden olgu bilim deseni kullanılmıştır. Toplanan veriler, nitel veri analizi yaklaşımlarından biri olan içerik analizi ile çözümlenmiştir. İlköğretim okullarında görev yapan 19 sınıf öğretmeni ile yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılarak görüşmeler yapılmıştır. Öğretmenlerin motivasyonlarına etkiyen faktörleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan bu çalışmada, pozitif motivasyon sağlayan 63 adet dış, 19 adet iç, negatif motivasyon sağlayan 82 adet dış ve 9 adet iç faktör olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmada öğretmenlere ait, cinsiyet, medeni durum, yaş, görev süresi, eğitim durumu özelliklere yer verilmiştir. Veri toplamak için çoğunlukla birebir görüşmeler yapılmış olsa da, telefon, ses ve görüntülü iletişim araçları da kullanılmıştır. Veri toplamada yarı yapılandırılmış veri formları kullanılmıştır. Araştırmada özellikle okul içi ve okul dışı motivasyon etkileyici unsurlara odaklanılmıştır. Çalışmanın sonuçları 4 başlık altında sunulmuştur. Bunlar dış motivasyon arttıranlar, iç motivasyon arttıranlar, dış motivasyon düşüren ve iç motivasyon düşüren unsurlar olarak verilmiştir. Dış motivasyon artıcı unsurlar içinde toplam 63 madde içinde 3. Sırada “İlgili Veli” 10 frekans değeri ile yer alırken, 5. sırada yer alan “Veli Memnuniyeti” 8 frekans değerine, 15. Sırada “Veli Öğretmen İş Birliği” 5 frekans değerine sahiptir. Diğer taraftan motivasyon düşüren nedenler 82 madde ile sunulmuştur. 3. sırada “İlgisiz ve Duyarsız Veli” 8 frekans değeriyle, 6. Sırada “Olumsuz Veli tavrı ve davranışları” 7 frekans değeriyle, 37. Sırada “Öğretmene Karşı Ön Yargılı Veli” frekans değeri 2 ile, 41. Sırada “Velinin abartılı ilgisi” frekans değeri 2 ile, 50. sırada “Yapıcı olmayan veli eleştirisi” 1 frekans değeri ile yer almaktadır. Veli davranış ve yaklaşımları açısından dikkate değer frekans ve sıralama değerleri olduğu görülmektedir.

Araştırmanın sonuç ve öneriler kısmında veli ilgisinin, veli memnuniyet ve takdirinin öğretmen motivasyonları üzerinden olumlu ve olumsuz etkileri olduğu tartışılmıştır.

Mehmet Hilmi Koç (2018) tarafından yapılan “Veli Görüşlerine Göre Veli Öğretmen İlişkisi Ölçeğinin Geliştirilmesi ve Veli Öğretmen İlişkisinin İncelenmesi” adlı çalışmada, velilerin bakış açısı ile öğretmenlere dair değerlendirmeleri görmek mümkün olmaktadır. Öğretmenlerin veliler ile iletişimlerinin değerlendirilmesi ve motivasyonu açısından çalışma değerli katkılar sunmaktadır. Araştırmanın birincil olarak nitel desenden yararlanılmıştır. Araştırmada velilerin

öğretmenlerle olan ilişkileri hakkında detaylı bilgi elde etmek için fenomenoloji deseni kullanılmıştır, böylece veli-öğretmen ilişkilerini velilerin algıları ve deneyimleri ile ortaya koymak amaçlanmıştır. Veri toplama bire bir yüz yüze şeklinde yapılmıştır. Veri analizinde NVIVO 11 nitel veri analizi programından yararlanılmış ve ayrıca iki uzmandan geri bildirim alınmıştır. Velilerin öğretmenler ile olan ilişkilerini çeşitli değişkenler açısından ortaya koyabilmek için nicel desen ile ölçek geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Nitel çalışmalar için 10 veli, nicel çalışmalarda 3569 veli evrensel küme olarak kullanılmıştır. Velilerin eğitim durumları, gelir durumlarına çalışmada yer verilmiştir. Ölçek geliştirme sürecinde elde edilen verileri analiz etmek için SPSS 22 ve AMOS 23 paket programları kullanılmıştır. Velilerin sınıf öğretmenleriyle ilişkilerinin çeşitli değişkenlerle incelenmesi aşamasında elde edilen bulguların değerlendirilmesinde, SPSS 22 programı kullanılmıştır. Veli Bakış Açısıyla Veli Öğretmen İlişkisi Ölçeği alt boyutlarında çalışma durumu, eğitim durumu, gelir durumu ve öğretmenin mesleki deneyimi değişkenlerine bağlı olarak anlamlı farklılık gösterip göstermediği bağımsız gruplar t-testi ve One-Way Anova ile test edilmiştir. Değerlendirmelerde velinin öğretmene yaklaşımı temasına ilişkin alt temalara ve frekans değerlerine yer verilmiştir. Değerlendirme tabloları incelendiğinde öğretmenin-veliye ve velinin-öğretmene karşı tutumları ve tavırlarına ait maddeler bulunmaktadır. Çalışmanın tartışma ve önerilerinde, öğretmen ve velilerin etkili ve pozitif iletişimlerinin, öğretmen ve veli açısından motivasyon katkısı sağladığı anlatılmaktadır.

“Veli Yaklaşımlarının Öğretmen Performansına Etkisi” adlı çalışmasını A. Hatipoğlu ve E. Kavas.(2016) yayınlamışlardır. Araştırmaya katılmayı gönüllü kabul eden 250 ilkökul öğretmenine uygulanan çalışmada, kişisel bilgi formları, veli yaklaşımları ölçeği ve öğretmen performansı ölçeğinden oluşan anket formu kullanılmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında analiz edilmiştir. Veli yaklaşımları ile öğretmen performansı arasındaki ilişkileri belirlemek için Pearson korelasyon analizi, veli yaklaşımlarının öğretmen performansı üzerindeki etkilerini belirlemek için regresyon analizi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda; velilerin olumlu ve bilgilendirici yaklaşımları ile öğretmen performansı arasında istatistiksel açıdan yapılan korelasyon çalışmalarında olumlu yönde ilişki olduğu bulunmuş ve Tablo 6’da çalışmanın detaylarına yer verilmiştir. Yine çalışma içerisinde verilen Tablo 9’da Olumlu ve bilgilendirici yaklaşım, olumsuz ve tenkit edici yaklaşım ile genel öğretmen performansı arasındaki ilişki belirlemek üzere yapılan regresyon analizi istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarında da verildiği üzere, velilerin öğretmenlere karşı olumlu ve bilgilendirici yaklaşım göstermeleri öğretmenlerin motivasyon düzeyine olumlu katkı sağladığı bildirilmiştir.

Izzul Ilham Jamaludin ve Huay Woon You (2019) çalışmasında, eğitimciler üzerinde tükenmişlik konusu araştırılmıştır. Araştırmada özellikle eğitimcilerin tükenmişlik düzeyleri cinsiyet, öğretmenlik deneyimi ve eğitim düzeyine göre incelemeyi amaçlamıştır. Araştırmada toplam denek 31 eğitimci yer almıştır. Tükenmişlik algısı için 3 farklı vektör oluşturulmuştur, 1. vektör duygusal tükenme (EE), 2. vektör duyarsızlaşma (DP) ve 3. vektör düşük kişisel başarı (PA) parametreleri veri toplamak için bir anketlerde kullanılmıştır. Çalışma, eğitimcilerin duygusal olarak tükenmiş olduklarını ve yüksek düzeyde duyarsızlaşma ile düşük kişisel başarı düzeylerini deneyimledikleri sonucuna ulaşmıştır. Öğretmenlerin eğitim durumları ve cinsiyetlerden bağımsız olarak duygusal tükenme

gösterdikleri ortaya çıkmıştır. Özellikle lisans seviyesinde eğitime sahip ve 5 yılında altında tecrübesi olan öğretmenlerin dışsal etkiler olarak, öğrenci ve velilerden olumsuz olarak etkilendikleri görülmektedir. Bu durum ile ilgili değerlendirmeleri “Sonuçlar ve Tartışma” kısmında anlatılmıştır.

Einar M. Skaalvik ve Sidsel Skaalvik. (2011) yayınladıkları çalışmada, öğretmenlerin mesleki motivasyonları ve aidiyet duygusu, duygusal tükenme ve mesleği bırakma durumları araştırılmıştır. Öğretmenleri okul bağlamının tarafından altı yönü ölçülmüştür: değer uyumu, denetim desteği, meslektaşlarla ilişkiler, ebeveynlerle ilişkiler, zaman baskısı ve disiplin sorunları. Araştırmada yer alan katılımcılar, ilkökul ve ortaokullarda görevli olan 2569 Norveçli öğretmenlerden oluşmaktadır. Veriler SEM analizleri ile analiz edilmiştir. Altı okul bağlamı değişkeninin tamamı iş tatmini ve öğretmenlik mesleğinden ayrılma motivasyonu ile ilgilidir. Değerlendirilen ilişkiler öncelikle dolaylı olması, aidiyet duyguları ve duygusal tükenme aracılığıyla aracılık ediyor olması çalışmada yer almaktadır. Daha önce yapılan çalışmada da gibi, öğretmenlerin değer duygusu uyumunun yanı sıra denetim desteği ve meslektaşları ve veliler ile olumlu ilişkileri aidiyetin etkeni iken, zaman baskısı ve disiplin sorunları duygusal tükenmenin etken parametresidir.

Burhanettin Dönmez (2010) ve arkadaşlarının yayınladıkları çalışmada, okul müdürlerinin, öğrenci ve velilere güven duyması sonrasında yaşadıkları tükenmişliği konu edinmiştir. Araştırma Malatya ilinde görev yapan 119 ilkökul müdürün katılımıyla yapılmıştır. Müdür Güven Anketi ve Friedman Müdür Tükenmişlik ölçekleri uygulanmıştır. Çalışmada, öğrenci ve velilerde müdür güveninin önemine ve müdür tükenmişliği ile ilişkisine yeni bir yaklaşım sunduğunu, ancak araştırmanın sınırlılıkları ile değerlendirilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Sonuçlar olarak müdürlerin velilere ve öğrencilere olan güveninin müdür tükenmişliği ile ilişkili olduğu ortaya yapılan değerlendirmelerde ortaya çıkmıştır.

Einar M. Skaalvik ve Sidsel Skaalvik yaptıkları çalışmalarda (2018, 2021) öğretmen tükenmişliğinin araştırıldığı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaların içinde kısmi olarak öğretmen-veli ilişkilerinde motivasyon ve tükenmişlik durumlarına yer vermişlerdir.

## 4. Sonuç

Özellikle velilerin son yıllarda çocuklarının eğitimine katkı sağlamak için ilgi ve alakalarının arttığı, okul-aile iş birliğinin öğrencilerin akademik başarısına katkı sağladığı, ancak velilerin çocukları üzerindeki yüksek beklentilerinin öğretmenler üzerinde baskı oluşturduğu reddedilemez bir gerçektir. Aşırı kontrolcü tutumlar gibi nedenlerle uyumludur. Yapılan araştırmalarda yaş büyük öğretmenlerin velilerle iletişimleri, genç öğretmenlerin velilerle olan iletişimlerine göre daha zayıftır. Genç öğretmenler ise iletişim düzeyleri yüksek olsa bile ebeveynlerle problem çözme becerileri daha düşüktür. Araştırmada lisansüstü eğitim alan öğretmenlerin iletişim becerilerinin ve problem çözme düzeylerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın bulguları dikkate alınarak yapılacak yerel araştırmalar, eğitim öğretimin aileler ve okul ilişkileri açısından veli tutumlarının değerlendirilebileceği çeşitli araştırmalar yapılabilir.

Veli tutumlarının, eğitim öğretim açısından kazanımlar sağlması yadsınamaz bir gerçek olmakla birlikte öğretmenler

üzerinde baskı oluşturduğu bir gerçektir. Gerçekleştirilecek çalışmaların bu alanda farkındalık oluşturacağı açıktır.

## 5. Teşekkür

Hayatı boyunca desteklerini eksik etmeyen anneme, babama, eşim, çocuklarıma çok teşekkür ediyorum. Ayrıca Yüksek Lisans Eğitiminde derslerinde desteklerini eksik etmeyen çok saygı değer hocalarıma teşekkürü de bir borç bilirim.

## Kaynakça

- Einar M. Skaalvik, Sidsel Skaalvik. (2010). Teacher self-efficacy and teacher burnout: A study of relations Teaching and Teacher Education 26, 1059-1069.
- Hacı İsmail ARSLANTAŞ, Rasim TÖSTEN, Dilan BEŞTAŞ MARAKÇI (2018). Lise Öğretmenlerinde Mesleki Motivasyon Unsurları: Karma Yöntemli Bir Çalışma: Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 14(3): 880-895.
- Şükrü ADA, Durdağı AKAN, Ahmet AYIK, İsa YILDIRIM, Sinan YALÇIN, (2013). Öğretmenlerin Motivasyon Etkenleri: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17 (3): 151-166.
- Mehmet Hilmi Koç, (2018). EYFOR-8, Uluslararası Eğitim Yönetimi Formu, Sayı 218.
- Abdullah Hatipoğlu, Erkan Kavas (2016). Veli Yaklaşımlarının Öğretmen Performansına Etkisi, İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 4, Sayfa: 1012-1034.
- Izzul Ilham Jamaludin, Huay Woon You (2019). Burnout in relation to Gender, Teaching Experience, and Educational Level among Educators: Hindawi Education Research International, Volume, Article ID 7349135, 5 pages.
- Einar M. Skaalvik, Sidsel Skaalvik, (2011). Teacher job satisfaction and motivation to leave the teaching profession: Relations with school context, feeling of belonging, and emotional exhaustion: Teaching and Teacher Education 27 1029-1038.
- Burhanettin Dönmez, Niyazi Özer ve Melike Cömert (2010). Principal trust in students and parents: its relationship with principal burnout: Procedia Social and Behavioral Sciences 2, 547-550.
- Einar M. Skaalvik, Sidsel, (2018). Skaalvik “Job demands and job resources as predictors of teacher motivation and well-being: Social Psychology of Education 21:1251-1275.
- Einar M. Skaalvik, Sidsel Skaalvik. (2021). Teacher burnout: relations between dimensions of burnout, perceived school context, job satisfaction and motivation for teaching. A longitudinal study: Teachers and Teaching theory and practice, Published online: 27 Apr.



## Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna Design

Recep Baş<sup>1\*</sup>, Ahmet Kızılay<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University University, Faculty of Electric and Electronics, Department of Communication and Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8980-4416), [recepbas.iu@gmail.com](mailto:recepbas.iu@gmail.com)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University University, Faculty of Electric and Electronics, Department of Communication and Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4099-8288), [akizilay@yildiz.edu.tr](mailto:akizilay@yildiz.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084442)

**ATIF/REFERENCE:** Baş, R., Kızılay, A., (2022). Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna Design. *European Journal of Science and Technology*, (34), 724-728.

### Abstract

In recent years, studies about miniaturization of wideband antennas had become popular with rapid development of antenna design technologies. Vivaldi antenna is one of these antennas which can be used in different areas such as microwave imaging, antenna arrays, ground penetrating radar applications. In this paper it is intended to approach with a novel method to reduce dimensions of Vivaldi Antennas because of its advantages such as simple configuration, wide bandwidth characteristics, low profile and low cost at fabrication process. Unlike traditional forms of Vivaldi Antennas it is used asymmetrical curves in this study. These curves have a different exponential coefficient to make the antenna have an asymmetrical shape. In this study the simulation results of the designed structure and a Coplanar Vivaldi Antenna were compared and the designed antenna showed similar characteristics. To verify the results a prototype of the Asymmetrical Vivaldi Antenna was fabricated on FR4 substrate with 4.6 dielectric constant. Measurement results illustrated that return loss of the designed antenna is below -10dB between 0.177GHz and 2.74GHz frequencies and the antenna have 93% fractional bandwidth. The measurement results match simulation results. Wideband frequency range, simple configuration and reduced dimensions make the designed antenna a good candidate for wideband antenna applications in future.

**Keywords:** Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna, Wideband Antenna, Tapered Slot Antenna, UWB, Miniaturization.

## Asimetrik Eşdüzlemsel Vivaldi Anten Tasarımı

Son yıllarda anten tasarım teknolojilerinin hızla gelişmesiyle geniş bant antenlerin minyatürleştirilmesi çalışmaları popülerlik kazanmıştır. Bu tür antenlerden biri olan Vivaldi Antenler mikrodalga görüntüleme, anten dizileri, yere nüfuz eden radar uygulamaları gibi alanlarda kullanılabilir. Bu yazıda; basit konfigürasyon, yüksek bant genişliği özellikleri, düşük profil ve üretim sürecinde düşük maliyet gibi avantajları nedeniyle Vivaldi Antenlere boyutları küçültmek için yeni bir yöntemle yaklaşım amaçlanmıştır. Bu çalışmada Geleneksel Vivaldi Anten türlerinin aksine asimetrik eğriler kullanılmıştır. Bu eğrilerde antenin asimetrik şeklini sağlamak için farklı exponansiyel katsayılar vardır. Çalışmada tasarlanan yapı ile Eşdüzlemsel Vivaldi Antenin simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve tasarlanan anten benzer sonuçlar göstermiştir. Sonuçları doğrulamak için Asimetrik Vivaldi Antenin bir prototipi 4.6 dielektrik sabiti olan bir FR4 taban malzemesi üzerine üretilmiştir. Ölçüm sonuçları tasarlanan antenin 0.177GHz ve 2.74GHz frekansları arasında geri dönüş kaybının -10dB'in altında olduğunu göstermektedir ve anten %93 bant genişliğine sahiptir. Geniş frekans aralığı, basit konfigürasyon ve azaltılmış boyutlar tasarlanan anteni gelecekte genişbant anten çalışmaları için iyi bir aday yapmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Asimetrik Eşdüzlemsel Vivaldi Antenna, Genişbant Anten, Açıklığı Daralan Anten, Ultra Geniş Bant, Minyatürleştirme.

\* Corresponding Author: [recepbas.iu@gmail.com](mailto:recepbas.iu@gmail.com)



# 1. Introduction

In recent years, studies miniaturization of wideband antennas had become popular with rapid development of antenna design technologies. Researchers paid a great attention studies about miniaturization of antennas(Pan et al, 2021; Hu et al, 2019; Geng et al, 2017; Liu et al, 2016 ). Vivaldi antennas seems to be most appropriate candidate for these studies because of its simple configuration, wide bandwidth characteristics, low profile and low cost(Du et al, 2019).

Vivaldi antenna was first introduced in 1979 by Gibson(Gibson,P.J., 1979). The Vivaldi antenna, also known as tapered slot antenna (TSA). This antenna has an exponential aperture in order to provide a large operating bandwidth. Vivaldi Antennas can be used in different areas such as microwave imaging, antenna arrays, ground penetrating radar applications etc(Yue et al, 2016; Reid et al, 2012; Warathe et al, 2019).

# 2. Material and Method

## 2.1. Coplanar Vivaldi Antenna Design

This paper aims to provide a new approach on Vivaldi Antennas to reduce dimensions. In this study, it is focused on Coplanar Vivaldi Antennas.

Dielectric substrate that has chosen for this study is FR-4 because of its cost-effective feature(Tahar et al, 2018). Dielectric constant of the substrate is 4. 6 and loss tangent is 0.016. Height of the substrate h is 1.6 mm, thickness of patch copper at bottom and top sides t is 0.035 mm.

Mathematical equations of a traditional Coplanar Vivaldi Antenna can be shown as below:

$$y(x) = \pm Ae^{Rx} \tag{1}$$

Equation (1) shows the function of exponential curves on the Vivaldi antenna. Here R parameter shows opening rate and A is a constant. The evolution of A and R parameter are given at equation (2) and (3).

$$A = \frac{S}{2} \tag{2}$$

$$R = \frac{1}{La} \ln\left(\frac{Wa}{S}\right) \tag{3}$$

Length of two exponential curves is denoted by La and opening width between two exponential curve endings is denoted by Wa. The parameter S shows throat width at the origin.

$$Wa = \frac{c}{2\sqrt{Er}(fl)} \tag{4}$$

$$S = \frac{c}{2\sqrt{Er}(fh)} \tag{5}$$

In order to calculate parameters Wa and S, equations (4) and (5) are used. In equation (4) and (5) c is the velocity of light and Er is the dielectric constant of the substrate. Parameter fl shows lower operating frequency and parameter fh shows higher operating frequency of the antenna. These are parameters that used in designing of Coplanar Vivaldi Antenna(Thalluri et al, 2020).

Table 1. Dimensions of Coplanar Vivaldi Antenna

Parameter	Dimension	Parameter	Dimension
W	750 mm	BL	10 mm
L	500 mm	Wa	405.64 mm
Rs	25 mm	wm1	3 mm
Rc	18 mm	wm2	2.5 mm
S	1.5 mm	$\theta$	90°

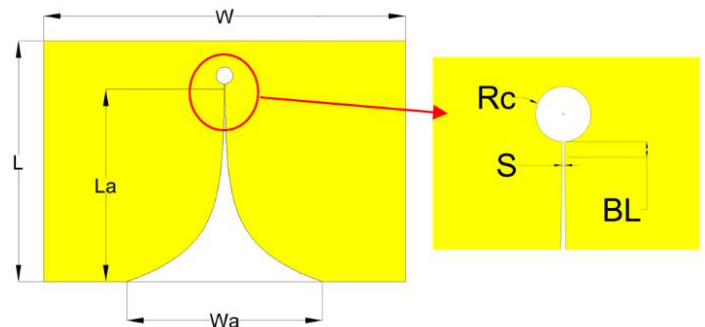


Fig 1. Bottom view of Coplanar Vivaldi Antenna

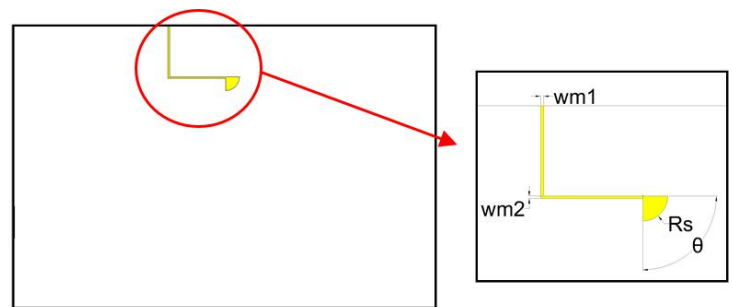


Fig 2. Top view of Coplanar Vivaldi Antenna

Configuration of the Coplanar Vivaldi Antenna dimensions are given in Table 1. Bottom and top view of the antenna are illustrated in Fig.1 and Fig.2. The antenna fed by a microstrip line with 50Ω characteristic impedance.

## 2.2. Coplanar Vivaldi Antenna Design

Traditional Coplanar Vivaldi Antenna requires larger volume due to the relation between lower frequency and opening width of two exponential curve endings. In this study it is aimed to reduce dimensions of the Vivaldi Antenna in order to integrate this antenna to the new systems. Also reducing the dimensions will be useful for antenna arrays.

By using equation (6) and (7) exponential curves become asymmetrical if different values are chosen for parameter P and R. These two exponential curves provide a new parameter for optimization. Fig. 3 shows change of exponential curves with parameter. Fig. 4 and Fig. 5 illustrates the bottom and top view of the Asymmetrical Coplanar Antenna. The dimensions of final setup are shown in Table II.

$$y1(x) = Ae^{Px} \tag{6}$$

$$y2(x) = Ae^{Rx} \tag{7}$$

Table 2. Dimensions of Asymmetrical Vivaldi Antenna

Parameter	Dimensions	Parameter	Dimensions
W	447 mm	$\Theta$	94.6 °
L	283 mm	wm1	3 mm
Rs	23.3 mm	wm2	2.4 mm
Rc	13.9 mm	W1	187.56 mm
BL	38.42 mm	L1	262.02 mm
S	1.54 mm		

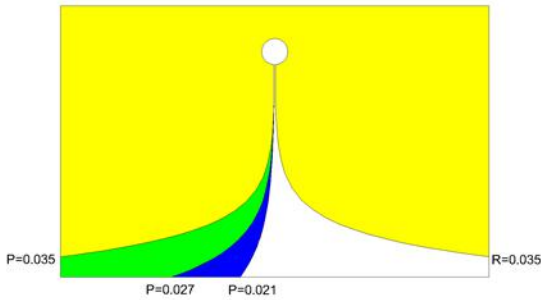


Fig 3. View of Asymmetrical Curves

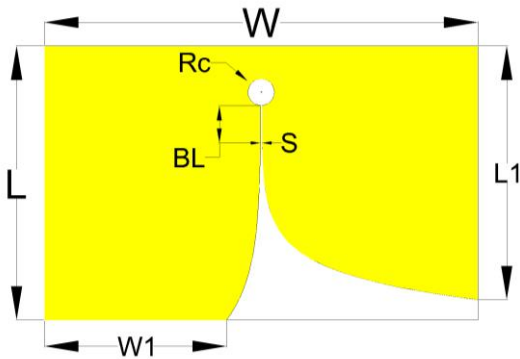


Fig 4. Bottom view of Asymmetrical Vivaldi Antenna

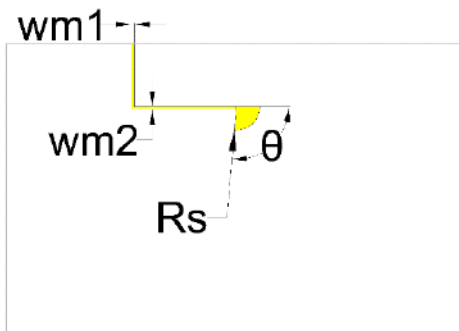


Fig 5. Top view of Asymmetrical Vivaldi Antenna

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Return Loss, Gain and Radiation Pattern

Traditional Coplanar Vivaldi Antenna and Asymmetrical Vivaldi Antenna were simulated in CST Studio Software. Fig. 6. shows change of return loss of the Asymmetrical Vivaldi Antenna according to parameter P. Fig. 7. illustrates the comparison of return loss.

Return loss(S11) of the proposed antenna is below -10dB between 0.18 GHz and 2.71GHz. And return loss of traditional Coplanar Vivaldi Antenna is smaller than -10dB between 0.18GHz and 2.86GHz.

Gain characteristics of two antennas are shown in Fig. 8. The gain values of the proposed antenna are near to the values of traditional Coplanar Vivaldi Antenna.

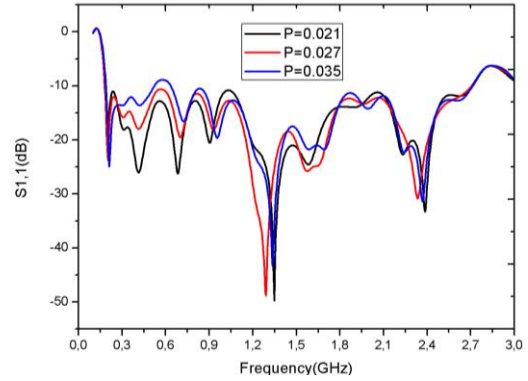


Fig 6. Return Loss(S1,1) for different values of P

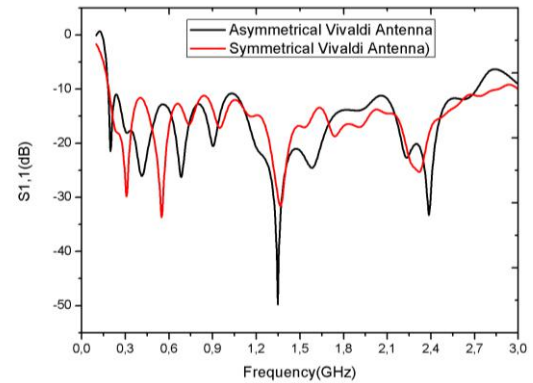


Fig 7. Return Loss(S1,1) of two antennas

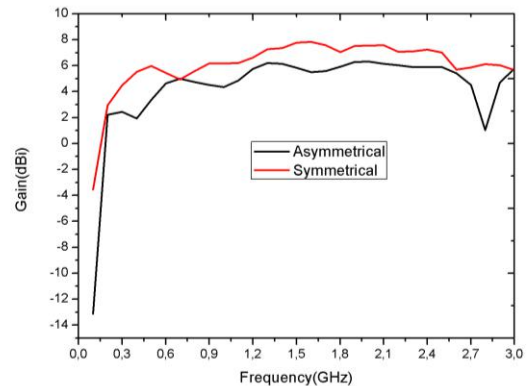


Fig 8. Gain(dBi) of two antennas

Radiation pattern of two antennas for different frequencies is presented in Fig. 9. It is clear that asymmetrical curves shift radiation pattern of the proposed antenna. Even though the gain decreases in the proposed antenna general characteristics are near to the values of traditional Coplanar Vivaldi Antenna. Asymmetrical Vivaldi Antenna has different characteristics in different frequencies because of the exponential curves. Normally increasing opening rate of exponential curves provides a larger bandwidth for traditional Vivaldi Antennas. The proposed antenna have two different opening rates for upper and bottom curves. That's why this structure changes directivity of the antenna and provides a better bandwidth.

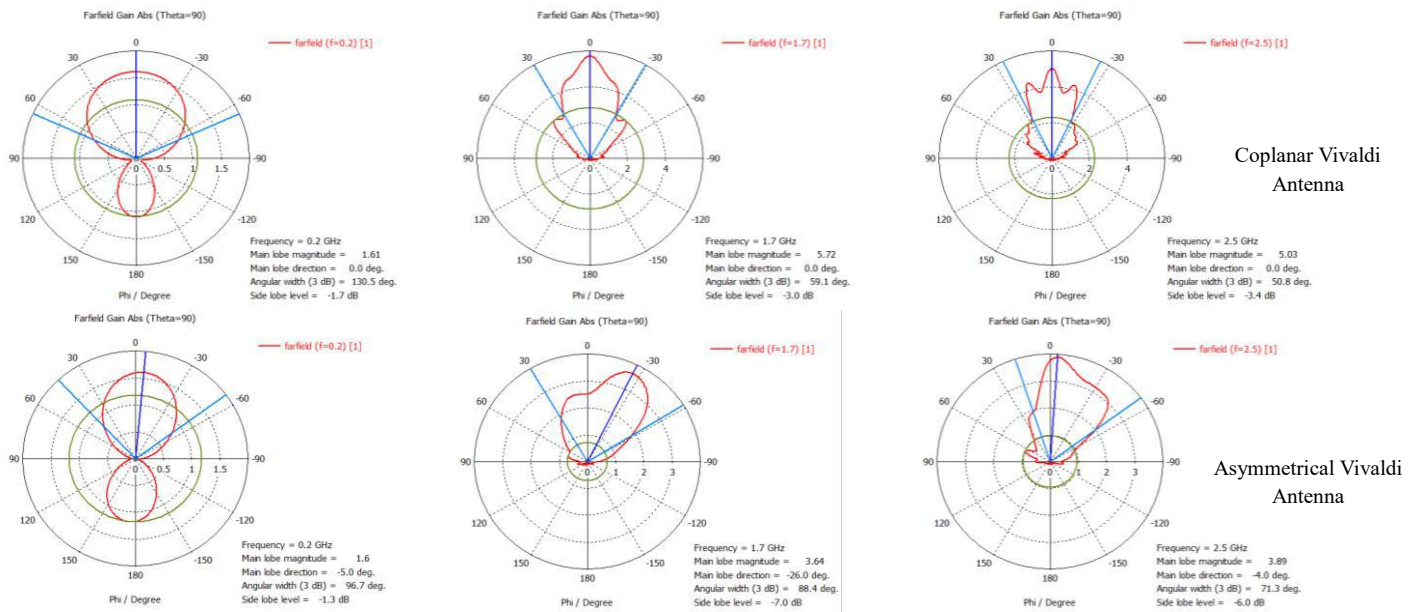


Fig 9. Radiation pattern of two antennas

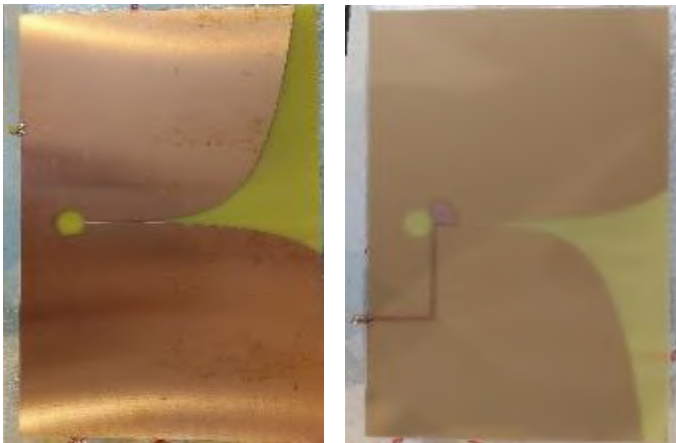


Fig 100. Bottom and Top View of Fabricated Antenna

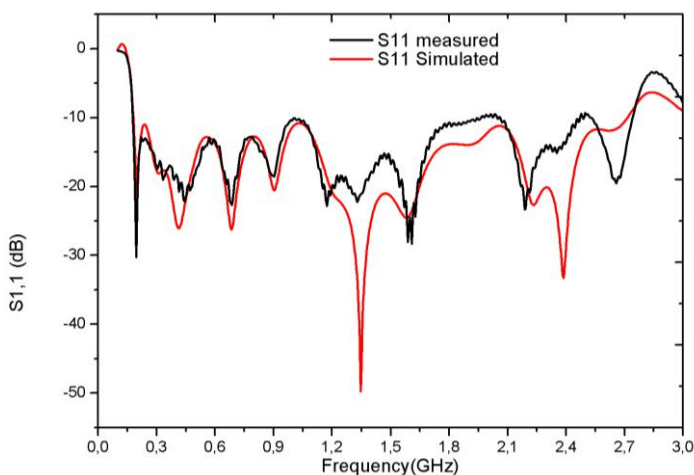


Fig 11. Return Loss(S1,1) of Fabricated Antenna

### 3.2. Fabrication and Measurement

To validate the performance of the Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna, a prototype of this antenna was fabricated in dimension given in Table 2. Bottom and top view of the fabricated antenna are shown in Fig. 10.

SMA connector was soldered to provide excitation to the antenna and then the antenna was tested using MS4646A Vector Network Analyzer (VNA). Antenna placed 3m distance from VNA. The comparison results are shown in Fig. 11.

In this study it is seen that asymmetrical exponentials provided 33% smaller area for this frequency range when compared with traditional Coplanar Vivaldi antenna. The designed antenna also provides a size and cost effective structure when compared antennas that work in similar frequencies, in literature given at Table 3.

As an example, the antenna at paper (Elsheakh & Abdallah, 2019) has a less electrical size but less bandwidth when compared with the antenna at this study. Even though both antennas have substrate materials with similar dielectric coefficients, the antenna at this study is in advantageous position in terms of bandwidth. Also the designed antenna has an advantage in terms of electrical size and bandwidth against the antenna at paper (Huang et al., 2021).

At paper (Honari et al., 2021), using low dielectric coefficient substrate and large electrical size have made the bandwidth larger than the antenna at this study. Considering that the bandwidth decreases as the dielectric coefficient increases, it can be interpreted that the antenna in this study will be more advantageous in terms of bandwidth when produced with materials with the same dielectric coefficient of the antenna at paper (Honari et al., 2021).

## 4. Conclusions and Recommendations

In this paper it is shown a new approach for Vivaldi Antenna designs. Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna can work between 0.177GHz and 2.74GHz frequencies according to measurement results. It is quite similar with simulation results. Deviation on return loss of the fabricated antenna are because of non-ideal material characteristics and noise.

It is clear that using asymmetrical curves for Vivaldi Antenna designs can help us to miniaturize antennas. Moreover a reduced antenna size might be an attractive research area for future studies of Vivaldi Antennas.

Table 3. Comparison of Vivaldi Antennas

Reference	Dielectric constant	Antenna Size (L x W x h)	Operating Frequency (GHz)	Bandwidth (%)
(Honari et al., 2021)	2.55	$0.3 \lambda \times 0.38 \lambda$	0.72 – 17	183,74
(Huang et al., 2021)	4.4	$0.68 \lambda \times 0.59 \lambda$	0.8 - 6	152,94
(Cheng et al., 2020)	4.3	$0.7 \lambda \times 0.65 \lambda$	0.7 - 2.1	100
(J. Guo, et al., 2019)	3.38	$0.6 \lambda \times 0.45 \lambda$	0.3 - 2	147,82
(M. Guo, et al., 2019)	3.38	$0.76 \lambda \times 0.481 \lambda$	0.95 - 11	91,36
(Elsheakh & Abdallah, 2019)	4.4	$0.17 \lambda \times 0.16 \lambda$	0.4 - 10	96
This study	4.6	$0.16 \lambda \times 0.26 \lambda$	0.177-2.74	93

Note:  $\lambda$  represent wavelength at min. working frequency.

## 5. Acknowledge

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey" (TUBITAK) under Project Number 119N196.

## References

- Cheng, H., Yang, H., Li, Y., & Chen, Y. (2020). A Compact Vivaldi Antenna With Artificial Material Lens and Sidelobe Suppressor for GPR Applications. *IEEE Access*, 8, 64056-64063. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2984010>
- Du, J., Zhang, Q., Rasahid, A., & Fen, X. (2019). A Uniplanar Vivaldi Antenna. 2019 International Conference On Microwave And Millimeter Wave Technology (ICMMT). <https://doi.org/10.1109/icmmt45702.2019.8992376>
- Elsheakh, D., & Abdallah, E. (2019). Compact ultra-wideband Vivaldi antenna for ground-penetrating radar detection applications. *Microwave And Optical Technology Letters*, 61(5), 1268-1277. <https://doi.org/10.1002/mop.31724>
- Geng, D., Yang, D., Xiao, H., Chen, Y., & Pan, J. (2017). A Novel Miniaturized Vivaldi Antenna for Ultra-wideband Applications. *Progress In Electromagnetics Research C*, 77, 123-131. <https://doi.org/10.2528/pierc17071605>
- Gibson, P. J. (1979). The Vivaldi Aerial. In 1979 9th European Microwave Conference. IEEE. <https://doi.org/10.1109/euma.1979.332681>
- Guo, M., Qian, R., Zhang, Q., Guo, L., Yang, Z., Xu, Z., & Wang, Z. (2019). High gain antipodal Vivaldi antenna with metamaterial covers. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 13(15), 2654-2660. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2019.0449>
- Guo, J., Tong, J., Zhao, Q., Jiao, J., Huo, J., & Ma, C. (2019). An Ultrawide Band Antipodal Vivaldi Antenna for Airborne GPR Application. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, 16(10), 1560-1564. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2019.2905013>
- Honari, M., Ghaffarian, M., & Mirzavand, R. (2021). Miniaturized Antipodal Vivaldi Antenna with Improved Bandwidth Using Exponential Strip Arms. *Electronics*, 10(1), 83. <https://doi.org/10.3390/electronics10010083>
- Hu, Z., Zeng, Z., Wang, K., Feng, W., Zhang, J., Lu, Q., & Kang, X. (2019). Design and Analysis of a UWB MIMO Radar System with Miniaturized Vivaldi Antenna for Through-Wall Imaging. *Remote Sensing*, 11(16), 1867. <https://doi.org/10.3390/rs11161867>
- Huang, X., Cao, J., Zhong, W., & Jin, X. (2021). High gain antipodal Vivaldi antenna with novel V-shaped air-slot. *International Journal Of RF And Microwave Computer-Aided Engineering*, 31(11). <https://doi.org/10.1002/mmce.22818>
- Liu, Y., Zhou, W., Yang, S., Li, W., Li, P., & Yang, S. (2016). A Novel Miniaturized Vivaldi Antenna Using Tapered Slot Edge With Resonant Cavity Structure for Ultrawideband Applications. *IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters*, 15, 1881-1884. <https://doi.org/10.1109/lawp.2016.2542269>
- Pan, S., Shen, W., Feng, Y., Liu, Z., Xiao, P., & Li, G. (2021). Miniaturization and performance enhancement of Vivaldi antenna based on ultra-wideband metasurface lens. *AEU - International Journal Of Electronics And Communications*, 134, 153703. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2021.153703>
- Reid, E., Ortiz-Balbuena, L., Ghadiri, A., & Moez, K. (2012). A 324-Element Vivaldi Antenna Array for Radio Astronomy Instrumentation. *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, 61(1), 241-250. <https://doi.org/10.1109/tim.2011.2159414>
- Tahar, Z., Derobert, X., & Benslama, M. (2018). An Ultra-Wideband Modified Vivaldi Antenna Applied to Through the Ground and Wall Imaging. *Progress In Electromagnetics Research C*, 86, 111-122. <https://doi.org/10.2528/pierc18051502>
- Thalluri, L. N., Nallapu, A. R., Konda, R., deep, S. S., & Harsha, K. N. (2020). Design and Performance Analysis of Vivaldi Antenna for Medical Applications. In 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSPP). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iccsp48568.2020.9182320>
- Warathe, S., Tanti, R. K., & Anvesh Kumar, N. (2019). Compact Vivaldi Antenna Design at 500MHz for GPR Applications. In 2019 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP). IEEE. <https://doi.org/10.1109/incap47789.2019.9134522>
- Yue, Y., Dong, Y., & Zhou, J. (2016). An ultra-wideband vivaldi antenna array in L and S bands. In 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP). IEEE. <https://doi.org/10.1109/apcap.2016.7843213>



# Ti-6Al-4V Alaşımının Şekillendirilmesi İçin Kalıp Malzemesi Seçimi

Kerim Mert Yüksel<sup>1\*</sup>, Ayşegül Akdoğan Eker<sup>1</sup>, Ali Avcı<sup>2</sup>, Bedri Onur Küçükyıldırım<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0003-4823-1265), [mertkerim07@hotmail.com](mailto:mertkerim07@hotmail.com)

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0003-0212-9230), [akdogan@yildiz.edu.tr](mailto:akdogan@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup> Hakkâri Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakkâri-Türkiye (ORCID: 0000-0003-3901-6248), [aliavci05@gmail.com](mailto:aliavci05@gmail.com)

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0002-0399-5467), [kucukyil@gmail.com](mailto:kucukyil@gmail.com)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084829)

**ATIF/REFERENCE:** Yüksel K, M., Akdoğan Eker A., Avcı A. & Küçükyıldırım B. O. (2022). Ti-6Al-4V Alaşımının Şekillendirilmesi İçin Kalıp Malzemesi Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 729-732.

## Öz

Titanyum ve alaşımları yüksek mukavemet değerleri, iyi korozyon dayanımları ve hafif olmaları gibi özellikleri nedeniyle havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum alaşımlarının şekillendirilmesinde geri yaylanma etkisi görüldüğü için daha çok sıcak şekillendirme yöntemi tercih edilmektedir. Çalışmanın amacı, 1.2 mm'lik Ti-6Al-4V titanyum sacın sıcak şekillendirilmesinde en uygun kalıp malzemesinin belirlenebilmesidir. Bu amaçla, 3 farklı paslanmaz çelik ve 2 farklı sıcak iş takım çeliğinden küçük ebatlı 5 derin çekme kalıbı üretilmiştir. Üretilen kalıpların sertlik değerleri, yüzey pürüzlülükleri ve ağırlık kayıpları sıcak şekillendirme öncesinde ve sonrasında irdelenerek en uygun malzemenin seçimi yapılmıştır.

Çalışmada, her bir kalıpta 3 farklı Ti-6Al-4V sac 700 °C sıcaklıkta derin çekme yöntemi ile şekillendirilmiştir. Saclar, her çevrim sırasıyla 5 saat ve 10 saat olmak üzere toplamda 45 saatlik 3 çevrime tabii tutulmuştur. Her çevrim sonunda kalıpların sertlikleri, yüzey pürüzlülük değerleri, ağırlık kayıpları incelenmiştir. İncelemeler sırasında paslanmaz çeliklerin performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Sıcak iş takım çeliklerinin sertliklerinde ve ağırlıklarında ciddi düşüşler gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ti-6Al-4V, Sıcak iş takım çeliği, Titanyumun şekillendirilmesi

## Material Selection in Hot Forming Tools of Ti-6Al-4V

### Abstract

Titanium and titanium alloys are widely used in the aviation industry due to their high strength values, good corrosion resistance and light weight. Since the springback effect is observed in the shaping of titanium alloys, the hot forming method is mostly preferred. The aim of the study is to determine the most suitable mold material for hot forming of 1,2 mm Ti-6Al-4V titanium sheet. To this purpose, 5 small sized deep drawing tools were produced from 3 different stainless steels and 2 different hot work tool steels. The hardness values, surface roughness and weight losses of the produced tools were examined before and after hot forming, and the most suitable material was selected.

In the study, 3 different Ti-6Al-4V sheets were shaped by deep drawing method at 700 °C in each tool. The sheets were exposed to 3 cycles of 45 hours in total, each cycle being 5 hours and 10 hours, respectively. At the end of each cycle, the hardness, surface roughness values and weight losses of the tools were examined. During the investigations, it was determined that the performance of stainless steels was better. Serious decreases were observed in the hardness and weight of the hot work tool steels.

**Keywords:** Ti-6Al-4V, Hot work tool steel, Hot forming of titanium

\* Sorumlu Yazar: [mertkerim07@hotmail.com](mailto:mertkerim07@hotmail.com)

## 1. Giriş

Günümüzde mühendislik alanında sürekli yeni gelişmeler yaşanmaktadır. Değişen teknolojinin de etkisiyle hep daha iyiye ve ileriye gitme çabası içine girilmiştir. Yaygın olarak kullanılan malzemeler ve çelikler yeni teknolojik koşullar karşısında zayıf kalabilmektedirler. Titanyum hem yüksek mukavemet/yoğunluk oranıyla hem mükemmel korozyon direnci ile hem de yüksek ergime sıcaklığı ile yeni nesil endüstriyel ürünlerde oldukça tercih edilmektedir. Bu kadar özellik yanında hafif olmaları da avantaj sağlamaktadır. Titanyumun şekillendirilmesinde kullanılacak en uygun yöntem süper plastik şekillendirme yöntemidir. Proses sıcaklığı, Ti-6Al-4V alaşımları için 870 ila 925°C aralığında olduğundan şekillendirilecek parçanın oksitlenmemesi için koruyucu gaz kullanımı gerekmektedir. Vakumlu bir ortamda uygulanabilir olduğundan zahmetli bir işlemdir (Boyer vd., 1994).

Geniş literatür taraması yapılarak kalıp malzemesi olarak kullanılacak malzemelerin özellikleri ve kullanım kısıtları incelenmiştir. Akdoğan Eker ve arkadaşlarının (Akdoğan Eker vd., 2020) yaptığı çalışmada, kalıp malzemesi olarak sıcak iş takım çelikleri ve paslanmaz çelikler seçilmiştir. Reinhard R. ve Ingolf S'nin (Rahn vd., 2015) yaptıkları çalışmada ise kalıp malzemesi olarak DIN 2344 ve DIN 2367 çelikleri seçilmiştir. Joseph D. ve arkadaşlarının (Joseph vd., 2006) yaptıkları çalışmada sıcak şekillendirme için DIN 2344 ve DIN 2343, süper plastik şekillendirme için ise paslanmaz çeliklerin tercih edildiği görülmüştür. Çalışmamızda, Ti-6Al-4V sacın 700°C'de sıcak şekillendirilmesinde kullanılacak en uygun kalıp malzemesi seçimi için 5 farklı malzemeden üretilmiş kalıplar incelenmiştir. Çalışmamızda sıcak şekillendirme yöntemi üzerinde çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme Seçimi

Yapılan literatür taramasına göre yüksek sıcaklıklarda sıcak şekillendirme için sıcak iş takım çelikleri, paslanmaz çelikler ve seramik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Jiang vd., 2009). Seramik kalıpların seri imalatta kullanımı pek mümkün olmadığından fazla tercih edilmemektedir (Staiano vd., 2017). Paslanmaz çelikler, normal çeliğe oranla içinde bulundurduğu Ni ve Cr sayesinde oldukça iyi korozyon direnci gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda bile gevrekleşmeden tokluklarını koruyabilirler (Gao vd., 2005). En önemlisi de uzun ömürlü ve ekonomiktirler. Sıcak iş takım çelikleri ise çok yüksek sıcaklıklarda kararlı kalabilen malzemelerdir. Aşınma dirençleri ve toklukları oldukça iyidir. Ti-6Al-4V sacın şekillendirme koşulları göz önünde bulundurulduğunda sıcak iş takım çeliği ve paslanmaz çeliğin kalıp malzemesi olarak kullanımı uygun gibi görülmektedir. Kalıp malzemesi olarak paslanmaz çeliklerden AISI 310 / AISI 304 / AISI 316 çelikleri seçilmiştir. Sıcak iş takım çeliklerinden ise DIN 2344 ve DIN 2367 çelikleri tercih edilmiştir. Kalıp malzemelerinin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Üretilen kalıpların imalat sonrası genel görünimleri Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kalıp malzemelerinin kimyasal bileşimleri

Malzeme	% C	% Cr	% Mo	% V	% Si	% Mn	% P	% Ni
DIN 2367	0,35-0,4	4,8-5,2	2,7- 3,2	0,4-0,6	0,3-0,50	0,3- 0,5	0,025	X
DIN 2344	0,35-0,42	4,8-5,5	1,2- 1,5	0,85-1,15	0,8-1,2	0,25-0,5	0,025	X
AISI 304	0,05-0,08	18- 20	X	X	0,75	2	0,045	8-10
AISI 316	0,05-0,08	16- 18	2-3	X	0,75	2	0,045	10-14
AISI 310	0,25	24- 26	X	X	1,5	2	0,045	19- 22



Şekil 1. AISI 310 kalıbı

### 2.2. Termal Çevrim ve Korozyon

Çalışmamızda yapılan denemeler sonucunda 700°C'nin 1,2 mm'lik sacı şekillendirmek için yeterli bir sıcaklık olduğunu gördük. Her kalıpta üç farklı sac, 700°C sıcaklıkta şekillendirilmiştir. Şekillendirme işleminden önce, sac ve kalıba 700°C'de ön ısıtma işlemi yapılmıştır. Ön ısıtma işleminden sonra sac, hidrolik preste şekillendirilmiştir. Her sac sırasıyla 5 saat ve 10 saat olacak şekilde 1 adet çevrime tabii tutulmuştur. Kalıplar toplamda 45 saatlik 3 adet çevrimi tamamlamıştır.

Her çevrim sonrasında kalıptaki korozyon miktarını saptamak için ağırlık kaybı ölçümleri yapılmıştır. Kalıplar yüksek sıcaklık fırınında, belirlenen sürelerde bekletildikten sonra dış ortamda soğumaya bırakılmıştır. Kalıplar %20'lik fosforik asit çözeltisi içine daldırılarak kimyasal temizleme işlemi yapılmış, ilk ve son durumda, kalıpların ağırlık kayıpları hassas terazide ölçülerek korozyon dereceleri belirlenmiştir.

### 2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Kalıpların yüzey pürüzlülüğü, üst ve alt kalıbın belirlenen bölgelerinden, örnekleme değerler Mitutoyo SJ-410 marka cihazla ölçülmüştür. Ölçümler, ortalama pürüzlülük değeri ( $R_a$ ) cinsinden değerlendirmeye alınmıştır.

## 2.4. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri Vickers cinsinden değerlendirmeye alınmıştır. Ölçümler, üst kalıp üzerinden belirlenen 12 noktadan alınmıştır.

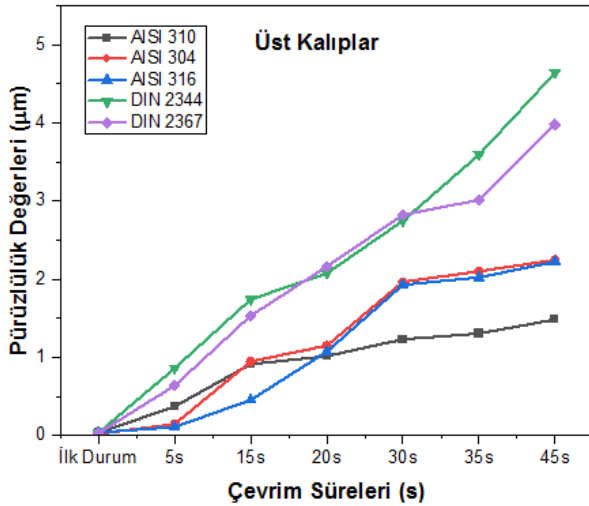
## 2.5. X-Ray Analizi

Çevrim sonrasında kalıplarda ısıl ve mekanik yorulmalar nedeniyle oluşabilecek çatlakları kontrol etmek için Nordson Quadra 3 X-Ray cihazında röntgen çekilmiştir. İnceleme üst ve alt kalıp özelinde her kalıp için ayrı ayrı yapılmıştır.

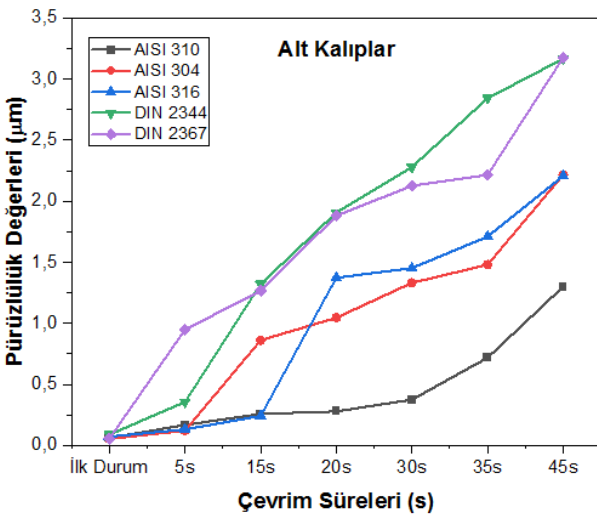
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Yüzey Özellikleri

Yüzey özelliklerini pürüzlülük ölçüm yöntemiyle incelemiştir. Termal çevrimler sonrasında kalıplar üzerinde oluşacak oksidasyon katmanları ve mekanik aşınmalar yüzey pürüzlülük değerlerini doğrudan etkileyecektir. Kalıplar üst ve alt olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 2. ve Şekil 3.'te sırasıyla alt ve üst kalıpların 6 farklı çevrim sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 45 Saatlik çevrim boyunca üst kalıpların ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

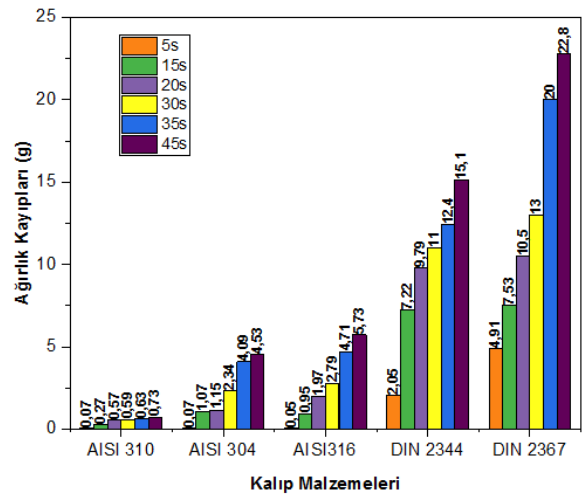


Şekil 3. 45 Saatlik çevrim boyunca alt kalıpların ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde alt ve üst kalıpların değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Grafikler incelendiğinde sıcak iş takım çeliğinden yapılan kalıpların pürüzlülük değerlerinin oldukça arttığı gözlemlendi. AISI 304 ve AISI 316 çeliklerinden imal edilen kalıpların pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın ve sıcak iş takım çeliklerine göre çok daha iyi bir performans sergiledi. AISI 310 paslanmaz çelik kalıp pürüzlülük performansı ise diğerlerine göre oldukça önde görünüyordu.

### 3.2. Korozyon Dayanımı

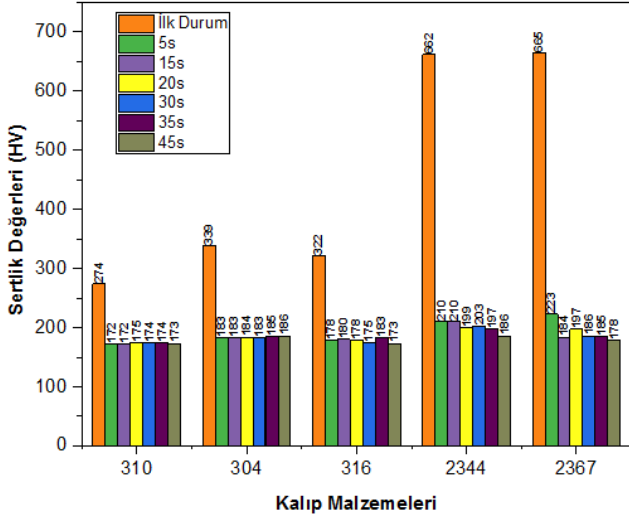
Her çevrim sonrasında kalıplarda meydana gelecek ağırlık kayıplarını inceleyerek, korozyon dayanımı hakkında bilgi edinebiliriz. Kalıpların çevrimlerden önceki ve sonraki ağırlıkları kayıt altına alınarak korozyon seviyeleri belirlendi. Şekil 4'te çevrimler sonrasında kalıpların ağırlık kayıplarını görebilirsiniz.



Şekil 4. Her ısıl çevrim sonrası kalıplarda meydana gelen ağırlık kayıpları

Şekil 4'teki Grafikten de anlaşılacağı gibi en fazla ağırlık kaybı sıcak iş takım çeliklerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca kalıpların maruz kaldığı ısı çevrimi arttıkça ağırlık kaybının ve korozyon derecesinin kademeli olarak arttığı hesaplanmıştır. AISI 310 paslanmaz çeliği en yüksek korozyon direncini gösterirken DIN 2367 sıcak iş takım çeliği en düşük korozyon direncini göstermiştir.

Şekil 5. üst kalıplardan örnekleme ile alınan Vickers sertlik ölçüm değerlerini göstermektedir. Özellikle, sıcak iş takım çeliklerinde ciddi bir sertlik düşüşü yaşanmıştır. Sıcak iş takım çelikleri genelde 400-650°C sıcaklık aralığında kullanılmaktadır. 600°C'den sonra kalıp malzemesi aşırı derecede ısınarak sertliğini kaybeder (Deshpande vd., 2011). Sertlik arttığında, çelikteki homojen olmayan krom dağılımı nedeniyle korozyona bağlı çatlak riski artar (Rahn vd., 2010). Çalışmamız 700°C'de yapıldığından sertlik değerlerinde düşüş olması beklenmektedir.

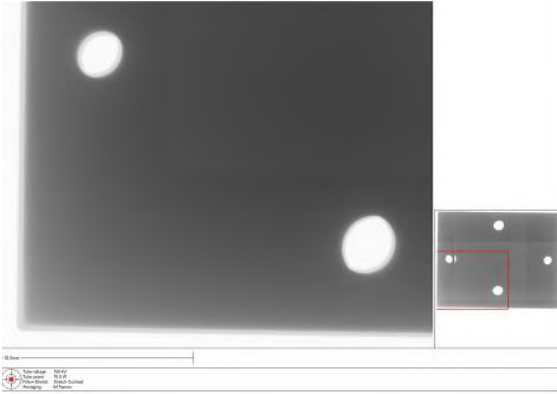


Şekil 5. Her ısıl çevrim sonrası kalıplardaki sertlik ölçüm değerleri

Şekil 5'teki grafiğe göre seçilen tüm çeliklerin çevrim sonunda birbirine yakın sertlik değerleri gösterdiği görülmektedir. İlk durum ve son durumda stabilitesini koruyan en iyi çeliğin AISI 310 olduğu görülmektedir.

### 3.3. X-Ray Analizleri

45 Saat süren çevrimler sonucunda, kalıplarda oluşabilecek mikro çatlakların tespiti röntgen yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Her kalıp her çevrim sonrasında üst ve alt kalıp ayrı olacak şekilde X-Ray'de taratılmıştır. Şekil 6'da AISI 310 kalıbının X-Ray cihazında kontrol edildiği sırada çekilen fotoğrafı görülmektedir. Çevrimler sonucunda kalıplarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.



Şekil 6. AISI 310 Üst kalıbının X-Ray cihazında kontrol edildiği sırada çekilmiş fotoğrafı

## 4. Sonuç

- Çevrimler sonunda DIN 2367 ve DIN 2344 kalıpların yüzey pürüzlülüklerinde ciddi artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Paslanmaz çelik kalıplardan AISI 304 ve AISI 316 kalıplarının yüzey pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur.
- Pürüzlülük sonuçlarına bakıldığında en iyi performansı AISI 310 çeliğinden yapılmış olan kalıp göstermektedir.
- Kalıplarda meydana gelen ağırlık kayıplarına bakıldığında en fazla korozyona uğrayan kalıbın DIN 2367

kalıbı olduğu görülmüştür. En iyi performansı AISI 310 çeliğinden yapılmış kalıp göstermektedir.

- Sertlik ölçümlerine bakıldığında sıcak iş takım çeliklerinin titanyum şekillendirme sıcaklıkları için uygun olmadığı görülmüştür. Paslanmaz çelikler proses sıcaklığında daha kararlı sertlik değerleri göstermiştir.
- Sertlik ölçümü sonucunda en kararlı kalıbın AISI 310 olduğu görülmüştür.
- X-Ray kontrolleri sonucunda hiçbir kalıpta çatlak tespit edilmemiştir.
- Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde tüm değerlendirme aşamalarında öne çıkan kalıp, AISI 310 paslanmaz çeliğinden imal edilen kalıptır. Pazarda bulunabilirliği kolay olduğundan AISI 310 kalıbı, Ti-6Al-4V alaşımının sıcak şekillendirilmesinde kullanılabilir.

## 5. Teşekkür

Bu makale, Kerim Mert Yüksel'in Prof.Dr. Ayşegül Akdoğan Eker danışmanlığındaki Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir.

## Kaynakça

- Boyer, R., Welsch, G., Collings, E.W., 1994, Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, Metals Park, USA
- A. Akdoğan Eker, A. Avcı, H. Aydın, C.S. Aydoğan, E. Erol, Material Selection in Hot Shaping Molds of Titanium Alloys, 18th International Conference Metal Forming 2020, 50 (2020) 723–728
- Rahn, R., Schruoff, "The selection of tool steels for hot stamping tools with respect to increased loads", 2015
- Joseph DB, Rodney B, Daniel, The Boeing Company, Forming of Titanium and Titanium Alloys, Metalworking: Sheet Forming (ASM Handbook), 2006
- JIANG Shao-song, ZHANG Kai-feng, "Superplastic forming of Ti6Al4V alloy using ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> ceramic die with adjustable linear thermal expansion coefficient", National Key Laboratory for Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China Received 10 June 2009; accepted 15 August 2009
- A. Staiano, W. Ion, L. O'Hare, N. Zuelli, "Protective coatings for ceramic superplastic forming dies: An initial study on protective coating Performance", Mat. -wiss. u. Werkstofftech. 2017, 48, 1009–1016
- C. Y. Gao, P. Lours, and G. Bernhart, "Thermomechanical stress analysis of superplastic forming tools," Journal of Materials Processing Technology, vol. 169, pp. 281–291, 2005
- M. Deshpande, T. Altan, "Selection of Die Material and Surface Treatments for Increasing Die Life in Hot and Warm Forging", Paper no:644-FIA Tech Conference, April 2011





# Şeker Pancarı Posasının Bantlı Kurutucuda Kuruma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi

Emel Çelik<sup>1\*</sup>, Nezaket Parlak<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Sakarya Aile ve Sosyal Politikalar İl Müdürlüğü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4165-8402), [eemelcelik08@gmail.com](mailto:eemelcelik08@gmail.com)

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID:0000-0002-8469-2192, [naydemir@sakarya.edu.tr](mailto:naydemir@sakarya.edu.tr))

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084940)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, E. & Parlak, N. (2022). Şeker Pancarı Posasının Bantlı Kurutucuda Kuruma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 733-738.

## Öz

Dünyada enerjinin %80'nini kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtları ile karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyoyakıtlar fosil yakıtlara alternatif olarak kabul edilmektedir. Biyoyakıt üretiminin fosil yakıtlara oranla maliyetlerinin daha yüksek olması kurutma teknolojilerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Önemli biyoyakıtlardan biri olan, mısır, kolza tohumu vb. alternatifleri göz önünde bulundurulduğunda şeker pancarının biyoyakıt için en verimli hammadde olması ile birlikte daha ekonomik olduğu bildirilmektedir. Şeker pancarı posası'nın biyoyakıt elde edilmesinde kullanımı çevresel atığın değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada amaç, bantlı kurutucuda şeker pancarı posası'nın (ortalama nem içeriği %85 y.b) kurutma karakteristiğinin incelenmesidir. Şeker pancarı posası için 85°C sıcaklıkta 20 cm bant kalınlık deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ürün ilk nem içeriği %85 (yb) 'den %14 (yb) neme kadar kurutulmuştur. Ürün nem içeriğinin değişimi ile nem oranının değişiminin zaman bağı olarak incelediğimizde kurutmanın 40 dk'ya kadar hızlı daha sonra yavaşladığı görülmüştür. Kuruma kızımının nem içeriğine bağlı olarak incelediğimizde ürün kuruma başladığında üründen nemin uzlaşması yavaş olduğu çıkarılmıştır. Bantlı kurutucuda şeker pancarı küspesinin kurutulmasında özgül enerji tüketimi hesaplamaları yapılmış ve 2,06 kWh/kg olarak bulunmuştur. Çalışma ile atıktan türetilmiş yakıt çalışmalarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Şeker pancarı posası, Kurutma, Nem oranı, Enerji tüketimi, ATY.

## Experimental Investigation of Drying Characteristics of Sugar Beet Pulp in Belt Dryer

### Abstract

In the world, 80% of the energy is met by fossil fuels such as coal, natural gas and oil. Biofuels from renewable energy sources are accepted as an alternative to fossil fuels. The fact that the cost of biofuel production is higher than fossil fuels is important for the development of drying technologies. One of the important biofuels, corn, rapeseed etc. considering the alternatives, it is reported that sugar beet is the most efficient raw material for biofuel and is more economical. The use of sugar beet pulp in the production of biofuel is important for the evaluation of environmental waste. The aim of this study is to examine the drying characteristics of sugar beet pulp (average moisture content 85% w.b.) in a belt dryer. The product was dried from initial moisture content of 85% (wb) to 14% (wb). When we examine the change in moisture content of the product and the change in moisture content depending on time, it has been observed that drying is fast up to 40 minutes and then slowed down. When we examined the drying based on the moisture content of the daughter, it was found that when the product started to dry, the moisture reconciliation of the product was slow. The specific energy consumption calculations were made for the drying of sugar beet pulp in the belt dryer and it was found to be 2.06 kWh/kg. The study of the study is to contribute to waste-derived fuel studies.

**Keywords:** Sugar beet pulp, Drying, Moisture ratio, Energy consumption, WDF

## 1. Giriş

Sürekli artan enerji talebi, fosil yakıtların tükenmesi ve geleneksel yakıt kullanımından (benzin, dizel vb.) kaynaklanan olumsuz çevresel etkiler, biyoyakıtlarının kullanımını destekleyen çok sayıda politikaya yol açmıştır [1],[2],[3],[4]-[5]. Dünyada Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidroelektrik ve biyokütle enerjisi ile günümüzde enerji ihtiyacının sadece % 7'si karşılanabilmektedir fakat gelecek 20 yılda %60'ın üzerinde artacağı tahmin edilmektedir [6], [7]. Son yıllarda artan petrol fiyatları ve çevresel olumsuz etkilerden dolayı fosil yakıtlara alternatif olarak biyokütleden üretilen (etanol, metanol ve biyodizel) biyoyakıtlar seçenek olmaktadır [8], [9], [10]- [7]. Dünyada en yaygın kullanılan biyoyakıt biyoetanol'dur. Biyoetanol'un ana kaynağı şeker pancarı, mısır ve şeker kamışıdır [11], [7]. Dünya genelinde şeker üretimi için şeker pancarı (Beta vulgaris) ve şeker kamışı (Saccharum officinarum) kullanılmaktadır. Şeker pancarında temel olarak sakkaroz, karbonhidrat ve pektin bulunmaktadır [12]. Şeker üretiminin ham maddesi olan şeker pancarı etanol üretiminde de kullanılmaktadır. Şeker pancarından elde edilen kristal şeker, solüsyondan veya parçalanmış kalıntılardan biyoetanol elde edilmektedir [13].

Dünya'da 2019/20 verilerine göre, 4,609 milyon hektar alanda 278 milyon ton şeker pancarı üretimi yapılmıştır [14].

21. yüzyılda insanlığın karşılaştığı birbiriyle bağlantılı üç zorluk vardır. Bunlar: gıda güvenliği, iklim değişikliği ve enerji güvenliğidir [15],[16]. 1800' de 1 milyar olan dünya nüfusu 2000' de 6 milyara yükselmiştir ve 2050' de 9 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dünya gıda üretiminin 2050 yılına kadar ikiye katlanması gerektiği tahmin edilmektedir. Ancak tarımsal üretimi artırma stratejilerinin değişen iklim koşullarının da hesaba katılması gerektirecektir [15].

Türkiye'de tarım sektörüne ait enerji kullanımının %7'sini oluşturuyor [17]. Gelecekteki yakıt kıtlığı ve/veya artan yakıt fiyatlarının tarımsal üretim ve gıda maliyetini etkilemesi beklenmektedir. Türkiye'de biyokütlenin yenilenebilir enerji içindeki oranı küresel alandaki orandan farklı olarak 1990 yılında % 75 iken yıllar içerisinde sürekli azalarak 2018 yılı sonuna gelindiğinde % 15'ler seviyelerine düşmüştür. Türkiye'de biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki payının bu kadar düşmüş olmasının gerekçesi olarak, biyokütle kullanım oranının azalması gösterilebilir. Ancak esas olarak klasik biyokütle kullanımı önemli ölçüde azalırken modern biyokütlele geçiş de yavaş olmaktadır. Diğer bir ifade ile Türkiye'nin biyokütle potansiyeli modern yöntemlerle yeteri kadar değerlendirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Türkiye'nin 2018 yılında biyokütle enerji arzı yaklaşık 3,1 milyon TEP olarak verilmiştir. Çeşitli kaynaklara göre Türkiye'deki toplam biyokütle enerji potansiyeli 14,6-32 milyon TEP arasında değişmektedir. Türkiye, bugünkü teknoloji ve kullanım alanları ve atık durumuna göre mevcut biyokütle potansiyelinin % 78-% 90'ını değerlendirmektedir [18].

Şeker pancarı küspesi, şeker pancarı köklerinden şekerin ekstraksiyonundan sonra arta kalan, enerji açısından zengin, oldukça lifli kalıntı materyaldir [19]. Şeker pancarından meyve suyu çıkarıldıktan sonra ayrılan küspeye yaş küspe denir. %87-92 nem içerir ve bu nedenle depolanması zordur. Bununla birlikte, kurutulduğunda şeker pancarı küspesi (%6-12 kuru madde ) bir yıla kadar saklanabilir [19]. Yaş şeker pancarı küspesinin kurutma

işlemi şeker endüstrisinde toplam enerji tüketiminin %33'ünü gerektirdiğinden oldukça pahalıdır [20].

Küspe kurutulurken, kullanımı daha uygun olan paletler halinde sıkılır. Yüksek düzeyde besin maddesi bulunduğundan genellikle hayvanlarda, özellikle süt sığırlarını beslemek için kullanılır [21,22]. Ayrıca, farklı proseslerle üretilen şeker pancarı küspesinin değişken kaliteye sahip olabileceği belirtilmiştir. Bir ton şeker pancarının 500 kg yaş pancar püresi ve 150 kg şeker ürettiği bulunmuştur [23]. Şeker pancarı köklerinden şeker üretiminin hazırlık aşamaları, köklerin yıkanmasını, temizlenmesini ve kasetler halinde kıyılmasını, ardından kasetlerden meyve suyunun çıkarılmasını ve melas ve şeker elde etmek için tıpkı şeker kamışı şekeri gibi işlenmesini içerir [24]. Şeker pancarından meyve suyu ekstraksiyonu, kalan artıklar esas olarak şeker pancarı hücre duvarından oluşur, yani şeker pancarı posası ve yaklaşık %2-4 şeker' den oluşmaktadır [25]. Şeker pancarından şeker üretimi ne kadar yüksek olursa, ortaya çıkan biyoatık, yani şeker pancarı posası o kadar fazla olacaktır. Bu nedenle bu biyoatık malzemeleri işlemek ve kullanmak için yeni teknolojilerin geliştirilmesine odaklanılmalıdır [26].

Literatüre bakıldığında şeker pancarı küspesinin kurutulması gösteren çalışmaların olmadığı görülmüştür. Bu nedenle yürütülen araştırmanın amacı, atıktan türetilmiş yakıtların kurutulması konusunda sistematik çalışmalar yapmaktır.

Sunulan bu çalışmada şeker pancarı küspesinin bantlı kurutucuda kurutulması, ürün nem içeriği değişimi, kuruma hızı ve enerji sarfiyatı hesaplanmıştır. Kurutucu tipinin, kurutma bant kalınlığının, kurutma havasının sıcaklığının kurutma karakteristiklerine ve enerji sarfiyatına etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırmada, Sakarya'da Şeker fabrikasından elde edilen şeker pancarı küspesi deneme materyali olarak kullanılmıştır. Deneylerde şeker pancarı hasat edilip fabrikada işlendikten sonra geriye kalan atık rendelenmiş şeklindedir. Deneyler Kasım-Aralık 2021 aylarında yapılmıştır.

Çalışmada Sartorius MA30 tipi cihaz ile eş zamanlı olarak nem ölçümleri yapılmıştır. Kapalı torbalarda muhafaza edilen numunelerden üç farklı ölçüm yapılmış ve ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. Şeker pancarı küspesi yaş ve kuru olarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Deneylerde kullanılan şeker pancarı küspesi ve (b) bantlı kurutma sonrası.

## 2.2. Kurutma Yöntemi

Deneylerde bantlı kurutucuda kurutma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bantlı kurutucu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bantlı kurutucu

Şeker pancarı, 85 ° C kurutma havası sıcaklığında, 15 MHz bant hızı ve 20 cm kalınlıkta deney koşullarına gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bantlı kurutucuya konulan şeker pancarı küspesinin toplam kütlesi bir bant için 500 kg ‘dır.

## 2.3. Teorik Analiz

### 2.3.1. Boyutsuz Nem Oranı Ve Kuruma Hızı

Kurutma, aynı anda kütle ve ısı transferinin gerçekleştiği bir süreçtir. Tarım ürünlerinde nem çeşitli hallerde ve farklı fiziksel-kimyasal bağlarla tutulur. Ürün neminin bulunduğu duruma bağlı olarak uzaklaştırılması için farklı ortam koşullarının sağlanması gerekir.

Genel olarak ürünün nem içeriği % yaş baz ve kuru baz olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir.

Nem içeriği kuru baz’da ( $M_{kb}$ ) ve yaş baz’da aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir [27];

$$M_{kb} = \frac{W_t - W_k}{N_k} \quad (1)$$

Burada  $W$ , numune ağırlığıdır (g).  $t$  ve  $k$  indisleri belirli anda  $k_i$  ve kuru ağırlığıdır.

$$M_{yb} = \frac{W_t - W_k}{W_t} \quad (2)$$

Kurutma deneyleri sırasındaki nem oranı (MR) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır [28];

$$MR = \frac{M_{kb,t} - M_{kb,d}}{M_{kb,0} - M_{kb,d}} \quad (3)$$

Burada,  $M_{kb}$ , türünün herhangi bir  $t$  anında sahip olduğu nem içeriği,  $M_{kb,0}$  ise başlangıçtaki nem içeriği ve  $M_{kb,d}$  denge nemidir. Kuruma karakteristiğinin belirlenmesindeki bir diğer önemli parametre kuruma hızı (oranı) ‘dır.

Kurutma hızı, aşağıdaki denklem kullanılarak zamanla nem içeriği değişimi olarak tanımlanabilir [29];

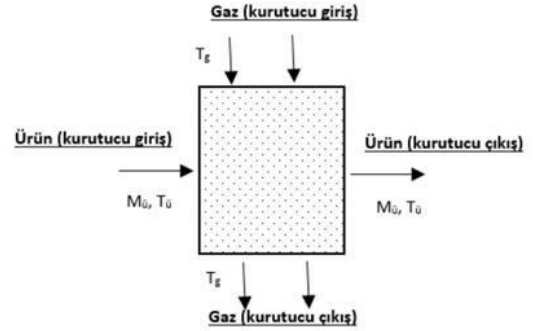
$$DR = \frac{M_{kb,t+\Delta t} - M_{kb,t}}{\Delta t} \quad (4)$$

Kurutma işleminde önce kurutulacak ürün yüzeyindeki su buharlaşır, sonra ürün içerisinde bulunan nem yüzeye taşınarak buharlaşma gerçekleşir. Buharlaşma hızı genel olarak ürünün fiziksel özelliklerine, boyutuna, içerdiği su miktarına, kurutma şartlarına göre değişmektedir [30].

### 2.3.2. Özgül enerji tüketimi (SEC)

Kurutmanın amacı bir üründe bulunan nemi kısmen veya tamamen uzaklaştırmak olan çok karmaşık bir işlemdir. Kurutma için gereken enerji, esas olarak kurutulacak ürünün yapısına ve kurutma sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle, ürünlerin kurutulması için gereken enerjiyi belirlemek ve ölçmek sürecin her adımındaki enerji analizi yapılmalıdır [31].

Şekil 3’de gösterilen kontrol hacmine toplam ısı ve kütle dengeleri uygulanmıştır.



Şekil 3. Kurutucunun bantlı bölmesinin şematik gösterimi

Kurutma odasının giriş koşullarını belirlemek için öncelikle kurutucunun girişindeki kurutma havasının giriş sıcaklığı dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, bantlı kurutucu kullanılarak şeker pancarı küspesinin kurutma işleminin enerji analizi sonuçlarına genel bir bakış sunulmaktadır. Kurutma işleminde enerji analizi kütle ve enerji bazında yapılır [32]:

Kütle korunumu denklemi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (5)$$

Enerjinin korunumu;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_c \left( h_c + \frac{V_c^2}{2} \right) \quad (6)$$

Burada,  $\dot{m}$  kütleli debi(kg/s) ,  $h$  entalpi (kJ/kg),  $V$  hız (m/s)’dir.

Bantlı kurutucu kurutma işlemi sırasında mekanik iş ve momentum transferi yapılmadığından, kurutma işlemi sırasında (kurutma odasının içinde) nemi aktarmak için gereken enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır [31].

$$\dot{Q}_{ısıtma} = \dot{m}_{hava}(h_2 - h_1) \quad (7)$$

Kurutma işlemi sırasında üründen 1 kg suyu buharlaştırmak için kullanılan enerji miktarı olan Özgül enerji tüketimi (SEC), denklem (8) kullanılarak hesaplanmıştır [33].

$$SEC = \frac{E}{m_s} \quad (8)$$

Bu denklemde SEC, Özgül enerji tüketimi, E tüketilen enerji (kJ/kg) ve  $m_s$  buharlaşan suyun kütlesidir (kg).

Yaş üründen buharlaşan suyun kütlesi [34];

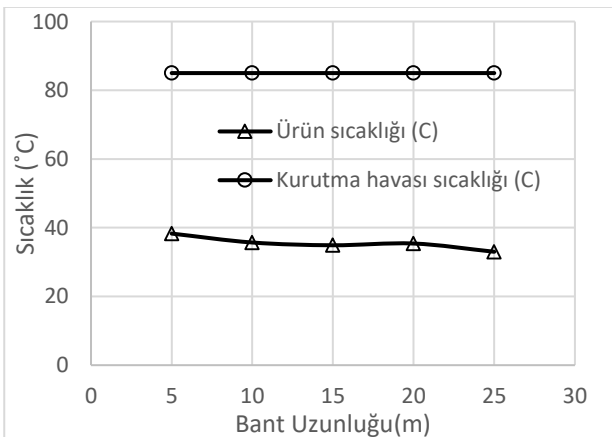
$$m_{su} = \frac{m_i(M_i - M_s)}{(100 - M_s)} \quad (9)$$

Burada,  $m_i$  ürünün ilk kütlesi (kg),  $M_i$ , yaş bazdaki ilk nem içeriği (%) ve  $M_s$ , yaş bazdaki son nem içeriğidir (%).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kurutucu çıkışındaki şeker pancarı küspesinin atıktan türetilmiş yakıtlar açısından kurutma işleminin dinamiklerini araştırmak için çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde şeker pancarı küspesinin nemi ve sıcaklık izlendi. Bu deneylerden elde edilen veriler ile bantlı kurutucudaki sıcaklık dağılımını, ürün nem içeriğini zamana bağlı olarak kuruma oranını, kuruma hızı ve enerji analizi yapılmıştır.

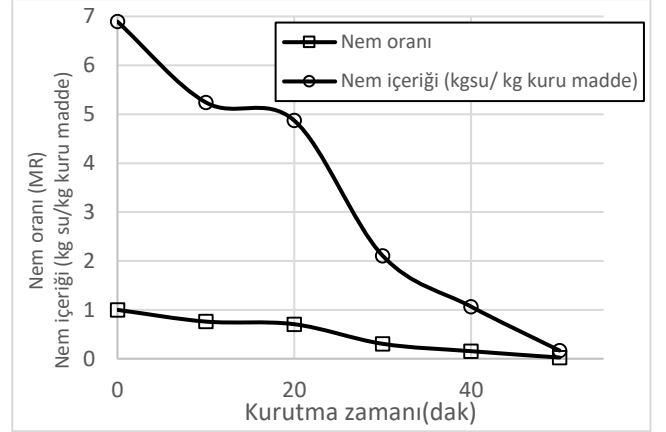
Bantlı kurutucularda ürün tek düze olduğundan sıcak hava ile karışmakta ve bant içerisindeki sıcaklık dağılımı homojen kalmaktadır. Şekil 4 'te kurutucunun bant boyunca sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Şeker pancarı küspesinin ilk nem değerleri yaklaşık yaş baza göre %85' dir. Buharlaşan nem miktarı kurutmanın ilk dakikalarında yüksek kurutma hızı sebebiyle fazladır. Bu nedenle bant boyunca ürün sıcaklığında belirgin bir düşmeye sebep olmaktadır.



Şekil 4. Bantlı kurutucu boyunca sıcaklık değişim

Deneylerde, 25 m uzunluktaki bantlı kurutucunun kurutucu havasının sıcaklığı 85 °C sabit olduğu, ürün sıcaklığı 38,3 den 23,33 arasında olmuştur.

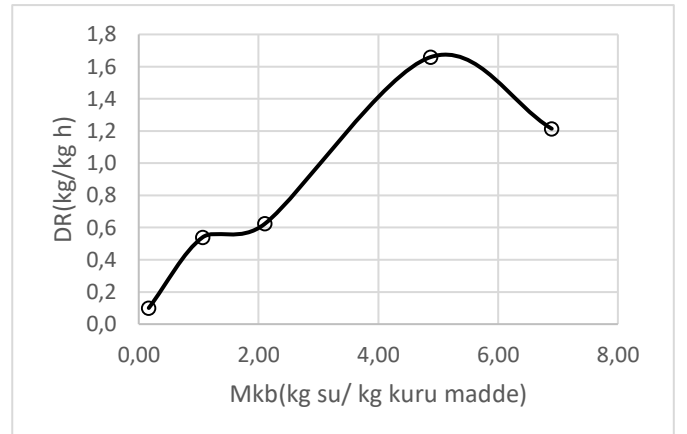
Şeker pancarı küspesinin nem içeriklerinin ve nem oranlarının kurutma süresine göre değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Şeker pancarı küspesinin nem oranının zamana bağlı değişimi

Grafik incelendiğinde, nem içeriği ve nem oranı değerlerinin kurutma sürecinin başlangıcından itibaren hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir. Kurutma sürecinin 40 dakikasından itibaren nem içeriği değerlerinin daha yavaş bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni şeker pancarı küspesi için kurutma işleminin bu aşamada neredeyse tamamlanmasıdır.

Kuruma hızının nem içeriği ile değişimi şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6 Kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

Diğer grafiklerde göz önüne alındığında, şeker pancarı küspesinin içerisindeki nemi(suyun) azalması ile ürün içerisindeki difüzyonda azalmaktadır. Difüzyonun azalması ile de şeker pancarı küspesinden yüzeye nem transferi yavaşlamaktadır ve buda kuruma hızını etkilemiştir. Pronyk ve ark.,[35] çalışmasında şeker pancarı küspesini kızgın buharda ve sıcak hava ile kurutmuşlardır.

Kurutma ortamı sıcaklığı 130°C'den 183°C'ye yükseltildiğinde, kuruma süresi aşırı ısıtılmış buhar için %48, sıcak hava için ise yalnızca %34 oranında azaldığını ifade etmişlerdir. Aynı kurutma sıcaklığı ve hızı altında kurutulan şeker pancarı küspesinin hem aşırı ısıtılmış buhar hem de sıcak hava için aynı su aktivitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Şeker pancarı küspesi için, aşırı ısıtılmış buharda, sıcak havayla kurutmaya göre kuruma süresindeki azalma ve kurutma hızındaki artış daha fazla olduğunu göstermişlerdir.

Bantlı kurutucunun enerji bazlı (veya birinci yasa) performans ölçüsü hesaplanmıştır. Enerji analizinin sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Enerji analizleri sonuçları

Özellikler	Değer	Birim
İlk ağırlık (Toplam)	500	kg
İlk nem içeriği (yb)	85	%
Son nem içeriği (yb)	14	%
Atmosfer havası sıcaklığı	14	°C
Kurutucu havası sıcaklığı	85	°C
Kurutuma zamanı	60	dk
Özgül enerji tüketimi (SEC)	2.06	kW h/kg

Tablo 1' e incelendiğinde ilk ağırlığı 500 kg olan şeker pancarı küspesinin ilk nem içeriği % 85 (yb) son nem içeriği %14 (yb) 'e kadar kurutma yapılmıştır. Kurutma deneyleri 60 dk sürmüştür. Denklem (7),(8) ve (9) kullanılarak Özgül enerji tüketimi hesaplanmış olup Özgül enerji tüketimi 2,06 kW h/ kg olarak bulunmuştur.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmanın hedefi şeker pancarından geriye kalan atık malzemelerin yakıt olarak değerlendirilmesi için ürün içerisinde bulunan nemin uzaklaştırılmasıdır. Çalışma kapsamında kurutma karakteristikleri incelenmiştir ve bantlı kurutucuda kurutmanın olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir. Bantlı kurutucunun enerji analizleri incelendiğinde enerji sarfiyatında da kabul edilebilir değerler hesaplanmıştır. Şeker pancarı küspesinin kurutma deneyleri sonuçları ile

1. Bantlı kurutucuda %85 (yb) nemdeki ürünün kuruma oranı, kuruma hızı grafikleri çıkartılmış olup deneysel sonuçlar ile teorik verilerin uyumlu olduğu görülmüştür.
2. Üründe bulunan nemin uzaklaştırılması için kullanılan enerjinin verilerinin umut verici olduğu söylenebilir.
3. Artık malzemenin ekonomik ve sürdürülebilir kullanımı, dünya çapındaki rekabetçi pazarda çok önemlidir. Şeker pancarı atıklardan enerji üretim tesislerinin üretiminde uzmanlaşılması ve biyokütleyle yönelik yerli makina, ekipman ve malzeme üretiminde ar-ge çalışmaları artırılmalıdır.

#### 5. Teşekkür

Deneysel çalışmalarına destek veren Çelik Kardeşler Ltd. Şti. (Ada Kurutma) yetkililerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- [1] European Commission (EC), Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, 2009.
- [2] Botha, T., & von Blottnitz, H. (2006). A comparison of the environmental benefits of bagasse-derived electricity and fuel ethanol on a life-cycle basis. *Energy Policy*, 34(17), 2654–2661. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.12.017>
- [3] Kondili, E.M.& Kaldellis, J.K. (2007). Biofuel implementation in East Europe: current status and future prospects. *Renew.and Sustain. Energy Rev.*11(9), 2137–2151. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.001>
- [4] Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafeiris, T. & Zolkou, P. (2008). Life cycle assessment for biodiesel in Greek climate conditions. In: *Proceedings of the sixteenth European Biomass Conference & Exhibition—From Research to Industry and Markets*, Valencia, Spain, 2nd–6th June 2008.
- [5] Spyros, F., Victor, K., & Theocharis, T. (2011). Life cycle analysis for bioethanol production from sugar beet crops in Greece. *Energy Policy*,39(9), 4834–4841. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.036>
- [6] Singh, D.P.& Dwevedi, A. (2018). *Production of clean energy by green ways*, A. Dwevedi., Ed. Solutions to Environmental Problems Involving Nanotechnology and Enzyme Technology, 49-90.
- [7] Güneş, Z., Kırtıla, H.B., Küçükataa, Y. Ş.& Toprak, B. (2020). Şeker pancarı ve yan ürünlerinden biyoyakıt (etanol) üretimi ve biyoetanolün endüstriyel kullanımının değerlendirilmesi, *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 16-24.
- [8] Demirbaş, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections” *Energy Conversion and Management*, 49, 2106–2116. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>
- [9] Şantek, B., Gwehenberger, G., Şantek, M.I., Narodslawsky, M., & Horvat, P. (2010). Evaluation of energy demand and the sustainability of different bioethanol production processes from sugar beet”, *Conservation and Recycling*, 54(11), 872–877. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.006>
- [10] Haankuku, C., Epplin, F., & Kakani, V.G. (2015). Industrial sugar beets to biofuel: Field to fuel production system and cost estimates”, *Biomass and Bioenergy*, 80, 267-277. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.027>
- [11] Usmani, Z., Sharma, M., Diwan, D., Tripathi, M., Whale, E., Jayakody, L. N., Moreau, B., Thakur, V.K., Tuohy, M., Gupta, V. K. (2022). Valorization of sugar beet pulp to value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 346, 126580. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126580>
- [12] Zhou, G., Zhang, G., & Qi, D. (2011). A New Method of Producing Bio-Energy by Using Sugar Beets. *Energy Procedia*, 12, 873-877. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.115>
- [13] Bušić, A., Marđetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Şantek, M.I., & Şantek, B. (2018). Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and its Separation and Purification: A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3), pp. 289–311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>

- [14] (2021) The SGB website. [Online]. Available: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9C%C3%BCnler>
- [15] Lal, R. (2010). Managing soils for a warming earth in a food-insecure and energy-starved world. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173, 4–5. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900290>
- [16] Karp, A., & Richter, G. M. (2011). Meeting the challenge of food and energy security”, *Journal of Experimental Botany*, 62 (10), 3263–3271. <https://doi.org/10.1093/jxb/err099>
- [17] TÜİK (2020) Türkiye İstatistik Kurumu. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1>
- [18] İllez, B. (2020). Türkiye’de Biyokütle Enerjisi”, Türkiye’nin Enerji Görünümü, Makine Mühendisliği Oda Raporu, 317-346.
- [19] Joanna, B., Michal, B., Piotr, D., Agnieszka, W., Dorota, K., & Izabela, W. (2018). Sugar beet pulp as a source of valuable biotechnological products. *Advances in biotechnology for food industry, Handbook of Food Bioengineering*, 359–392. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811443-8.00013-X>
- [20] Bhandari, B., (2015). *Handbook of Industrial Drying*, Edited by AS Mujumdar: CRC Press: Boca Raton, FL; 2015.
- [21] Silva, R.H.P., Rezende, A.S.C., Inacio, D.F. S. (2016). Pectin-rich by-products in feeding horses-A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2, 1-8. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1193925>
- [22] Legrand, G. (2005). The correct use of pressed beet pulp. Royal Belgian Institute for Sugar Beet Improvement IRBAB Technical Guide,1-46.
- [23] Karlsson, C.P., Jansson, A., Essen-Gustavsson, B., & Lindberg, J.E. (2002). Effect of molassed sugar beet pulp on nutrient utilisation and metabolic parameters during exercise”, *Equine Vet J*,6(34), 4-49. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05390.x>
- [24] Tomaszewska, J., Bielinski, D., Binczarski, M., Berlowska, J., Dziugan, P., Piotrowski, J. Staniszesusky, A., & Witonska, I.A. (2018). Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*, 6, 3161–3177. <https://doi.org/10.1039/C7RA12782K>
- [25] Liu, B., Zhang, J., Liu, L., & Hotchkiss, A.T. (2011). Preparation and properties of water and glycerol-plasticized sugar beet pulp plastics. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 19 (3), 559-567. <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0322-4>
- [26] Rana, A. K., Gupta, V. K., Newbold, J., Roberts, D., Rees, R. M., Krishnamurthy, S., & Thakur, V. K. (2022). Sugar beet pulp: Resurgence and trailblazing journey towards a circular bioeconomy. *Fuel*, 312, 22953. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122953>
- [27] Çelik, E., Parlak, N., & Çay, Y. (2021). Experimental and numerical study on drying behavior of CORN grain. *Heat and Mass Transfer*, vol. 57, pp. 321–332. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02954-2>
- [28] Parlak, N. (2015). Fluidized bed drying characteristics and modeling of ginger (*zingiber officinale*) slices”, *Heat Mass Transfer*, 51, 1085–1095. <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1480-4>
- [29] Reichert, I., Olney, P. Lahmer, T. (2019). Influence of the error description on model-based design of experiments. *Engineering structures*, vol. 193/15, pp. 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.002>
- [30] Parlak, N. (2014). Akişkan yataklı kurutucuda zencefilin kuruma kinetiğinin incelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 29(2), 261-269. <https://doi.org/10.17341/gummfd.34777>
- [31] Boulemtafes-Boukadoum, A., & Benzaoui, A. (2011). Energy and exergy analysis of solar drying process of Mint. *Energy Procedia*, 6, 583–591. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.067>
- [32] Hepbasli, A. (2008). A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,12/(3), 593-661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.001>
- [33] Taghinezhad, E., Kaveh, M., Jahanbakhshi, A., Golpour, I. (2020). Use of artificial intelligence for the estimation of effective moisture diffusivity, specific energy consumption, color and shrinkage in quince drying. *J Food Process Eng.*, vol. 43/e13358. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13358>
- [34] Yahya, M., Fudholi, A., & Sopian, K. (2017). Energy and exergy analyses of solar-assisted fluidized bed drying integrated with biomass furnace. *Renewable Energy*,105,22-29. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.049>
- [35] Pronyk, C., Cenkowski, S., & Muir, W. E.(2004). Drying Foodstuffs with Superheated Steam. *Drying Technology*, 22(5), 899–916. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038571>



# Çok Yönlü Dövme İşleminin AA5083 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Erkin Akdoğan<sup>1</sup>, Mehmet Şahbaz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü / Karaman, Türkiye,  
(ORCID: 0000-0001-6993-6972), [ekdogan@kmu.edu.tr](mailto:ekdogan@kmu.edu.tr)  
(ORCID: 0000-0001-6379-8345), [mehmetsahbaz@kmu.edu.tr](mailto:mehmetsahbaz@kmu.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084992)

**ATIF/REFERENCE:** Akdoğan, E., & Şahbaz, M. (2022). Çok Yönlü Dövme İşleminin AA5083 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 739-744.

## Öz

Bu çalışmada bir Aşırı Plastik Deformasyon (Severe Plastic Deformation-SPD) yöntemi olan Çok Yönlü Dövme (Multi-Directional Forging 'MDF') işleminin AA5083 alüminyum alaşımına uygulanması deneysel olarak incelenmiştir. MDF işlemi, tavlama ısıl işlemi yapılarak homojenleştirilen numuneler üzerine oda koşullarında yaklaşık 25 °C sıcaklıkta 4 pasoya kadar uygulandı. MDF işleminde küp şeklindeki hazırlanmış numuneye sırasıyla üç eksen doğrultusunda yapılan presleme (dövme) işlemlerinin tamamı bir paso olarak kabul edilmektedir. MDF işlemleri sonrasında ise malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim, sertlik ve basma testleri yardımı ile belirlendi. Yapılan bu testler neticesinde her bir MDF işleminin malzemenin sertlik ve basma dayanım özelliklerini artırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışma benzer çalışmaların aksine oda koşullarında yapıldığı için aynı strain oranına karşılık uygulanan plastik deformasyon ile malzemede daha fazla mukavemet ve sertlik artışı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada şekil değişimi oranı her presleme için % 10 olarak sabit alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aşırı Plastik Deformasyon, SPD, Çok Yönlü Dövme, MDF, Isıl İşlem, Sertlik Testi, Basma Testi

## Effect of Multi-Directional Forging Process on Mechanical Properties of AA5083 Aluminum Alloy

### Abstract

In this study, the application of Multi-Directional Forging (MDF) process, which is a Severe Plastic Deformation-SPD method, to AA5083 aluminum alloy was experimentally investigated. MDF treatment was applied on the specimens at room conditions at approximately 25 °C for up to 4 passes that the specimens were homogenized by annealing heat treatment. In the MDF process, all of the pressing (forging) operations performed on the cube-shaped sample, respectively, in the direction of three axes, are considered as one pass. After the MDF processes, the change in the mechanical properties of the material was determined with the help of hardness and compression tests. As a result of these tests, it has been determined that each MDF process increases the hardness and compression strength properties of the material. Since this study was carried out in room conditions, unlike similar studies, more strength and hardness increases were observed in the material with the applied plastic deformation against the same strain rate. In this study, the strain rate was taken as 10% for each press.

**Keywords:** Severe Plastic Deformation, SPD, Multi-Directional Forging, MDF, Heat Treatment, Hardness Test, Compression Test

\*Sorumlu Yazar : [mehmetsahbaz@kmu.edu.tr](mailto:mehmetsahbaz@kmu.edu.tr)

## 1. Giriş

Aşırı Plastik Deformasyon (SPD) yöntemleri malzemelerin mukavemetini arttırmak için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer haddeleme ve dövme gibi geleneksel yöntemlere kıyasla, SPD yöntemlerinin malzemenin tokluğu üzerine aşırı bir olumsuz etkisi bulunmamaktadır (Edalati vd., 2022). Malzemenin gerinim (strain) değeri kısmen düşse de gerilme (stress) değerinin artması ile tokluk değeri korunmuş oluyor. Buna bağlı olarak bazı yöntem ya da malzemelerde tokluk değerinin kısmen azaldığı görülmekle birlikte bazılarında arttığı da gözlemlenmektedir. Bu sebepten genel kabul SPD yöntemlerinin tokluk değerini etkilemediği yönündedir. Bu yöntemler kırılabilirliği çok etkilemediği için tercih edilmekte olup malzeme şekline göre farklı SPD yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları: ECAP (Equal Channel Angular Pressure) (Langdon, 2007; Özbeyaz vd., 2019), HPT (High Pressure Torsion) (Edalati & Horita, 2016), MDF (Multi Directional Forging) (Jandaghi vd., 2016), TCAP (Tubular Channel Angular Pressing) (Faraji vd., 2011) gibi yöntemler olmakla birlikte, son yıllarda yeni geliştirilen ya da modifiye edilen yöntemler de kullanılmaktadır. Bunlar ise: Exp-ECAP (Expanded-ECAP) (Öğüt vd., 2021), TV-CAP (Twist Channel Angular Pressing) (Özbeyaz vd., 2021) ve TWO-CAP (Thin-Walled Open Channel Angular Pressing) (Şahbaz, 2019) gibi yöntemlerdir.

SPD yöntemleri ilk başlarda sadece Ar-Ge amaçlı laboratuvar ortamlarında küçük boyutlu numuneler üzerinde araştırılırken, son yıllarda bu yöntemlerle geliştirilen malzemelerin otomotiv, havacılık ve cerrahi uygulamaları gibi birçok endüstri alanında kullanıldığı görülmektedir (Edalati vd., 2022).

Bu yöntemler genellikle mukavemeti düşük ve öz kütlesi hafif olan magnezyum, alüminyum ve titanyum gibi metallerin dayanımı arttırmak için kullanılmaktadır. Bazen ise zirkonyum, bakır ve çelik gibi öz kütlesi büyük bazı metal ve alaşımlarda da uygulandıkları görülmektedir (Edalati vd., 2022).

Literatür incelendiğinde SPD yöntemlerinin dolayısıyla MDF yönteminin de farklı koşullarda birçok metal üzerinde uygulandığını görmek mümkün bunlardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Jandaghi vd. (2016) yaptıkları çalışmada AA5056 alüminyum alaşımına MDF işlemi ile birlikte izotermal olmayan tavlama işlemi uygulamışlardır. Uygulanan MDF ve tavlamanın malzeme üzerindeki birleşik etkileri mikroyapısal, mekanik ve elektriksel iletkenlik yönlerinden araştırılmıştır. Diğer bir çalışmada ise izotermal çok yönlü dövmenin (IMF) geleneksel Al-Mg esaslı bir alaşımın mikroyapı gelişimi üzerindeki etkisi, 1,5 ila 6,0 gerilme aralığında ve 200 ila 500 °C sıcaklık aralığında incelenmiştir. Sonuç olarak, ince taneli levhalar, basit termomekanik işlemle işlenen levhalardan %30 daha yüksek bir akma mukavemeti ve kopma uzaması sergilemiştir (Kishchik et al., 2018).

Khamsepour vd. (2020) yaptıkları çalışmada, saf alüminyum üzerine aşırı plastik deformasyon yöntemi olarak çok yönlü dövme (MDF), tavlama ve farklı gerinim hızlarında basma testi uygulamışlardır. Ana gözlemlerinden biri, MDF geçişlerinin (pasolarının) sayısı arttıkça sertliğin de artmasıdır.

Şahbaz vd. (2021) AA5083 alüminyum alaşımı üzerine uyguladıkları bir SPD yöntemi (TWO-CAP) ile malzemenin

mikroyapısındaki gelişmelere dayalı olarak her pasoda sertlik ve mukavemet değerlerinin arttığını göstermişlerdir.

Edalati vd. (2022) yaptıkları geniş kapsamlı derleme makalede hemen hemen tüm SPD yöntemlerini ve özel bir başlık altında da MDF yöntemini uygulanan malzemeler ile birlikte anlatmışlardır.

Bu çalışmada 5000 serisi diye adlandırılan ve ikincil element olarak çoğunlukla magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) bulunduran alüminyum (Al) AA5083 (AlMg4.5Mn0.7) alaşımı kullanılmıştır. SPD yöntemi olarak oda koşullarında uygulanması mümkün olan Çok Yönlü Dövme (Multi Directional Forging - MDF) yöntemi tercih edilmiştir.

AA5083 malzemesi, yüksek sünekliği, korozyon direnci ve kaynak yapılabilme özellikleri ile havacılık ve gemi sanayinde çokça tercih edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, özellikle havacılıkta kullanılan bu malzemenin ağırlığına oranla mukavemetini ve sertliğini artırarak bu alana katkı sağlamaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada bir SPD yöntemi olan MDF işlemi AA5083 alüminyum alaşımına oda koşullarında (yaklaşık 25 °C) uygulanmıştır. AA5083 alaşımının kimyasal bileşiminde en fazla bulunan elementler ve oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AA5083’ün kimyasal bileşimi

Mg	Mn	Sn	Si	Fe	Al
4,0 -	0,4-	0,5 -	0,0 -	0,0 -	Kalan
4,9	1,0	0,9	0,7	0,4	

MDF uygulanacak numuneler 15 mm kenar uzunluğuna sahip küpler şeklinde sıvı soğutmalı kesme cihazı ile kesilerek hazırlanmış olup ısı işlem uygulanmadan önceki halleri Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. MDF öncesi AA5083 numuneleri

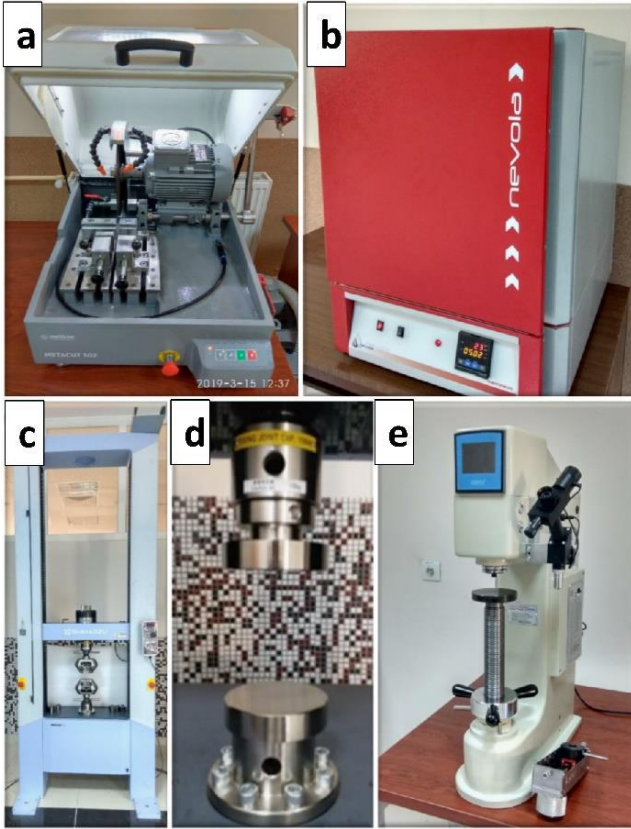
Küp şeklinde hazırlanan bu numuneler öncelikle iç gerilmelerin giderilmesi ve mikroyapının homojenleştirilmesi için ısı işlemine tabii tutuldu. Isıl işlem için numuneler fırına yerleştirildikten sonra sıcaklık 500 °C’ye çıkarıldı ve 2,5 saat beklentildi. Sonrasında numuneler fırın ortamında soğutuldu ve böylece numuneler MDF uygulaması için hazır hale gelmiş oldu.

MDF işlemi Shimadzu marka 100 kN kapasiteli elektromekanik çekme-basma test cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Bu işlemin etkisini görmek için işlem öncesi ve her pasodan sonrasında numunelerin sertlik değerleri Digirock marka dijital sertlik ölçüm cihazı ile ölçüldü.



Sertlik ölçümünde, Brinell Sertlik (HB) metodu 62,5 kgf yük, 2,5 mm çapta bilye ucu ve 6 s bekleme süresi ile numune yüzeyine uygulandı. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar Şekil 2’de gösterilmiş olup tüm deneysel sonuçlar bulgular kısmında verilmiştir.

SPD yöntemi olarak bu çalışmada kullanılan MDF ile literatürde yapılan bazı çalışmalar giriş kısmında verilmişti. Kısaca MDF yöntemini açıklamak gerekirse: küp ya da dikdörtgen prizması şeklinde hazırlanan numunelere tekrarlı ve sıralı bir şekilde 3 eksen (xyz-doğrultularında) boyunca belli bir strain oranında yük uygulanmasıdır. Bu 3 eksenden sırası ile uygulanan 3 basma (ya da presleme) işlemi 1 paso (geçiş) olarak kabul edilmektedir. Bu 3 basma işleminden sonra numune tekrar ilk boyutuna dönmekte olup numune üzerine aynı işlemler tekrarlı olarak uygulanabilmektedir.

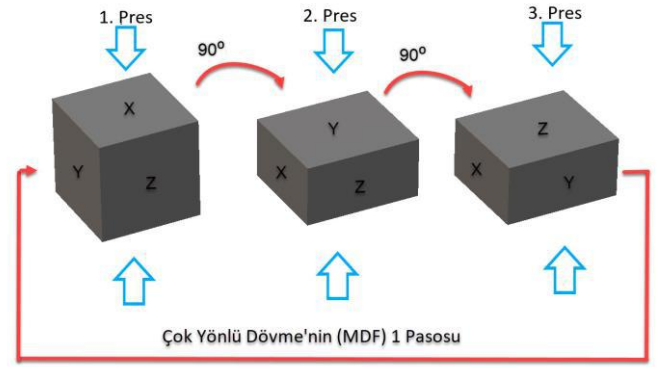


Şekil 2. Deneylerde kullanılan cihazlar; (a) sıvı soğutmalı abrasif kesme cihazı, (b) ısıtıl işlem fırını, (c) elektromekanik çekme-basma test cihazı, (d) MDF için çelik basma plakaları (Akdoğan, 2020), (e) dijital sertlik ölçme cihazı

Malzeme doyuma ulaşana kadar her tekrarda belli bir oranda mekanik özelliklerde (sertlik ve mukavemet) artışı gözlemlenmektedir. Malzeme doyuma ulaştıktan sonra bu artış durmakta hatta düşebilmektedir. Malzemenin doyuma ulaşabilmesi için gerekli paso sayısı malzemenin türüne, yöntemine ve sıcaklığa göre değişebilmektedir.

Strain kazanımının az olduğu ya da sıcaklığın yüksek tutulduğu (250 °C – 400 °C) SPD uygulamalarında doyuma ulaşmak için gerekli paso sayısı artarken tersi durumlarda azalmaktadır. Şekil 3’te MDF işleminin toplamda 3 yönden presleme ile oluşan 1 pasonun şekilsel gösterimi sunulmaktadır. Bu çalışmada AA5083 malzemeden hazırlanmış numune üzerine şekilde görüldüğü gibi 4 paso MDF işlemi uygulanmıştır. Her bir presleme işleminde strain oranı numune yüksekliğinin %10 oranında uygulanmıştır.

e-ISSN: 2148-2683



Şekil 3. MDF işlemini 1 pasosu

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

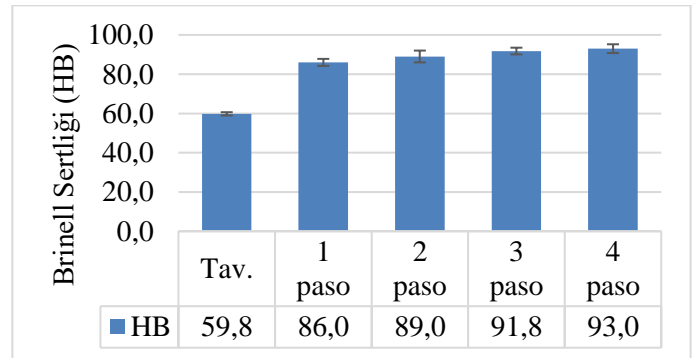
#### 3.1. Bulgular

Bu kısımda ısıtıl işlem yapılmış ve üzerine 4 pasoya kadar MDF uygulanmış AA5083 malzemesinin deneysel sonuçları verilecektir.

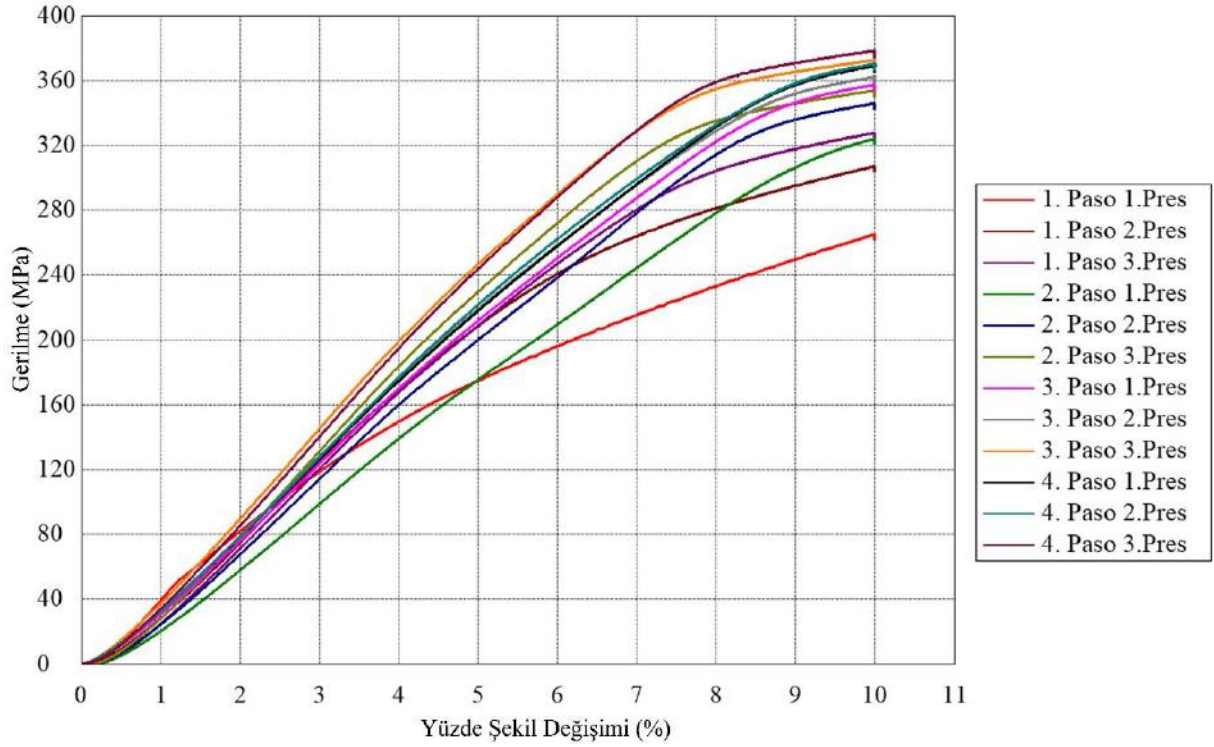


Şekil 4. AA5083 MDF numuneleri: MDF öncesi ısıtıl işlem yapılmış numune (solda), 4 Paso MDF uygulanmış numune (sağda)

Öncelikle 2,5 saat süre ile homojenleştirme tavlaması (Tav.) yapılmış olan numunelerin sertlik değerleri numune yüzeyinin farklı yerlerinden en az 5 defa ölçülmüş (Şekil 4-sağda) olup ortalaması aşağıdaki grafikte verilmiştir. Tavllanmış numune grafiği üzerinde görünen standart sapma çubuğu malzemenin homojen sertlikte olduğunun bir göstergesidir. Devamında ise her pasodan sonra sertlik ölçümleri alınmış olup değerleri grafikte gösterilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Sertlik ölçüm sonuçları



Şekil 6. MDF işleminde her bir paso ve presleme ile oluşan stress-strain değerleri (strain %10'a kadar alınmıştır)

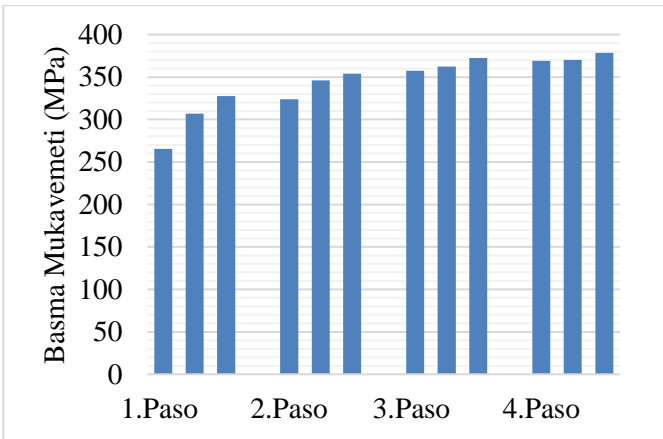
Şekil 6'da numuneler üzerindeki gerilme değerinin, numune boyundaki gerinim değeri %10'a ulaşınca kadar ki değişimi çizgi grafik olarak gösterilmiştir

Şekil 7'de ise benzer şekilde her bir paso ve preslemeye karşılık basma gerilmesinde meydana gelen artış sütun grafiği olarak verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi her bir preslemede basma gerilmesi artmış olup işlem sonrasında malzemenin basma mukavemetini artmıştır.

Bu grafiklerin sayısal verileri: gerilme (MPa) değerlerine karşılık şekil değişimleri (mm) olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. MDF işleminde her presleme için uygulanan gerilme-uzama değerleri (strain %10'da iken)

	Gerilme (MPa)	Şekil Değişimi (mm)
1.Paso 1.Pres	265,33	1,52
1.Paso 2.Pres	307,07	1,54
1.Paso 3.Pres	327,72	1,67
Ortalama	300,04	1,58
Standart Sapma	31,78	0,08
Aralık	62,39	0,15
2.Paso 1.Pres	324,03	1,53
2.Paso 2.Pres	345,99	1,53
2.Paso 3.Pres	353,94	1,64
Ortalama	341,32	1,57
Standart Sapma	15,49	0,07
Aralık	29,91	0,12
3.Paso 1.Pres	357,47	1,53
3.Paso 2.Pres	362,19	1,54
3.Paso 3.Pres	372,58	1,63
Ortalama	364,08	1,57
Standart Sapma	7,73	0,06
Aralık	15,11	0,11
4.Paso 1.Pres	369,02	1,53
4.Paso 2.Pres	370,27	1,54
4.Paso 3.Pres	378,43	1,62
Ortalama	372,58	1,56
Standart Sapma	5,11	0,05
Aralık	9,41	0,08



Şekil 7. MDF işleminde her bir paso ve presleme ile oluşan gerilme değerleri (strain %10'da iken)

Tablo 2'de her bir MDF pasosunun üçer preslemesinin neticesinde numune üzerinde meydana gelen gerilme-şekil değişimi değerleri sayısal olarak verilmiştir.

Tablodaki değerler numune boyundaki strain değeri %10'a ulaşınca alınmış olup stress – strain eğri ve sütun grafikleri yukarıda verilmiştir.

Tablo 2 dikkatli incelenirse her iki sütunda önemli bilgiler barındırmaktadır. Şöyle ki: gerilme sütunu incelendiğinde her pasoda gerilmenin arttığı zaten görünmekte olup bu beklenen bir durumdu ve teori doğrulanmış oldu. Fakat her pasonun 3 preslemesinin standart sapmaları incelendiğinde giderek kararlı bir şekilde düşen değerler (31,78'den 5,11'e) görülmektedir. Bu durum malzemenin mikroyapısındaki dislokasyon yoğunluğunun artması sonucu malzemenin giderek doyumuna ulaştığının bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Ayrıca şekil değişimi sütunu incelendiğinde her pasonun üçer preslemesindeki şekil değişimleri yaklaşık aynı değerler olarak dikkat çekmektedir. Bu durum Şekil 4'te de görüldüğü gibi, numunenin her pasodan sonra ilk boyutlarına tekrar döndüğünün ve başlangıç geometrisini koruduğunun bir göstergesidir. SPD yöntemlerini geleneksel yöntemlerden ayıran en önemli özelliklerden biri olan: geometrinin paso sonunda korunması ve böylece işlemin tekrar tekrar uygulanabilmesi ilkesine de bu çalışmada uyulmuş oldu.

Aşağıdaki tabloda ise her bir paso sonrası ilk presleme değerleri verilmiş olup malzemenin o paso sonrası kazanmış olduğunu basma dayanımı gösterilmiş oldu (Tablo 3, strain %10'da iken). Tavlanmış malzemenin basma dayanımı ısıl işlem sonrası ilk presleme değerinden alınmış olup, 4. pasonun basma gerilmesi ise 4 paso MDF sonrası numuneye uygulanan %10 gerinime karşılık gelen basma dayanımı sonucudur.

Tablo 3. MDF işleminde her paso sonrası malzemede oluşan basma dayanımı (strain %10'da iken)

	Basma Gerilmesi (MPa)
Tavlanmış	265,33
1 Paso MDF	324,03
2 Paso MDF	357,47
3 Paso MDF	369,02
4 Paso MDF	382,99

### 3.2. Tartışma

Bu çalışmada MDF işleminin 4 paso uygulanması sonrasında malzemenin sertlik değeri %55.5 oranında artış gösterirken, basma dayanımı ise % 44,3 oranında artmıştır. Bu artışlara rağmen çizgi grafiğinin altındaki alan dikkate alınırsa malzemenin kırılabilirliği artmamış aksine tokluk değeri artmıştır.

Bu çalışmada düşük oranda strain (%10) uygulanmasına rağmen sonuçlar, aynı malzemeye uygulanan bir başka SPD çalışması (TWO-CAP) (Şahbaz, 2021) ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir. TWO-CAP çalışmasında maksimum strain değerine karşılık ölçülen 4 paso sertlik değerinde 61.6% artış elde edilirken, çekme dayanımında 43.2% artış elde edilmiştir.

Khamsepour vd. (2020) yaptığı çalışmada ise, oda sıcaklığında uygulanan MDF işleminin 7 pasosunda saf alüminyumun sertliğini ancak %37 artırabilmişlerdir. Bu durum alaşımlara uygulanan MDF işleminin dislokasyon yoğunluğunu dolayısıyla sertliği saf malzemelere göre daha çok artırdığı yönünde yorumlanabilir.

Bu çalışma ile elde edilen malzeme; yoğunluğuna oranla basma dayanımı yüksek ve kırılabilirliği düşük malzemeye gereksinim duyulan otomotiv ve havacılık gibi endüstrinin birçok farklı alanında kullanılabilir.

## 4. Sonuç

Yapılan çalışma ile AA5083 alaşımına bir SPD metodu olan MDF işlemi 4 pasoya kadar uygulanmıştır. Her bir pasonun hem malzeme sertliğine hem de basma dayanımına önemli oranda etkisi, yapılan testler neticesinde gösterilmiştir. Dört paso MDF sonrasında:

- Malzemenin sertlik değeri 59,8 HB'den 93,0 HB'ye artmıştır.
- Malzemenin basma mukavemeti ise 265,33 MPa'dan 382,99 MPa'ya yükselmiştir.

## 5. Teşekkür

Yazarlar yapılan çalışmada Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarları kullanıldığı için kuruma teşekkürlerini sunar.

## Kaynakça

- Akdoğan, E. (2020). The effects of high density polyethylene addition to low density polyethylene polymer on mechanical, impact and physical properties. *European Journal of Technic*, 10, 25–37. doi: 10.36222/ejt.646693
- Edalati, K., Bachmaier, A., Beloshenko, V. A., Beygelzimer, Y., Blank, V. D., Botta, W. J., ... Zhu, X. (2022). Nanomaterials by severe plastic deformation: review of historical developments and recent advances. *Materials Research Letters*, 10(4), 163–256. doi: 10.1080/21663831.2022.2029779
- Edalati, K., & Horita, Z. (2016). A review on high-pressure torsion (HPT) from 1935 to 1988. *Materials Science and Engineering A*, 652, 325–352. doi: 10.1016/j.msea.2015.11.074
- Faraji, G., Mosavi Mashadi, M., & Kim, H. S. (2011). Tubular channel angular pressing (TCAP) as a novel severe plastic deformation method for cylindrical tubes. *Materials Letters*, 65(19–20), 3009–3012. doi: 10.1016/j.matlet.2011.06.039
- Jandaghi, M. R., Pouraliakbar, H., Shiran, M. K. G., Khalaj, G., & Shirazi, M. (2016). On the effect of non-isothermal annealing and multi-directional forging on the microstructural evolutions and correlated mechanical and electrical characteristics of hot-deformed Al-Mg alloy. *Materials Science and Engineering A*, 657, 431–440. doi: 10.1016/j.msea.2016.01.056
- Khamsepour, P., & Kazeminezhad, M. (2020). The effect of strain rate on multi-directional forged aluminum: Examining the experimental data and modeling results. *Materials Chemistry and Physics*, 239, 122022. doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.122022
- Kishchik, M. S., Mikhaylovskaya, A. V., Kotov, A. D., Mosleh, A. O., AbuShanab, W. S., & Portnoy, V. K. (2018). Effect of multidirectional forging on the grain structure and mechanical properties of the Al-Mg-Mn alloy. *Materials*, 11(11), 2166. doi: 10.3390/ma11112166
- Langdon, T. G. (2007). The principles of grain refinement in equal-channel angular pressing. *Materials Science and Engineering: A*, 462(1–2), 3–11. doi: 10.1016/j.msea.2006.02.473
- Öğüt, S., Kaya, H., Kentli, A., & Uçar, M. (2021). Applying hybrid equal channel angular pressing (HECAP) to pure copper using optimized Exp.-ECAP die. *International Journal*

- of Advanced Manufacturing Technology, 116(11–12), 3859–3876. doi: 10.1007/s00170-021-07717-9
- Özbeyaz, K., Kaya, H., & Kentli, A. (2021). Novel SPD Method: Twisted Variable Channel Angular Extrusion. *Metals and Materials International*, 1–16. doi: 10.1007/s12540-021-01086-4
- Özbeyaz, K., Kaya, H., Kentli, A., Şahbaz, M., & Öğüt, S. (2019). Mechanical properties and electrical conductivity performance of ECAP processed AA2024 alloy. *Indian Journal of Chemical Technology*, 26(26), 266–269.
- Şahbaz, M. (2019). Development of A Novel Severe Plastic Deformation Method for A Thin-Walled Open Section Beam: Thin-Walled Open Channel Angular Pressing (TWO-CAP). PhD Dissertation, Marmara University.
- Şahbaz, M., Kentli, A., & Kaya, H. (2021). Performance of Novel TWO-CAP (Thin-Walled Open Channel Angular Pressing) Method on AA5083. *Metals and Materials International*, 27(7), 2430–2437. doi: 10.1007/s12540-019-00594-8



## Strophoidal Surfaces

Erhan Güler<sup>1\*</sup>, Ömer Kişi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3264-6239), [eguler@bartin.edu.tr](mailto:eguler@bartin.edu.tr)

<sup>2</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6844-3092), [okisi@bartin.edu.tr](mailto:okisi@bartin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1085758)

**ATIF/REFERENCE:** Güler, E. & Kişi, Ö. (2022). Strophoidal Surfaces. *European Journal of Science and Technology*, (34), 745-749.

### Abstract

The mathematicians for centuries have researched the surfaces theory. In this paper, we consider strophoidal surface in three dimensional Euclidean space  $\mathbb{E}^3$ . We present notations of a Euclidean geometry. In addition, stating a helicoidal surface, we define strophoidal surface, and calculate its Gauss map, Gaussian curvature, mean curvature. Finally, we give some relations of the Gaussian curvature and the mean curvature of that kind surfaces.

**Keywords:** 3-space, strophoidal surface, Gauss map, Gaussian curvature, mean curvature.

## Strophoidal Yüzeyler

### Öz

Matematikçiler yüzyıllardır yüzeyler teorisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, üç boyutlu Öklid uzayı  $\mathbb{E}^3$ 'de strophoidal yüzeyi ele aldık. Öklid geometrisinin notasyonlarını sunduk. İlave olarak, bir helisoidal yüzeyi vererek, strophoidal yüzeyi tanımladık ve Gauss tasvirini, Gauss eğriliğini, ortalama eğriliğini hesapladık. Son olarak, bu tür yüzeylerin ortalama eğriliği ve Gauss eğriliği ile ilgili bazı bağlantıları verdik.

**Anahtar Kelimeler:** 3-boyut, strophoidal yüzey, Gauss tasviri, Gauss eğriliği, ortalama eğrilik.

\* Corresponding Author: [eguler@bartin.edu.tr](mailto:eguler@bartin.edu.tr)

### 1. Introduction

The surface theory has been worked for a long years. We see some books for the topic in the literature, such as [1-6].

We consider the strophoidal surface in 3-space. We indicate the notions of 3-space in Section 1. In Section 2, we give helicoidal surface and then, we reveal strophoidal surface, compute its Gauss and mean curvatures. We give some relations for the curvatures of the surface. We serve a conclusion in the last section.

We consider identify a vector (p, q, r) with transpose of it. Next, in  $\mathbb{E}^3$ , we describe the fundamental forms  $I, II$ , shape operator matrix  $\mathcal{S}$ , Gauss curvature  $K$ , mean curvature  $H$  of the surface  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$ .

Let  $\mathbf{s}$  be a surface  $M^2$  in  $\mathbb{E}^3$ . The outer product of  $\vec{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$  and  $\vec{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$  on  $\mathbb{E}^3$  is defined by

$$\vec{\alpha} \times \vec{\beta} = \det \begin{pmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \end{pmatrix}.$$

We consider the following matrices

$$I = (g_{ij})_{2 \times 2},$$

and

$$II = (h_{ij})_{2 \times 2},$$

where

$$g_{11} = \mathbf{s}_u \cdot \mathbf{s}_u,$$

$$g_{12} = \mathbf{s}_u \cdot \mathbf{s}_v = g_{21},$$

$$g_{22} = \mathbf{s}_v \cdot \mathbf{s}_v,$$

$$h_{11} = \mathbf{s}_{uu} \cdot \mathbf{n},$$

$$h_{12} = \mathbf{s}_{uv} \cdot \mathbf{n} = h_{21},$$

$$h_{22} = \mathbf{s}_{vv} \cdot \mathbf{n},$$

" $\cdot$ " is a Euclidean inner product, the unit normal (i.e. the Gauss map) of the surface is given by

$$n = \frac{\mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v}{\|\mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v\|}.$$

We have  $I^{-1} \cdot II$ , and it gives the following shape operator matrix

$$\mathcal{S} = \frac{1}{\det I} \begin{pmatrix} g_{22}h_{11} - g_{12}h_{12} & g_{22}h_{12} - g_{12}h_{22} \\ g_{11}h_{12} - g_{12}h_{11} & g_{11}h_{22} - g_{12}h_{12} \end{pmatrix}.$$

So, we obtain the following Gaussian curvature  $K$  and mean curvature  $H$  formulas

$$K = \det(\mathcal{S})$$

$$= \frac{h_{11}h_{22} - h_{12}^2}{g_{11}g_{22} - g_{12}^2}$$

and

$$H = \frac{1}{2} \text{tr}(\mathcal{S})$$

$$= \frac{g_{11}h_{22} + g_{22}h_{11} - 2g_{12}h_{12}}{2(g_{11}g_{22} - g_{12}^2)}.$$

The surface  $\mathbf{s}$  is flat when  $K = 0$ , and it is minimal  $H = 0$ .

### 2. Strophoidal Surface

In  $\mathbb{E}^3$ , we will give the surface of rotation and the helicoidal surface.

Consider open interval  $I$ , let  $\gamma : I \subset \mathbb{R} \rightarrow \Pi$  be a curve, and  $\ell$  be a line in  $\Pi$ .

We state the rotational surface as a surface rotating the profile curve  $\gamma$  about the axis  $\ell$ .

The profile curve rotates about  $\ell$ , it replaces parallel lines orthogonal to  $\ell$ , then the accelerate of replacement is in proportion to the accelerate of rotation.

Therefore, the above surface is named the *helicoidal surface* having axis  $\ell$ , pitch  $p \in \mathbb{R}^+$ .

The orthogonal matrix is given by

$$M(v) = \begin{pmatrix} \cos v & -\sin v & 0 \\ \sin v & \cos v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Here,  $v \in \mathbb{R}$ . The matrix  $M$  supplies the following, simultaneously,

$$M \cdot \ell = \ell, \quad M^t \cdot M = M \cdot M^t = \mathfrak{I}_3, \quad \det M = 1,$$

where  $\mathfrak{I}_3$  is the identity matrix.

When the rotation axis be  $\ell$ , there is a transformation transformed  $\ell$  to the axis  $x_3$ .

The generating curve is given by

$$\gamma(u) = (f(u), 0, h(u)),$$

where  $f(u), h(u) \in C^k(I, \mathbb{R})$ .

Hence, the helicoidal surface spanned by the  $(0,0,1)$  having pitch  $p$ , is defined by

$$\mathcal{H}(u, v) = M(u) \cdot \gamma(u) + p v \ell^t,$$

where  $u \in I, v \in [0, 2\pi)$ .

So, we have the following helicoidal surface

$$\mathcal{H}(u, v) = \begin{pmatrix} f(u) \cos v \\ f(u) \sin v \\ h(u) + pv \end{pmatrix}.$$

When  $p = 0$ , the helicoidal surface transforms to the rotational surface.

In  $\mathbb{E}^2$ , a strophoid curve is given by

$$c(u) = (\delta, u\delta).$$

where

$$\delta = \frac{u^2 - 1}{u^2 + 1}.$$

In  $\mathbb{E}^3$ , a strophoidal surface (see Figure 1) spanned by the  $(0,0,1)$ , has pitch  $p \in \mathbb{R}^+$ , (see Figure 2 for  $p = 0$ ) is defined by

$$\mathcal{H}(u, v) = \begin{pmatrix} \delta(\cos v - u \sin v) \\ \delta(\sin v + u \cos v) \\ \varphi(u) + pv \end{pmatrix},$$

where the generating space curve is presented by

$$\gamma(u) = (\delta, u\delta, \varphi(u)),$$

where,  $\varphi \in C^k(I, \mathbb{R}), u \in I, p \in \mathbb{R}^+, v \in [0, 2\pi)$ .

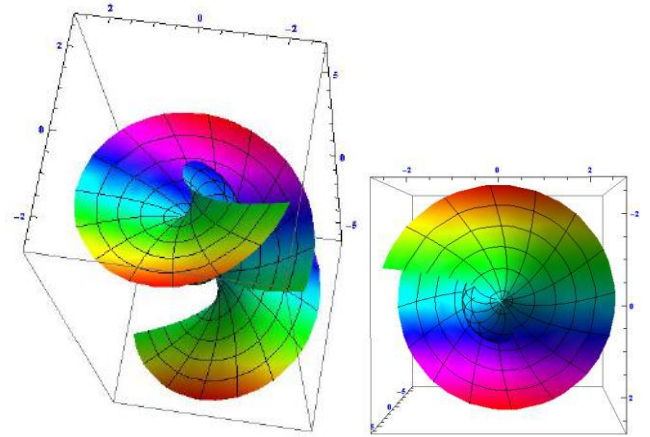


Figure 1. Left: Strophoidal surface, Right: Its top view

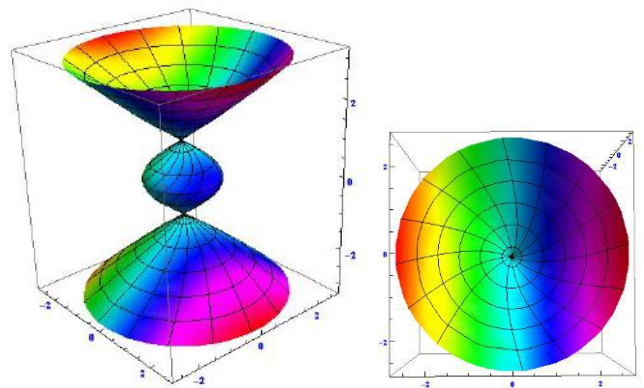


Figure 2. Left: Stropho-rotational surface, Right: Its top view

With the first differentials of the strophoidal surface  $\mathcal{H}(u, v)$  depends on  $u$  and  $v$ , we obtain the following quantities

$$g_{11} = \varphi'^2 + \mu^2 + 1,$$

$$g_{12} = \delta^2 + p\varphi',$$

$$g_{22} = \xi^2 + p^2,$$

and then, we get

$$\det I = \xi^2 \varphi'^2 - 2p\delta^2 \varphi' + (\mu^2 + 1)(\xi^2 + p^2) - \delta^4, \quad \text{where}$$

where

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{2u}{u^2 + 1}, \\ \xi &= \frac{u^2 - 1}{(u^2 + 1)^{1/2}}, \\ \delta &= \frac{u^2 - 1}{u^2 + 1}. \end{aligned}$$

The Gauss map of the surface is given by

$$n = \frac{1}{(\det I)^{1/2}} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix},$$

where

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{1}{(u^2 + 1)^2} \{ (1 - u^4)(\cos v - u \sin v) \varphi' \\ &\quad + ((u^4 + 4u^2 - 1)\cos v + 4u \sin v) p \}, \\ n_2 &= \frac{1}{(u^2 + 1)^2} \{ (1 - u^4)(\sin v - u \cos v) \varphi' \\ &\quad + ((u^4 + 4u^2 - 1)\sin v - 4u \cos v) p \}, \\ n_3 &= u - \frac{4u}{(u^2 + 1)^2}. \end{aligned}$$

In the end, the mean curvature of the strophoidal surface is given by

$$H = \frac{\mathfrak{H}(u)}{2\mathfrak{K}(u)^{3/2}},$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}(u) &= -12 \left( -\frac{1}{12} (u^2 - 1)^2 (u^2 + 1)^3 \varphi'^3 \right. \\ &\quad + p \frac{1}{4} (u^8 - 2u^4 + 1) \varphi'^2 \\ &\quad - \frac{1}{6} \left( \frac{1}{2} u^4 + (p^2 - 1)u^2 + \frac{1}{2} + p^2 \right) (u^6 \\ &\quad + 9u^4 + 3u^2 + 3) \varphi' \\ &\quad - \frac{1}{12} u (u^4 - 1) (u^2 + 3) (u^4 + (p^2 - 2)u^2 \\ &\quad + p^2 + 1) \varphi'' \\ &\quad + \left( -\frac{1}{12} u^8 + \frac{2}{3} u^6 + \left( p^2 - \frac{5}{6} \right) u^4 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{3} (4u^2 + 1) p^2 + \frac{1}{4} \right) p \Big) (u^2 + 1)^2, \end{aligned}$$

and the Gaussian curvature of the strophoidal surface is given by

$$K = \frac{\mathfrak{K}(u)}{\mathfrak{K}(u)^2},$$

where

$$\begin{aligned} \mathfrak{K}(u) &= (u^2 + 1)^3 \left( -3(u^2 + 1)(u - 1)^4 (u + 1)^4 \varphi'^2 \right. \\ &\quad - 2(u - 1)^3 \left( \frac{1}{2} u (u^2 + 3) (u^2 + 1)^2 \varphi'' \right. \\ &\quad \left. + p(u^4 + 3) \right) (u + 1)^3 \varphi' \\ &\quad + p \left( (u^{11} + u^9 - 6u^7 + 2u^5 + 5u^3 - 3u) \varphi'' \right. \\ &\quad \left. + p(u^{10} + 13u^8 + 38u^6 + 70u^4 + 9u^2 \right. \\ &\quad \left. - 3) \right) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \mathfrak{K}(u) &= (u^2 - 1)^2 (u^2 + 1)^3 \varphi'^2 + 2(-u^8 + 2u^4 - 1) p \varphi' \\ &\quad + u^{10} + (p^2 + 4)u^8 + (8p^2 - 2)u^6 \\ &\quad + (14p^2 - 12)u^4 + (8p^2 + 9)u^2 + p^2. \end{aligned}$$



### 3. Conclusion

**Corollary 3.1.** Let  $\mathcal{H} : M^2 \rightarrow \mathbb{E}^3$  be an immersion given by  $\mathcal{H}(u, v)$ .  $M^2$  is minimal iff

$$\mathfrak{H}(u) = 0.$$

**Corollary 3.2.** Let  $\mathcal{H} : M^2 \rightarrow \mathbb{E}^3$  be an immersion given by  $\mathcal{H}(u, v)$ .  $M^2$  is flat iff

$$\mathfrak{K}(u) = 0.$$

**Corollary 3.3.** Let  $\mathcal{H} : M^2 \rightarrow \mathbb{E}^3$  be an immersion given by  $\mathcal{H}(u, v)$ .  $M^2$  has the following relation of the Weingarten

$$H^2 = \frac{\mathfrak{H}^2}{4\mathfrak{K}} K.$$

**Corollary 3.4.** Let  $\mathcal{H} : M^2 \rightarrow \mathbb{E}^3$  be an immersion given by  $\mathcal{H}(u, v)$ .  $M^2$  has umbilic point if and only if

$$\mathfrak{H} = \mp 2\mathfrak{K}^{1/2}.$$

### References

- [1] L.P. Eisenhart, *A Treatise on the Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Dover Publications, N.Y. 1909.
- [2] A.R. Forsyth, *Lectures on the Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Cambridge Un. press, 2nd ed. 1920.
- [3] A. Gray, S. Salamon, and E. Abbena, *Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica*. Third ed. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, 2006.
- [4] H.H. Hacısalihoğlu, *Diferensiyel Geometri I*. Ankara Ün., Ankara, 1982.
- [5] H.H. Hacısalihoğlu, *2 ve 3 Boyutlu Uzaylarda Analitik Geometri*. Ertem Basım, Ankara, 2013.
- [6] J.C.C. Nitsche, *Lectures on Minimal Surfaces, Introduction, Fundamentals, Geometry and Basic Boundary Value Problems*. Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
- [7] M. Spivak, *A Comprehensive Introduction to Differential Geometry, Vol. IV*. Third edition. Publish or Perish, Inc., Houston, Texas, 1999.



# On Lacunary Convergent Complex Uncertain Triple Sequences Determined by Orlicz Function

Ömer Kişi<sup>1\*</sup>, Erhan Güler<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID:), [okisi@bartin.edu.tr](mailto:okisi@bartin.edu.tr)

<sup>2</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3264-6239), [eguler@bartin.edu.tr](mailto:eguler@bartin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1085754)

**ATIF/REFERENCE:** Kişi, Ö. & Güler, E. (2022). On Lacunary Convergent Complex Uncertain Triple Sequences Determined by Orlicz Function. *European Journal of Science and Technology*, (34), 750-756.

## Abstract

In this study, we acquire some new class of lacunary convergent triple sequences by utilizing the notions of uncertainty theory and Orlicz function. We examine some topological features of the established sequence spaces and obtain significant results.

**Keywords:** Almost convergent sequence, Orlicz function, Lacunary sequence, Complex uncertain variable.

# Orlicz Fonksiyonu Tarafından Belirlenen Karmaşık Belirsiz Üç İndisli Dizilerin Lacunary Yakınsaklığı Üzerine

## Öz

Bu çalışmada, belirsizlik teorisi ve Orlicz fonksiyonu kavramları kullanılarak bazı yeni lacunary yakınsak üç indisli dizilerin sınıfını elde ettik. Kurulan dizi uzaylarının bazı topolojik özelliklerini inceledik ve önemli sonuçlar elde ettik.

**Anahtar Kelimeler:** Hemen hemen yakınsak dizi, Orlicz fonksiyonu, Lacunary dizi, Kompleks karmaşık değişken.

\* Corresponding Author: [okisi@bartin.edu.tr](mailto:okisi@bartin.edu.tr)

### 1. Introduction

Theory of uncertainty was firstly originated by Liu [7]. Liu defined convergence notions of sequences of uncertain variables in the same study. The notions of uncertainty theory have been examined from different aspects with applications. Complex uncertain sequence spaces of uncertain variables were worked by Tripathy and Nath [10]. After then, many researchers studied on this topic (see [1,2,6,11]). The concept of lacunary sequences was firstly given by Freedman et al. [3]. The aim of this study is to investigate lacunary convergent complex uncertain triple sequences with regards to (w.r.t.) an Orlicz function in uncertainty space.

Orlicz function is a continuous, non-decreasing and convex function defined as  $M: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$  with  $M(0) = 0, M(x) > 0$  for  $x > 0$  and  $M(x) \rightarrow \infty$  as  $x \rightarrow \infty$ .

Lindenstrauss and Tzafriri [4] utilized the Orlicz function to create the sequence space:

$$l_M = \left\{ y = \{y_p\} \in w : \sum_{p=1}^{\infty} M\left(\frac{|y_p|}{\rho}\right) < \infty, \text{ for some } \rho > 0 \right\},$$

where  $w$  indicates the class of all sequences.

The space  $l_M$  with the norm

$$\|y\| = \inf \left\{ \rho > 0 : \sum_{p=1}^{\infty} M\left(\frac{|y_p|}{\rho}\right) \leq 1 \right\},$$

becomes a Banach space which is named an Orlicz sequence space. Recently, several authors investigated several Orlicz sequences space (see [8 – 9]).

We now present a brief of the uncertainty theory. Let  $L$  be a  $\sigma$  – algebra on a non-empty set  $\Gamma$ .

A set function  $M$  is named an uncertain measure if it supplies the subsequent axioms:

A1:  $M\{\Gamma\} = 1;$

A2:  $M\{\Lambda\} + M\{\Lambda^c\} = 1,$  for any  $\Lambda \in L,$

A3: For each countable sequence of  $\{\mu_j\} \in L,$

we obtain

$$M\left(\bigcup_{j=1}^{\infty} \mu_j\right) \leq \sum_{j=1}^{\infty} M\{\mu_j\}.$$

The triplet  $(\Gamma, L, M)$  is named an uncertainty space, and every element  $\Lambda \in L$  is said an event.

### 2. Material and Method

With the description in the introduction, it can be observed that this study is qualitative with grounded theory method. Papers [6] and [7] supply concepts of convergence of uncertain sequences and also [2], [5] and [9] provide a fundamental survey of the lacunary convergence concepts of uncertain sequences.

By utilizing the notions of uncertainty theory and Orlicz function, we acquire new class of lacunary convergent triple sequences.

### 3. Results and Discussion

Kişİ and Ünal [5] and Tripathy and Nath [10] examined the notions of statistical convergence and lacunary statistical convergence for complex uncertain sequence.

Now, we give the lacunary sequence notions of uncertain triple sequences w.r.t. Orlicz function and examine the relations among them.

**Definition 3.1.** The complex uncertain triple sequence  $(\gamma_{jkl})$  is named to be lacunary strongly convergent almost surely (a.s.) to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$  provided that there is an event  $\Lambda$  with  $M\{\Lambda\} = 1$  such that

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| = 0,$$

for all  $\tau \in \Lambda$ .

**Definition 3.2.** The sequence  $(\gamma_{jkl})$  is named to be lacunary strongly convergent in measure to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$  provided that

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left[ \left\{ \tau \in \Gamma : \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| > \rho \right\} \right] = 0,$$

for each  $\rho > 0$ .

**Definition 3.3.** The sequence  $(\gamma_{jkl})$  is named to be lacunary strongly convergent in mean to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$  provided that

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} E \left[ \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| \right] = 0.$$

**Definition 3.4.** Assume  $\Phi, \Phi_{jkl}, \dots$  be the complex uncertainty distribution of complex uncertain variables  $\gamma, \gamma_{jkl}$  respectively. Then, the sequence  $(\gamma_{jkl})$  lacunary strong convergent in distribution to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$  provided that

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\Phi_{jkl}(z) - \Phi(z)\| = 0$$

for all complex  $z$  at which  $\Phi(z)$  is continuous.

We acquire the relations among the given notions below.

**Theorem 3.1.** When the sequence  $(\gamma_{jkl})$  lacunary strongly convergent in mean to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$ , then  $(\gamma_{jkl})$  lacunary strongly convergent in measure to  $\sigma$ .

*Proof.* With the aid of Markov inequality that for any  $\rho > 0$ , we obtain

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left[ \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| > \rho \right\} \right] \leq \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \frac{E \left[ \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| \right]}{\rho} = 0.$$

Thus,  $(\gamma_{jkl})$  lacunary strongly converges in measure to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$ .

The converse of the theorem is not true. This can be indicated with the subsequent example.

**Example 3.1.** Take into consideration the uncertainty space  $(\Gamma, L, M)$ . It becomes  $\Gamma = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots\}$  with

If

$$\sup_{\tau_{r+s+t} \in \Lambda} \frac{1}{r+s+t+1} < 0.5$$

then

$$M(\Lambda) = \sup_{\tau_{r+s+t} \in \Lambda} \frac{1}{r+s+t+1};$$

if

$$\sup_{\tau_{r+s+t} \in \Lambda^c} \frac{1}{r+s+t+1} < 0.5$$

Then

$$M(\Lambda) = 1 - \sup_{\tau_{r+s+t} \in \Lambda^c} \frac{1}{r+s+t+1};$$

otherwise  $M(\Lambda) = 0.5$ .

Consider uncertain variables as

$$\gamma_{rst}(\tau) = \begin{cases} (r+s+t+1)i, & \text{if } \tau = \tau_{r+s+t}, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

for  $r, s, t \in \mathbb{N}$  and  $\gamma(\tau) \equiv 0$ . For  $\rho > 0$ , we acquire

$$\begin{aligned} \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left[ \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| > \rho \right\} \right] &= \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left[ \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \|\gamma_{jkl}(\tau)\| > \rho \right\} \right] \\ &= \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M(\{\tau_{jkl}\}) = \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \frac{1}{j+k+l+1} \\ &= 0 \end{aligned}$$

as  $(j, k, l) \in I_{rst}$ . The sequence  $\{\gamma_{rst}\}$  lacunary strongly converges in measure to  $\sigma$ .

But for each  $r, s, t \geq 2$ , we get the uncertainty distribution of uncertain variable  $\|\gamma_{rst} - \sigma\| = \|\gamma_{rst}\|$  is

$$\Phi_{rst}(x) = 0, \text{ where } x < 0,$$

$$\Phi_{rst}(x) = 1 - \frac{1}{r+s+t+1}; \text{ where } 0 \leq x < r+s+t+1,$$

$$\Phi_{rst}(x) = 1, \text{ otherwise.}$$

$$\begin{aligned} E \left[ \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| \right] &= \int_0^{r+s+t+1} \left( 1 - \frac{1}{r+s+t+1} \right) dx = 1. \end{aligned}$$

Namely, the  $\{\gamma_{rst}(\tau)\}$  does not converge in mean to  $\sigma(\tau)$  w.r.t. an Orlicz function.

**Theorem 3.2.** Assume the complex uncertain triple sequence  $\{\gamma_{rst}\}$  where  $\{\alpha_{rst}\}$  is the real part and  $\{\beta_{rst}\}$  is the imaginary part, for  $r, s, t \in \mathbb{N}$ . When the sequences  $\{\alpha_{rst}\}$  and  $\{\beta_{rst}\}$  lacunary strongly convergent in measure to  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  respectively w.r.t an Orlicz function  $M$ , then the sequence  $\{\gamma_{rst}\}$  lacunary strongly uniformly convergent in distribution to  $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$ .

*Proof.* The complex uncertainty distribution  $\Phi$  must have a certain point of continuity  $w = q + it$ . For any  $\vartheta > q, \kappa > t$ , we get

$$\begin{aligned} \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t\} &= \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t, \sigma_1 \leq \vartheta, \sigma_2 \leq \kappa\} \\ &\cup \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t, \sigma_1 \leq \vartheta, \sigma_2 > \kappa\} \\ &\cup \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t, \sigma_1 > \vartheta, \sigma_2 > \kappa\} \\ &\cup \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t, \sigma_1 > \vartheta, \sigma_2 \leq \kappa\} \\ &\subseteq \{\sigma_1 \leq \vartheta, \sigma_2 \leq \kappa\} \\ &\cup \{M \|\alpha_{rst}(\tau) - \sigma_1(\tau)\| \geq \vartheta - q\} \\ &\cup \{M \|\beta_{rst}(\tau) - \sigma_2(\tau)\| \geq \kappa - t\} \end{aligned}$$

With the aid of subadditivity axiom

$$\begin{aligned} \Phi_{jkl}(w) &= \Phi_{jkl}(q + it) \\ &\leq \Phi(q + it) \\ &+ M\{\tau \in \Gamma: M\|\alpha_{rst}(\tau) - \sigma_1(\tau)\| \geq \vartheta - q\} \\ &+ M\{\tau \in \Gamma: \|\beta_{rst}(\tau) - \sigma_2(\tau)\| \geq \kappa - t\}. \end{aligned}$$

As  $\{\alpha_{rst}\}$  and  $\{\beta_{rst}\}$  lacunary strongly convergent in measure to  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  respectively w.r.t Orlicz function  $M$ , so for  $\rho > 0$  and  $(j, k, l) \in I_{rst}$

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\alpha_{rst}(\tau) - \sigma_1(\tau)\| \geq \vartheta - q > \rho \right\} = 0$$

and

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\beta_{rst}(\tau) - \sigma_2(\tau)\| \geq \kappa - t > \rho \right\} = 0.$$

As a result, we get

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \sup \Phi_{jkl}(w) \leq \Phi(q + it).$$

for any  $\vartheta > q, \kappa > t$ . Taking  $\vartheta + i\kappa \rightarrow q + it$ , we obtain  $\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \sup \Phi_{jkl}(w) \leq \Phi(w)$ .

On the other hand, for any  $x < q, y < t$  we acquire

$$\begin{aligned} \{\sigma_1 \leq x, \sigma_2 \leq y\} &= \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t, \sigma_1 \leq x, \sigma_2 \leq y\} \\ &\cup \{\alpha_{rst} > q, \beta_{rst} \leq t, \sigma_1 \leq x, \sigma_2 \leq y\} \\ &\cup \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} > t, \sigma_1 \leq x, \sigma_2 \leq y\} \\ &\cup \{\alpha_{rst} > q, \beta_{rst} > t, \sigma_1 \leq x, \sigma_2 \leq y\} \\ &\subseteq \{\alpha_{rst} \leq q, \beta_{rst} \leq t\} \\ &\cup \{M\|\alpha_{rst} - \sigma_1\| > q - x\} \\ &\cup \{M\|\beta_{rst} - \sigma_2\| > t - y\} \end{aligned}$$

which means

$$\begin{aligned} \Phi_{jkl}(x + iy) &\leq \Phi(q + it) \\ &+ M\{\tau \in \Gamma: M\|\alpha_{rst}(\tau) - \sigma_1(\tau)\| \geq q - x\} \\ &+ M\{\tau \in \Gamma: \|\beta_{rst}(\tau) - \sigma_2(\tau)\| \geq t - y\}. \end{aligned}$$

Since

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\alpha_{rst}(\tau) - \sigma_1(\tau)\| \geq q - x > \rho \right\} = 0$$

and

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\beta_{rst}(\tau) - \sigma_2(\tau)\| \geq t - y > \rho \right\} = 0,$$

we get

$$\Phi(x + iy) \leq \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \inf \Phi_{jkl}(q + it)$$

for any  $x < q, y > t$ . Taking  $x + iy \rightarrow q + it$ , we obtain

$$\Phi(w) \leq \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \inf \Phi_{jkl}(w).$$

From the relations

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \sup \Phi_{jkl}(w) \leq \Phi(w)$$

and  $\Phi(w) \leq \lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \inf \Phi_{jkl}(w)$  that  $\Phi_{jkl}(w) \rightarrow \Phi(w)$  as  $r, s, t \rightarrow \infty$  and  $(j, k, l) \in I_{rst}$ . Namely,  $\{\gamma_{rst}\}$  lacunary strongly uniformly convergent in distribution to  $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$ .

**Theorem 3.3.** If  $(\gamma_{jkl})$  is lacunary strongly convergent uniformly a.s. to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$ , then  $(\gamma_{jkl})$  is lacunary strongly convergent in measure to  $\sigma$  w.r.t. that Orlicz function  $M$ .

*Proof.* If  $(\gamma_{jkl})$  lacunary strongly convergent uniformly a.s. to  $\sigma$  w.r.t. an Orlicz function  $M$ , then

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} M \left( \bigcup_{(j,k,l) \in I_{rst}} \left\{ \tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| > \rho \right\} \right) = 0.$$

But

$$M\left(\left\{\tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| > \rho\right\}\right) \leq M\left(\bigcup_{(j,k,l) \in I_{rst}} \left\{\tau \in \Gamma: \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\|\gamma_{jkl}(\tau) - \sigma(\tau)\| > \rho\right\}\right).$$

So,  $(\gamma_{jkl})$  is lacunary strongly convergent in measure to  $\sigma$  w.r.t. that Orlicz function  $M$ .

Here, we present some new classes of sequences of uncertain variables utilizing an Orlicz functions. Now, we present the fundamental features of the spaces  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_0, [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_1, [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$  and acquire some significant results.

**Theorem 3.4.** *The complex uncertain sequence classes*

$$[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_0, [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_1, [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$$

are linear spaces.

*Proof.* We demonstrate the consequence for the class of complex uncertain sequence  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$ .

The other situations can be showed in the similar manner. Assume  $(\gamma_{jkl}), (\mu_{jkl}) \in [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$  and  $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$ . Then, there exist  $\rho_1, \rho_2 > 0$  such that

$$\sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1}\right) < \infty$$

and

$$\sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2}\right) < \infty.$$

Take  $\rho_3 = \max(2\alpha\rho_1, 2\beta\rho_2)$ .

As  $M$  is non-decreasing and convex, we get

$$\begin{aligned} & \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\alpha\gamma_{jkl}(\tau) + \beta\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_3}\right) \\ & \leq \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\alpha\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_3}\right) + \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\beta\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_3}\right) \\ & \leq \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} \frac{1}{2} \left[ M\left(\frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1}\right) + M\left(\frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2}\right) \right] \\ & \leq \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1}\right) + \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2}\right) \\ & \Rightarrow \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\alpha\gamma_{jkl}(\tau) + \beta\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_3}\right) \\ & \leq \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1}\right) \\ & + \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2}\right) < \infty. \end{aligned}$$

So, we obtain  $\alpha\gamma_{jkl}(\tau) + \beta\mu_{jkl}(\tau) \in [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$ . As a result  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$  is a linear space.

**Theorem 3.5.** *The spaces  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_0, [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_1$  and  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$  are solid.*

*Proof.* Take  $(\gamma_{jkl}) \in [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_0$ . Then, there is a  $\rho > 0$  such that

$$\lim_{r,s,t \rightarrow \infty} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho}\right) = 0.$$

Assume  $(\alpha_{jkl})$  be a sequence of scalars such that  $|\alpha_{jkl}| \leq 1$ . Then, for all  $r, s, t$  we get

$$\frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\alpha_{jkl}\gamma_{jkl}(\tau)}{\rho}\right) \leq \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\gamma_{jkl}(\tau)}{\rho}\right).$$

Therefore, we obtain

$$\frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M\left(\frac{\alpha_{jkl}\gamma_{jkl}(\tau)}{\rho}\right) = 0,$$

so,  $(\alpha_{jkl}\gamma_{jkl}(\tau)) \in [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_0$ .

**Theorem 3.6.** *For any Orlicz function  $M, [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_\infty$  is a normed linear space whose norm is determined by*

$$g(\gamma) = \inf \left\{ \rho > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}\|}{\rho} \right) \leq 1, \right. \\ \left. r, s, t = 1, 2, 3, \dots \right\}.$$

The infimum is taken over all  $\rho > 0$ .

*Proof.* Obviously,  $g(\gamma_{jkl}) \geq 0$ , for all  $(\gamma_{jkl}) \in [N_{\theta_{r,s,t}}, M]_{\infty}$  and  $g(\bar{\theta}) = 0$ . Assume  $\rho_1, \rho_2 > 0$  be such that

$$\sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1} \right) \leq 1,$$

$$\sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2} \right) \leq 1.$$

Take  $\rho = \rho_1 + \rho_2$ . Then, we obtain

$$\begin{aligned} & \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau) + \mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho} \right) \\ & \leq \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau) + \mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1 + \rho_2} \right) \\ & \leq \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} \frac{\rho_1}{\rho_1 + \rho_2} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1} \right) \\ & \quad + \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} M \left( \frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2} \right) \\ & \leq \frac{\rho_1}{\rho_1 + \rho_2} \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1} \right) \\ & \quad + \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2} \right) \leq 1. \end{aligned}$$

As the  $\rho$ 's are not negative, so we get,

$$\begin{aligned} & g(\gamma_{jkl}(\tau) + \mu_{jkl}(\tau)) \\ & = \inf \left\{ \rho \right. \\ & \quad \left. > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau) + \mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho} \right) \leq 1 \right\} \\ & = \inf \left\{ \rho_1 > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho_1} \right) \leq 1 \right\} \\ & \quad + \inf \left\{ \rho_2 > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\mu_{jkl}(\tau)\|}{\rho_2} \right) \leq 1 \right\} \\ & = g(\gamma_{jkl}(\tau)) + g(\mu_{jkl}(\tau)) \end{aligned}$$

As a result

$$g(\gamma_{jkl}(\tau) + \mu_{jkl}(\tau)) = g(\gamma_{jkl}(\tau)) + g(\mu_{jkl}(\tau)).$$

Now,  $\xi \in \mathbb{C}$ , suppose  $\xi \neq 0$ , then

$$\begin{aligned} g(\xi \gamma_{jkl}(\tau)) & = \inf \left\{ \rho \right. \\ & \quad \left. > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\xi \gamma_{jkl}(\tau)\|}{\rho} \right) \right. \\ & \quad \left. \leq 1 \right\} \\ & = \inf \left\{ |\xi| r \right. \\ & \quad \left. > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\xi \gamma_{jkl}(\tau)\|}{r} \right) \right. \\ & \quad \left. \leq 1 \right\}; r = \frac{\rho}{|\xi|} \\ & = \inf \left\{ r \right. \\ & \quad \left. > 0 : \sup_{rst} \frac{1}{h_{rst}} \sum_{(j,k,l) \in I_{rst}} M \left( \frac{\|\gamma_{jkl}(\tau)\|}{r} \right) \leq 1 \right\} \\ & = |\xi| g(\gamma_{jkl}(\tau)). \end{aligned}$$

This finalizes the proof

**Theorem 3.7.** The spaces

$[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_0$ ,  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_1$  and  $[N_{\theta_{r,s,t}}, M]_{\infty}$  are monotone.

## 4. Conclusions and Recommendations

This study establishes the various lacunary strongly convergent notions of the triple sequences of uncertain variable with regards to Orlicz function. The consequence obtained here generalizes the existing conclusions.

## 5. Acknowledge

The authors also thank to the reviewers for their comments and suggestions in this article.

## References

- [1] Chen, X., Ning, Y., & Wang, X. (2016). Convergence of complex uncertain sequences. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 30(6), 3357-3366. <https://doi.org/10.3233/IFS-152083>
- [2] Dowari, P. J., & Tripathy, B.C. (2021). Lacunary sequences of complex uncertain variables defined by Orlicz functions. *Proyecciones*, 40(2), 355-370.
- [3] Freedman, A. R., Sember, J. J., & Raphael, M. (1978). Some Cesàro-type summability spaces. *Proc. Lond. Math. Soc.*, s3-37(3), 508-520. <https://doi.org/10.1112/plms/s3-37.3.508>
- [4] Kamthan, P. K., & Gupta, M. (1981). *Sequence spaces and series*. Lecture notes in pure and applied mathematics 65, New York: Marcel Dekker Inc.
- [5] Kiş, Ö., & Ünal, H. K. (2019). Lacunary statistical convergence of complex uncertain sequence. *Sigma J. Eng. & Nat. Sci.*, 10(3), 277-286.
- [6] Liu, B. (2009). Some research problems in uncertainty theory. *J. Uncertain Syst.*, 3(1), 3-10.
- [7] Liu, B. (2015). *Uncertainty theory*. Berlin: Springer, vol. 4. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44354-5>
- [8] Tripathy, B. C., & Mahanta, S. (2003). On a class of sequences related to the  $l_p$  space defined by Orlicz functions. *Soochow J. Math.*, 29(4), 379-391.
- [9] Tripathy, B. C., & Mahanta, S. (2004). On a class of generalized lacunary difference sequence spaces defined by Orlicz functions. *Acta Math. Appl. Sin.*, 20(2), 231-238. <https://doi.org/10.1007/s10255-004-0163-1>
- [10] Tripathy, B. C., & Nath, P. (2017). Statistical convergence of complex uncertain sequences. *New Math. Nat. Comput.*, 13(2), 359-374. <https://doi.org/10.1142/S1793005717500090>
- [11] You, C. (2009). On the convergence of uncertain sequences. *Math Comput Model.*, 49(3-4), 482-487. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.07.007>





# Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemelerde Termal Yaşlandırmanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Mehmet Şahbaz<sup>1</sup>, Erkin Akdoğan<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6379-8345), mehmetshahbaz@kmu.edu.tr, \* (ORCID: 0000-0001-6993-6972), eakdogan@kmu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084996)

**ATIF/REFERENCE:** Şahbaz, M., & Akdoğan, E. (2022). Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemelerde Termal Yaşlandırmanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (34), 757-762.

## Öz

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeler günlük yaşamımızda çoğu yerde karşımıza çıkmaktadır. Kullanım yerine göre çeşitli özelliklerde üretiliyor olması bu malzemelerin kullanımını arttırmaktadır. HDPE malzemeler metallerle kıyasla kimyasallara karşı direncinin yüksek olması avantajlarından biridir. Buna karşın termal etkiler sonucu mekanik özelliklerinde bir miktar değişim gözlemlenebilmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi ve ortaya çıkarılması da büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada HDPE numuneler plastik enjeksiyon makinesinde üretilmiştir. Üretilen numunelere fırın içerisinde 90 °C sıcaklıkta 96 h yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapay yaşlandırma yapılan ve yapılmayan malzemelerin çekme deneyi, üç nokta eğilme deneyi, basma deneyi, yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapay yaşlandırma yapılan numunelerin çekme deneyi sonucu elastisite modülü ve çekme dayanımında artış görülmüş olup buna karşın kopma uzaması değerlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Üç nokta eğilme deneyi sonuçlarında ise yaşlandırma işleminin eğilme dayanımı ve eğilmede elastisite modülü değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı görülmüştür. Basma deneylerinde benzer şekilde basma dayanımı ve basmada elastisite modülü değerlerini arttırdığı buna karşın yırtılma deneyinde yırtılma direncinin düştüğü belirlenmiştir. Sertlik ölçüm deneylerinde de ise yapay yaşlandırma yapılan numunelerin sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek yoğunluklu polietilen, Termal yaşlandırma, Çekme deneyi, Üç nokta eğilme deneyi, Basma deneyi, Yırtılma deneyi, Sertlik

## Investigation the Effects of Thermal Aging on Mechanical Properties of High Density Polyethylene Materials

### Abstract

High-density polyethylene (HDPE) materials appear in many places in our daily lives. The fact that it can be produced in various properties according to the place of use increases the use of these materials. One of the advantages of HDPE materials are high chemical resistance compared to metals. On the other hand, some change in mechanical properties can be observed as a result of thermal effects. Identifying and revealing these properties are also of great importance. In this study, HDPE samples were produced in a plastic injection machine. Thermal aging of the produced samples was carried out in the oven at 90 °C for 96 h. Tensile test, three-point bending test, compression test, tear test and hardness test of materials with and without artificial aging were carried out. As a result of the tensile test of the artificially aged samples, an increase was observed in the modulus of elasticity and tensile strength, but a significant decrease was observed in the elongation at break values. In the three-point bending test results, it was observed that the aging process significantly increased the flexural strength and modulus of elasticity in bending. Similarly, it was determined that the compressive strength and the modulus of elasticity in compression increased in the compression tests, whereas the tearing resistance decreased in the tearing test. In the hardness measurement experiments, an increase was observed in the hardness values of the thermally aged samples.

**Keywords:** High density polyethylene, Thermal aging, Tensile test, Three point bending test, Compression test, Tear test, Hardness

\*Sorumlu Yazar : [eakdogan@kmu.edu.tr](mailto:eakdogan@kmu.edu.tr)

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

## 1. Giriş

HDPE malzemeler ucuzluk, yalıtım, mekanik özellik, kolay şekillendirilebilirlik ve kimyasal açıdan dirençli olduğu için çeşitli amaçlarda kullanılabilen malzemelerdir. Bu özellikleri sebebiyle makine, kimya, fizik, tekstil, endüstri, tıp, biyokimya, biyofizik ve otomotiv gibi alanlarda geniş kullanıma sahiptir (Akdoğan, 2018; Akdoğan ve Bektaş, 2019; Akdoğan, 2020). HDPE malzemeler termoplastik (ısı ile şekil değiştirebilen) polimer grubu içerisinde poliolefin ailesinin bir alt grubu olan polietilen çeşitlerinden biridir. Yapısında bulunan metilen (CH<sub>2</sub>) monomerleri birbiri arasında kovalent bağ yaparak etileni (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) oluştururlar. Etilen molekülleri; radikal, anyonik, iyon ve kationik polimerizasyon metotları ile polietilen polimerini oluşturur. HDPE malzemelerin üretim yöntemi sırasıyla kimyasal proses olarak polimerizasyon işlemi ardından mekanik ve termal işlem ile istenen parçanın üretilmesi işlemidir. Tekrar tekrar ısı etkisi ve mekanik işlemler ile şekillendirilerek son halini alabilmektedirler. Polimerizasyon sonrası; enjeksiyon ile kalıplama, gaz takviyeli enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme film ekstrüzyon, döndürme kalıplama basınçlı kalıplama ve transfer kalıplama başlıca nihai üretim metotlarından (Saçak, 2008; Akkurt, 2007; Akdoğan, 2019).

Isı karşısında fiziksel özelliklerinde bir miktar değişim gösterebilmekle birlikte tekrar kalıplama ve şekillendirme işlemi yapılabilmektedirler. Dolayısıyla ısıll durumlara göre özelliklerinin araştırılması da önemli bir konudur. Literatürde farklı sürelerde ve ısıll uygulamalarda HDPE malzemelerde termal yaşlandırma çalışmaları mevcuttur.

Li vd. (2021) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeye CeO<sub>2</sub> nanopartikülleri ilave ederek termal yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. HDPE malzemeyi 80 °C sıcaklıkta 5, 10, 15, 20 ve 25 gün süreyle tutarak ısıll prosesi tamamlamışlardır. CeO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin HDPE'in yaşlanma özelliklerini yavaşlattığı ilaveten sertlik değerlerini ve aşınma direnci değerlerini arttırdığını belirlemişlerdir. Katkısız HDPE'nin artan yaşlandırma sürelerinde sertlik değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Zhao vd. (2018) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeyi 90 °C sıcaklıkta 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 ve 56 gün süre ile termal yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Yaşlandırma süresi uzadıkça çekme dayanımının arttığını belirlemişlerdir. 28 gün bekletme süresinde en yüksek kopma uzaması değerinin görüldüğü artan sürelerde düştüğünü buna karşın en yüksek çekme dayanımının da 42 gün bekletme süresinde olduğunu belirlemişlerdir.

Bir diğer çalışmada (Ting vd., 2015) HDPE polimerine kütlece %2, 5, 8 ve 10 oranlarında öğütülmüş soya tozu (SSP) ilavesi yapılmıştır. Numuneleri 60 °C sıcaklıktaki fırında 1, 3, 7, 14 ve 21 gün bekleterek çekme testine tabi tutmuşlardır. Artan SSP oranlarının HDPE'nin mekanik özelliklerini düşürdüğünü bununla birlikte 3 gün ve üstü bekletme sürelerinde katkısız HDPE malzemenin mekanik özelliklerinin belirgin bir şekilde düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Ferhoum vd. (2012) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeye 5 °C/min sıcaklık artış hızında, 90 °C sıcaklıkta sırasıyla 48 h, 96 h, 144 h ve 192 h ısıll işlem uygulamışlardır. Yapılan termal yaşlandırma işlemi sonucu malzemenin mekanik özelliklerinin arttığını tespit etmişlerdir. FTIR analizleri sonucu iç yapıda kimyasal olarak herhangi bir değişim görmemişlerdir. X-ışını

kristalografisi analizinde de FTIR analizini destekler şekilde değişim tespit etmemişlerdir.

Kartalis vd. (2001) yaptıkları çalışmada HDPE geri dönüşüm plastik şişelerden elde edilmiş malzemelerin yapay yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Isıl işlemler 110 °C sıcaklıkta 550, 1100, 2200, 3300, 4400, 6600 ve 8800 saat tutularak gerçekleştirilmişlerdir. Artan yaşlandırma süresi ile çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin arttığını buna karşın kopma uzaması değerlerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Bununla birlikte DSC testleri sonucu artan ısıll yaşlandırma süresinde kristal oranının arttığını tespit etmişlerdir.

Blom vd. (1995) yaptıkları çalışmada HDPE ve polipropilen (PP) polimerlerini çift vidalı ekstrüderde karıştırıp farklı oranlarda karışımlar elde etmişlerdir. Yapay yaşlandırma işlemi 75 °C sıcaklıkta 7 gün boyunca gerçekleştirilmişlerdir. Yapay yaşlandırma işleminin saf HDPE malzeme eğilme durumuna göre elastisite modülü değerlerinde dikkate değer bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir. İlaveten çekme durumuna göre akma sınırı değeri ve uzama oranının bir miktar arttığını buna karşın çekme dayanımı değerinde dikkate değer bir artış göstermediğini gözlemlemişlerdir.

Yapılan yaşlandırma işlemi Ferhoum vd. (2012) yaptıkları çalışmadan yola çıkılarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek elastisite modülü ve mekanik özelliklerin 90 °C sıcaklıkta 96 h süre ile tutarak belirledikleri için bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen malzemelere 90 °C sıcaklıkta 96 h yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ferhoum vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmadan farklı olarak çekme deneyine ilaveten üç nokta eğilme deneyi, basma deneyi, yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilip sonuçları kıyaslanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzemeler

HDPE polimeri, enjeksiyon ile kalıplamaya uygun olan PETKİM firmasının 5,5 g/10 min (190 °C / 2,16 kg) erime akış hızına sahip, granül şeklinde Petilen I668 ticari ürünü kullanılmıştır. Şekil 1'de HDPE granül hammadde gösterilmiştir.



Şekil 1. HDPE granül hammadde (Akdoğan, 2019)

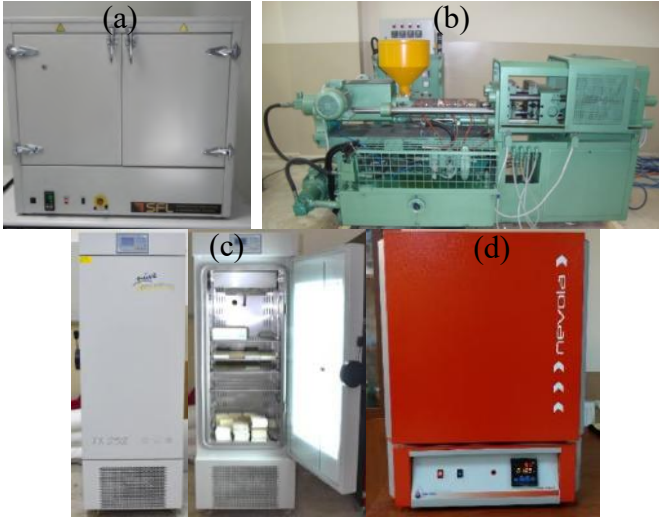
### 2.2. Numunelerin Hazırlanması

HDPE granüller plastik enjeksiyon makinesinden önce etüvde 60 °C'de 4 saat boyunca kurutulmuştur. Ardından vida çapı 35 mm, L/D oranı 30 ve kalıp kapama gücü 70 ton olan plastik enjeksiyon makinesinde besleme bölgesinden nozul bölgesine doğru 170-180-190-200 °C sıcaklıklarda eritilerek kalıba basım işlemleri gerçekleştirilip, numuneler üretilmiştir. Tüm numuneler yapılan testlerin öncesinde ASTM D618 standardına göre (ASTM Std. D618, 2021) 40 saat boyunca 23 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemde Nüve marka TK252 model şartlandırma ünitesinde bekletilmiştir.

Plastik enjeksiyon makinesinde üretilen numuneler  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hızda  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa çıkartılıp bu sıcaklıkta 96 saat boyunca Nevola marka Reis serisi 120/12 model kül fırınında tutulmuştur. Testlerde kullanılacak olan numunelerin kodları Tablo 1’de verilmiştir. Şekil 2’de etüv, plastik enjeksiyon makinesi, şartlandırıcı ünitesi ve fırın gösterilmiştir.

Tablo 1. Isıl işlemsiz ve ısı işlemlili numune kodları

No	Numune	Kod
1	HDPE Isıl İşlemsiz	HDPE
2	HDPE $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 96 Saat	HDPE90_96h



Şekil 2. Üretimde kullanılan makineler a) etüv, b) plastik enjeksiyon makinesi, (c) şartlandırıcı ünitesi (Akdoğan, 2020) ve (d) fırın

### 2.3. Yapılan Deneyler

Yaşlandırma yapılmış ve yapılmamış numunelerin FTIR analizleri Bruker marka Vertex 70 model cihazda  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  dalga boylarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Bruker marka Vertex 70 model cihaz

Çekme deneyleri ASTM D638 (Tip-IV) standardına göre (ASTM Std. D638, 2017)  $50\pm 5\text{ mm}/\text{min}$  çekme hızında Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Numune boyutları Şekil 5(a)’da verilmiştir. 6 adet numune teste tabi tutulmuştur. Deneylerden çekme dayanımı, kopma dayanımı, çekme durumuna göre elastisite modülü, kopma uzaması ve malzemenin tokluk değerleri hesap edilmiştir.

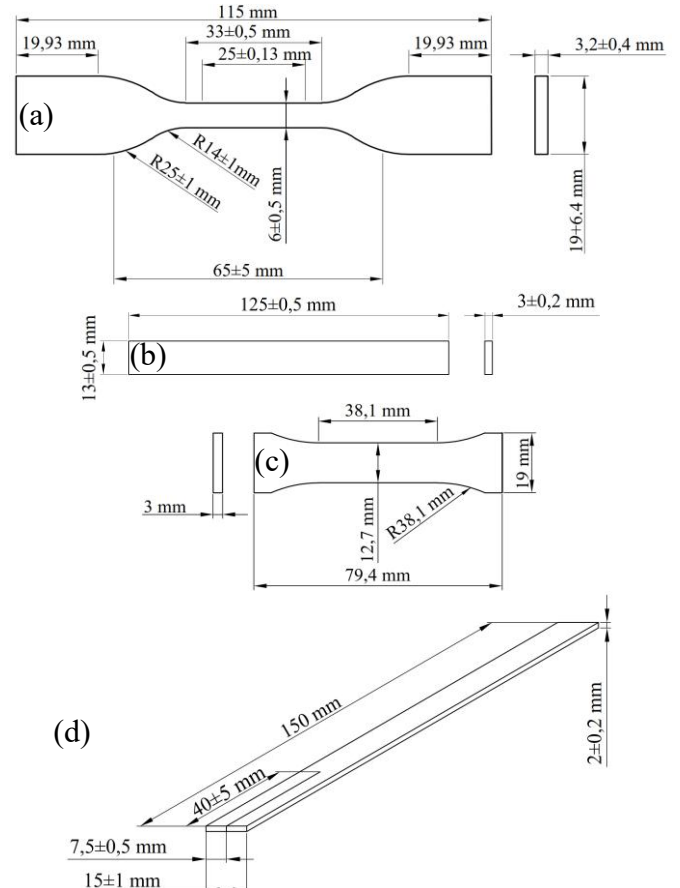
Üç noktadan eğme deneyleri ASTM D790 standardına göre (ASTM Std. D790, 2017)  $1,4564\text{ mm}/\text{min}$  ilerleme hızında Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları Şekil 5(b)’te verilmiş olup 6 adet numune teste tabi

tutulmuştur. Deneylerden eğilme dayanımı ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerleri hesap edilmiştir. Eğilme dayanımı değerleri standartta belirtilen eğilme durumuna göre %5 şekil değişimindeki değerleri alınmıştır.

Basma deneyleri ASTM D695 standardına göre (ASTM Std. D695, 2016) 3,2 mm kalınlık altı numune boyutlarında (Şekil 5(c));  $1,3\text{ mm}/\text{min}$  ilerleme hızında Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Her reçete için 6 adet numune teste tabi tutulmuştur. Basma deneyi sonrası basma dayanımı, basmada akma sınırı ve basma durumuna göre elastisite modülü değerleri hesap edilmiştir. Basma dayanımı değerlerinde %10 şekil değişimindeki değerler dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Shimadzu AGS-X 100 kN universal çekme-basma test cihazı (Akdoğan, 2020)



Şekil 5. Numune boyutları; a) çekme deneyi, b) üç nokta eğilme deneyi, c) basma deneyi ve d) yırtılma deneyi (Akdoğan, 2020)

Yırtılma dayanımı deneyi ASTM D624 (Tip-T) standardına göre (ASTM Std. D624, 2020) her bir numune serisi için 6 numuneden gerçekleştirilmiştir. Testler, Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında  $50 \pm 5$  mm/min çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları Şekil 5(d)'te verilmiştir. Yırtılma testlerinden malzemelerin yırtılma dayanımları hesap edilmiştir.

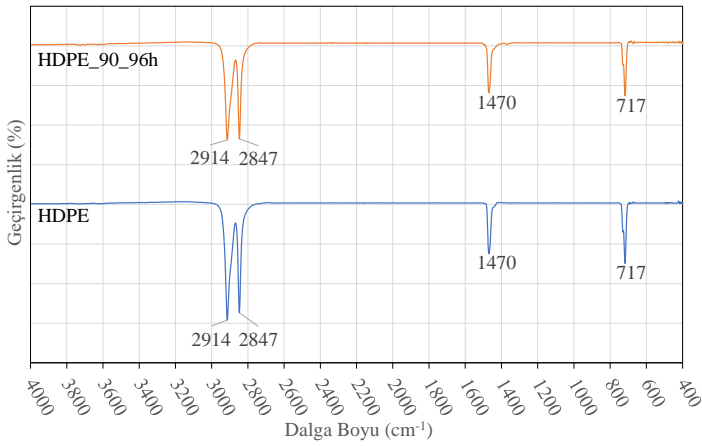
Sertlik ölçümleri ASTM D2240 standardına göre (ASTM Std. D2240, 2021) X.F Shore-D sertlik ölçüm cihazında (Şekil 6) 6 farklı numune üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. X.F Shore-D sertlik ölçüm cihazı (Akdoğan, 2020)

### 3. Bulgular

Yapay yaşlandırma yapılmış ve yapılmamış HDPE numunelerinin FTIR analizlerinde farklılık görülmemiş olup hemen hemen aynı pik noktaları vermiş olduğu görülmüştür (Şekil 7). İç yapısında kimyasal açıdan bir değişiklik olmadığı görülmüştür. HDPE metilen poli-alken sınıfından  $CH_2$  gruplarının n molekül sayısında birbirine bağlanmasıyla oluşmaktadır.  $CH_2$  moleküllerinde  $2914 \text{ cm}^{-1}$  bandında C-H gerilme ve asimetric bağlanma,  $2847 \text{ cm}^{-1}$  bandında gerilme ve simetric bağlanma,  $1470 \text{ cm}^{-1}$  bandında C-H eğilme,  $717 \text{ cm}^{-1}$  bandında C-H eğilme durumlarının olduğu belirlenmiştir (Akdoğan, 2019).

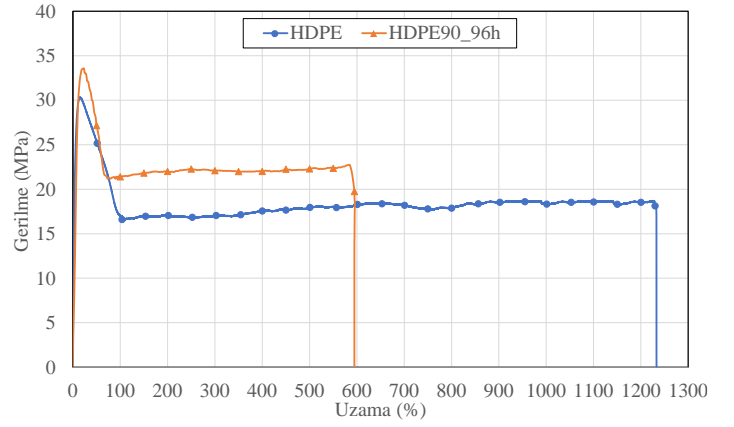


Şekil 7. HDPE ve HDPE90\_96h malzemelerin FTIR analizi

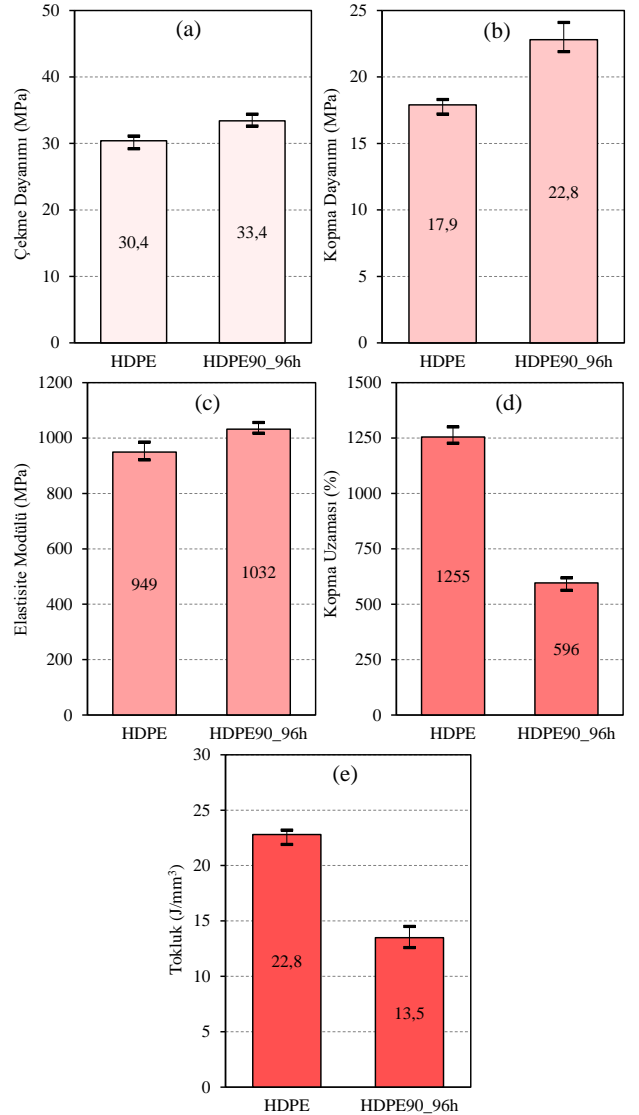
Çekme deneyleri sonucu oluşturulan gerilme-uzama grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Deney sonucu hesaplanan sayısal değerler Tablo 2'de verilmiştir. Çekme deneyi sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 2. Çekme deneyi sonuçları

Kod	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Tokluk ( $J/mm^3$ )
HDPE	30,4±0,7	17,9±0,5	949±27	1255±34	22,8±0,6
HDPE90_96h	33,4±0,7	22,8±0,8	1032±14	596±20	13,5±0,7



Şekil 8. HDPE ve HDPE90\_96h malzemelerin çekme deneyi sonucunda oluşan Gerilme (MPa) - Uzama grafikleri (%)



Şekil 9. Çekme deneyi sonuçları a) çekme dayanımı, b) kopma dayanımı, c) çekme durumunda elastisite modülü, d) kopma uzaması ve e) tokluk sonuçları kıyaslaması

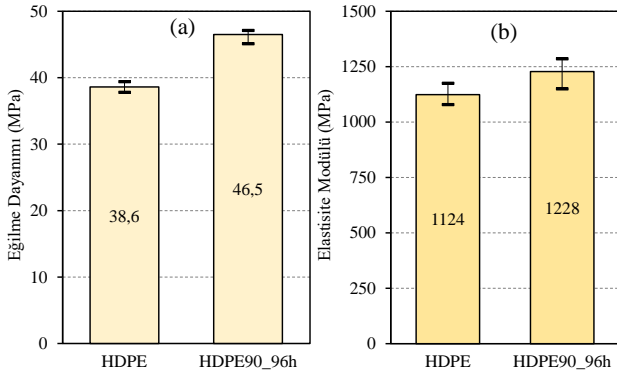
Yapılmış olan termal işlemin çekme dayanımı ve kopma dayanımı değerlerinde sırasıyla %10 ve %27'lik bir artışa sebep olurken kopma uzaması değerlerinde dikkate değer bir şekilde %53'lük bir düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir. Çekme durumuna göre elastisite modülü değerlerinin %9 arttığı buna karşın tokluk değerinin ise kopma uzaması değerleriyle uyum

içerisinde olarak %41 oranında belirgin bir şekilde düştüğü tespit edilmiştir.

Eğilme deneyi sonuçlarından eğilme dayanımı ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Eğilme deneyi sonuçlarının grafiksel olarak kıyaslaması Şekil 10'da verilmiştir. Yapılan yaşlandırma işlemi eğilme dayanımı ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerlerinin sırasıyla %20 ve %9 oranlarında arttığı belirlenmiştir.

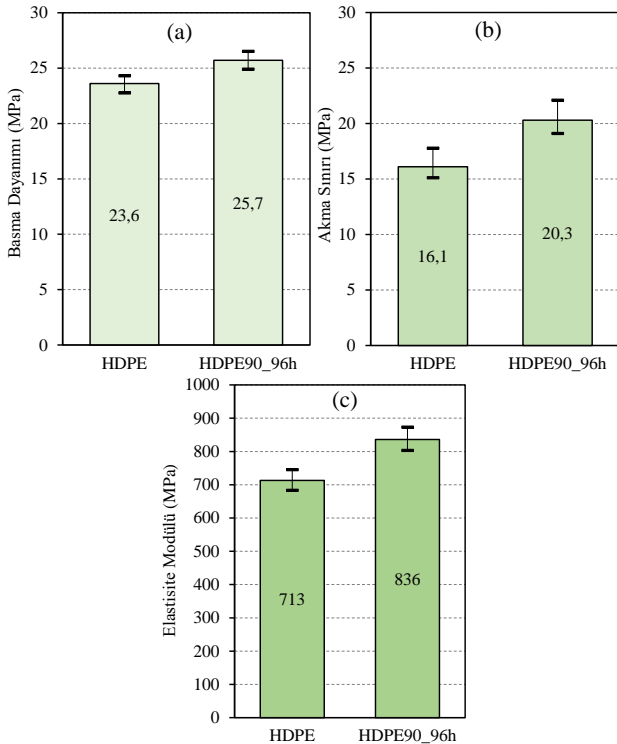
Tablo 3. Eğilme deneyi sonuçları

Kod	Eğilme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
HDPE	38,6±0,7	1124±36
HDPE90_96h	46,5±0,8	1228±53



Şekil 10. Eğilme deneyi sonuçları (a) eğilme dayanımı ve (b) eğilme durumunda elastisite modülü kıyaslaması

Yapılan yaşlandırma işleminin basma dayanımı, basma durumuna göre akma sınırı ve elastisite modülü değerlerini sırasıyla %9, %26 ve %17 oranlarında arttırdığı görülmüştür (Şekil 11). Basma deneyi sayısal sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 11. Basma deneyi sonuçları (a) basma dayanımı ve (b) basma durumunda elastisite modülü kıyaslaması

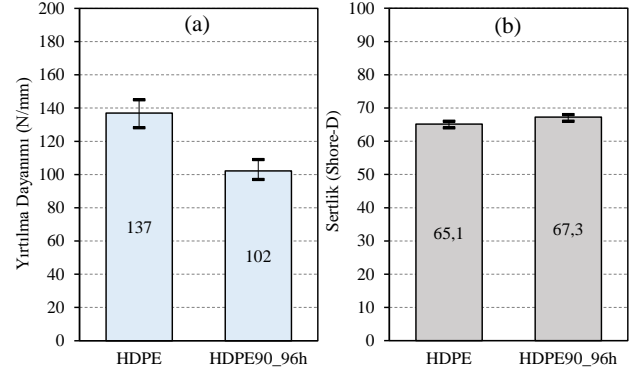
Tablo 4. Basma deneyi sonuçları

Kod	Basma Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
HDPE	23,6±0,6	16,1±0,9	713±25
HDPE90_96h	25,7±0,7	20,3±1,1	836±28

Yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. HDPE polimerine yapılan yaşlandırma işlemi yırtılma dayanımı değerlerini yaklaşık %25 düşürürken (Şekil 12(a)) sertlik değerlerini yaklaşık %3 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 12(b)).

Tablo 5. Yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm sonuçları

Kod	Yırtılma Dayanımı (N/mm)	Sertlik (Shore D)
HDPE	137±8	65,1±1
HDPE90_96h	102±6	67,3±1



Şekil 12. (a) Yırtılma deneyi ve (b) sertlik ölçümü kıyaslaması

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılmış olan mevcut çalışma uygulanan ısıl işlemin HDPE'nin mekanik özelliklerine olumlu etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Blom vd. (1995) yaptıkları çalışmada 75 °C sıcaklıkta 7 gün süre ile yaşlandırma işlemi sonucunda çekme ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerlerini değiştirmedeği fakat mevcut yapılan çalışmada bir miktar arttırdığı bunun yanında basma durumuna göre elastisite modülü değerlerini arttırdığı görülmüştür. Yaşlandırma işleminin kopma uzaması değerini arttırdığını belirlemişlerdir fakat mevcut çalışmada dikkate değer bir şekilde düştüğü görülmüştür. Çekme dayanımı değerlerinin değişmediğini belirtmişlerdir fakat mevcut yapılan çalışmada arttığı gözlemlenmiştir.

Kartalis vd. (2001) yaptıkları çalışmada 110 °C sıcaklıkta artan yaşlandırma sürelerinde çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerini arttırdığı buna karşın kopma uzaması değerlerinde düştüğünü belirlemişlerdir. Mevcut yapılan çalışmada da benzer şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada Ferhoum vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmadan farklı olarak çekme deneyine ilaveten üç nokta eğilme deneyi, basma deneyi, yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilip sonuçları kıyaslanmıştır. Yapılan deneyler sonucu mekanik özelliklerinin arttığı görülmüştür. FTIR analizlerinde iç

yapıda bir değişimin görülmediği mevcut çalışmada da gözlemlenmiştir.

Ting vd. (2015) yaptıkları çalışmada 60 °C sıcaklıkta artan yaşlandırma sürelerinde çekme dayanımı değerlerini dikkate değer düşürdüğünü buna karşın mevcut yapılan çalışmada arttığı görülmüştür. Kopma uzaması değerlerinin mevcut yapılan çalışma ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. FTIR analizleri ile kimyasal değişim olmadığı durumu yapılan mevcut çalışmada da ortaya koyulmuştur.

Zhao vd. (2018) yaptıkları çalışmada HDPE malzemenin 90 °C sıcaklıkta 28 günde bekletildiğinde kopma uzamasının en yüksek olduğunu belirtmişlerdir fakat mevcut çalışmada uygulanan ısı işlem kopma uzaması değerlerini dikkate değer düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Li vd. (2021) yaptıkları çalışmada 80 °C sıcaklıkta 5 gün ve artan yaşlandırma sürelerinde katkısız HDPE malzemenin sertliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir fakat mevcut çalışmada 4 günlük yaşlandırma süresi ile sertlik değerlerinin düşmediği tersine bir miktar arttığı görülmüştür.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada HDPE polimeri 90 °C sıcaklıkta 96 saat boyunca kül fırınında bekletilmiştir. Isıl işlem görmüş ve görmemiş numunelerin mekanik deneyleri yapılmış olup sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Yapılan ısı işlemi HDPE malzemenin çekme dayanımı, kopma dayanımı, çekme durumunda elastisite modülü değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı buna karşın kopma uzaması ve tokluk değerlerini dikkate değer bir şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Isıl işlem eğilme dayanımını belirgin bir şekilde arttırırken eğilmede elastisite modülü değerlerini de arttırdığı görülmüştür.
- Benzer şekilde basma deneylerinde basma dayanımı, basma durumunda akma sınırı ve elastisite modülü değerlerinin de ısı işlem ile arttığı gözlemlenmiştir.
- Isıl işlemin yırtılma direncini düşürdüğü buna karşın sertlik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir.

## 5. Teşekkür

Yazarlar yapılan çalışmada Pamukkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarları ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarları kullanıldığı için her iki kuruma da teşekkürlerini sunar.

## Kaynakça

- Akdoğan, E. (2019) *Polimer esaslı kompozit malzemelere farklı dolgu maddelerinin ilavesinin mekanik ve ısıl özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi* (Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli). Erişim adresi <http://acikerisim.pau.edu.tr:8080/xmlui/handle/11499/26338>
- Akdoğan, E. (2020). The effects of high density polyethylene addition to low density polyethylene polymer on mechanical, impact and physical properties, *European Journal of Technique*, 10(1), 25-37. doi: 10.36222/ejt.646693

- Akdoğan, E. and Bektaş, N.B. (2018). The effects of nanoclay on mechanical properties of high density polyethylene and polypropylene materials, *Acta Physica Polonica A*, 134(1), 717-721. doi: 10.12693/APhysPolA.134.297
- Akdoğan, E. and Bektaş, N.B. (2019). The effects of intumescent flame retardant and nanoclay on mechanical and thermal expansion properties of high density polyethylene composites, *Acta Physica Polonica A*, 135(4), 717-721. doi : 10.12693/APhysPolA.135.717
- ASTM D618. (2021). *Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0618-13
- ASTM D624. (2020). *Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0624-00R20
- ASTM D638. (2017). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0638-14
- ASTM D695. (2016). *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0695-15
- ASTM D790. (2017). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0790-10
- ASTM D2240. (2021). *Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness*. American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D2240-15R21
- Blom, H. P., Teh, J. W., & Rudin, A. (1995). iPP/HDPE blends: Interactions at lower HDPE contents. *Journal of Applied Polymer Science*, 58(6), 995–1006. doi: 10.1002/app.1995.070580605
- Ferhoum, R., Aberkane, M., Ouali, M. O. and Hachour, K. (2012). *The thermal ageing effect on viscoplastic behaviour of high density polyethylene (HDPE)*. Paper Presented at 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Nantes, France, 2-4 July 2012. doi: 10.1115/ESDA2012-82548
- Kartalis, C. N., Papaspyrides, C. D., Pfaendner, R., Hoffmann, K., & Herbst, H. (2001). Recycled and restabilized HDPE bottle crates: Retention of critical properties after heat aging. *Polymer Engineering and Science*, 41(5), 771–781. doi: 10.1002/pen.10774
- Li, S., Dong, C., Yuan, C., Liu, S., & Bai, X. (2021). Effects of CeO<sub>2</sub> nano-particles on anti-aging performance of HDPE polymer during friction. *Wear*, 477, 203832. doi: 10.1016/j.wear.2021.203832
- M. Saçak, (2008). *Polimer Kimyası*, Ankara, Türkiye, Gazi Kitabevi.
- S. Akkurt, (2007). *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, İstanbul, Birsen Yayınevi.
- Ting, S. S., Achmad, N. K., Ismail, H., Santiagoo, R., & Zulkepli, N. N. (2015). Thermal degradation of high-density polyethylene/soya spent powder blends. *Journal of Polymer Engineering*, 35(5), 437–442. doi: 10.1515/polyeng-2014-0095
- Zhao, B., Zhang, S., Sun, C., Guo, J., Yu, Y. X., & Xu, T. (2018). Aging behaviour and properties evaluation of high-density polyethylene (HDPE) in heating-oxygen environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 369(1). doi: 10.1088/1757-899X/369/1/012021



# Kare Desenli Soğurucu Yüzeyin Güneş Hava Kollektör Verimine Etkisinin Sayısal Analizi

Sharif Eyyublu<sup>1</sup>, Mahmut Sami Büker<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9700-5187), [sharifeyyublu@gmail.com](mailto:sharifeyyublu@gmail.com)

<sup>2\*</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji ve Yarı iletkenler Araştırma Grubu, BITAM, Konya, Türkiye (ORCID:0000-0002-0896-2293), [msbuker@erbakan.edu.tr](mailto:msbuker@erbakan.edu.tr)

<sup>3</sup> Uçak Mühendisliği / Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye (ORCID:0000-0002-0896-2293), [msbuker@erbakan.edu.tr](mailto:msbuker@erbakan.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1086722)

**ATIF/REFERENCE:** Eyyublu, S., Büker, MS. (2022). Kare desenli Soğurucu Yüzeze Sahip bir Güneş Hava Kollektörünün HAD Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 763-768.

## Öz

Bu çalışmada, kare desenli alüminyum soğurucu yüzeye sahip bir güneş hava kollektörünün HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizleri yapılmıştır. Güneş hava kollektörünün verimliliğini arttırmak için kare desenli, pürüzlü bir alüminyum soğurucu yüzey kullanılmıştır. Kollektör içerisindeki çalışma havası, kollektörün sağ, sol ve alt kenarlarından, 15mm aralıklı ve 5mm çapında delikler yardımıyla çekilmektedir. Isı transferi ve hava akış özelliklerinin incelenmesi amacıyla kenar hava alıklı bir güneş hava kollektörünün HAD analizleri yapılmış, farklı ışınım ve kütle debileri altında sistemin optimum çalışma aralıkları belirlenerek karşılaştırılmıştır. Alüminyum kare yapılı kollektörün, 600 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 1000 W/m<sup>2</sup>, 1200 W/m<sup>2</sup> ışınım, 0.01-0.015 kg/s kütle debileri ve 20 °C sabit hava giriş sıcaklığı için termal analizleri gerçekleştirilmiş ve çıkan havanın sıcaklık değerleri bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş hava kollektörü, HAD, Sayısal analiz, Soğurucu plaka, ANSYS.

## Numerical Analysis on Solar Air Collector provided with Square Patterned Absorber Surface

### Abstract

In this study, CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis of the solar air collector were carried out. An aluminum absorber surface with a square geometry is used to increase the thermal efficiency of the solar air collector. The working air inside the collector is drawn in with the help of holes with a diameter of 5mm at 15mm intervals on the right, left and bottom edges of the collector. CFD analysis of the solar air collector were performed to examine the heat transfer and air flow properties, and the optimum operating ranges of the system were determined and compared under different radiation and mass flow rates. Thermal analysis of the square patterned aluminum absorber collector were carried out for 600 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 1000 W/m<sup>2</sup>, and 1200 W/m<sup>2</sup> radiation at 0.01-0.015 kg/s mass flow rates and 20°C constant air inlet temperature and the temperature values of the outlet air has been obtained.

**Keywords:** Solar air collector, CFD, Numerical analysis, Absorber, ANSYS.

\* Sorumlu Yazar: [msbuker@erbakan.edu.tr](mailto:msbuker@erbakan.edu.tr)

## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük bir potansiyele sahip olan güneş enerjisi sürdürülebilir olması ile ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra güneş enerjisi sistemleri termik ve enerji üretimi ile birlikte basit tasarım ve yapıları nedeniyle büyük oranda kullanılmaktadır [1].

Güneş termal enerji sistemlerinde düşük sıcaklık uygulama alanları orta ve yüksek sıcaklık uygulama alanlarına kıyasla çok daha fazla kullanılmaktadır [2]. Güneş hava kolektörleri ise, su veya hava ısıtma, kurutma ve damıtma gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [3][4] [5][6][7].

Güneş hava kolektörleri ile ilgili literatürde bir çok sayısal ve deneysel araştırma mevcuttur. Bunun yanı sıra güneş hava kolektörlerinin verimli çalışmasını artıracak soğurucu yüzeylerle ilgilide araştırmalar yer almaktadır. Kolektör içerisinde kullanılacak olan soğurucu yüzeyin geometrik şekli, boyutları, kanatçık gibi yapılar kolektör verimini etkileyecek etkenlerdendir. Emici yüzeylerin geometrik şekilleri, V-şekilli, oluklu, çukurlu, sinusoidal, nervürlü ve altıgen petek yapısı bir çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır [8], [9], [10], [11], [12], [13].

Güneş hava kolektörleri ile ilgili birçok HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) çalışmaları yapılmıştır [14]. Anil Singh vd. dairesel nervürlü güneş hava kolektörünün termal özellikleri üzerine simülasyona dayalı bir HAD çalışması yapmıştır. Çalışmanın nihai amacı ısı transfer özelliklerini araştırmak olmuştur [15]. Farklı akış şekline sahip bir güneş hava kolektörünün termal performansı üzerine yapılmış HAD analizi sonucunda kolektör içerisindeki çalışma havasının ısınma süresi uzatılarak, emici yüzeyden maksimum ısı transferi sağlanmıştır [16].

Bu çalışmada ise güneş hava kolektörü içerisindeki çalışma havasının kolektor icersinde kalma süresini arttırmak için kare yapılı bir geometrik yapı kullanılmış ve kolektörün HAD analizi gerçekleştirilmiştir. Analizleri gerçekleştirilmiş güneş hava kolektörü çalışma havasını kolektörün kenar kısımlarından çekecek şekilde fasat tipi olarak tasarlanmıştır. Kolektör kenarlarından çekilmiş çalışma havası kolektörün arka tarafından fan yardımıyla çekilerek iç mekana aktarılacak şekildedir. Bir simülasyon aracı olan ANSYS 2020R2 programı yardımıyla farklı ışıma ve kütle debilerinde analizleri gerçekleştirilmiş, kolektörün termal özellikleri ayrıntılı şekilde alt bölümlerde açıklanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, iç geometrisi kare desenli olan güneş hava kolektörünün hava akışının HAD simülasyonu ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Kare desenli soğurucu yüzeye sahip hava kolektörünün simülasyon çalışması, kütle akış hızı ve güneş radyasyonu değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. HAD simülasyonunu gerçekleştirilirken bir çok araştırmacının kullandığı türbülans metodları çözücü olarak kullanılmıştır [17], [18]. Bu çalışmanın amacı güneş hava kolektörünün ısı transferi performansını üst seviyelere çıkaracak tasarımı geliştirmek, farklı hava akış değerleri altında kolektörün verimliliğini artırmak ve yüksek verim elde etmek için optimum radyasyon değerlerini bulmaktır. Bu amaçla kare yapılı geometrinin (700x500 mm) termal özelliklerinin simülasyona dayalı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Analizleri gerçekleştirilen kolektörün akış analizi için türbülans çözücü model olarak SST k- $\omega$  modeli kullanılmıştır [19]. Analiz çalışmasında radyasyon yoğunluğunu çözmek için akış ve ısı transferinin üç temel çeşidini birleştirecen DO (Discrete Ordinates) radyasyon modeli seçilmiştir. [20].

### 2.1. Yönetim Denklemleri

Süreklilik denklemi genellikle yük, kütle, enerji ve momentumun korunmasını tanımlar ve şu şekilde yazılır [21]:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u})$$

Kütle korunumu [21]:

$$\frac{\partial \rho_f u}{\partial x} + \frac{\partial \rho_f v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_f w}{\partial z} = 0$$

Momentum korunumu [21]:

$$u \frac{\partial \rho_f u}{\partial x} + v \frac{\partial \rho_f u}{\partial y} + w \frac{\partial \rho_f u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$u \frac{\partial \rho_f v}{\partial x} + v \frac{\partial \rho_f v}{\partial y} + w \frac{\partial \rho_f v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$u \frac{\partial \rho_f \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \rho_f \omega}{\partial y} + w \frac{\partial \rho_f \omega}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) + \rho_f g$$

Enerji denklemi [21]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\rho E + p) \vec{v} = \nabla \cdot k_{\text{eff}} \nabla T + S_h$$

Akışkan bölgesi için enerji korunumu [21]:

$$u \frac{\partial \rho_f c_{pf} T_f}{\partial x} + v \frac{\partial \rho_f c_{pf} T_f}{\partial y} + w \frac{\partial \rho_f c_{pf} T_f}{\partial z} = \lambda_f \left( \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_f}{\partial z^2} \right) - \nabla \cdot q_{\text{rad}}$$

SST k- $\omega$  modeli için taşınım denklemi [21]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon$$

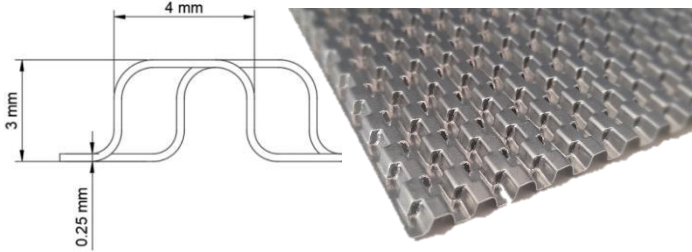
$$C_1 = \max \left[ 0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \rightarrow \eta = S \frac{k}{\epsilon}, \rightarrow S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}}$$

$$(C_{1\epsilon} = 1.44), (C_2 = 1.9), (\sigma_k = 1.0), (\sigma_\epsilon = 1.2)$$

### 2.2. HAD Modeli



Bu çalışmada yapılan araştırmalar sonucunda kollektör ölçüleri 500x700mm belirlenmiş, hava girişi kollektörün kenarlarındaki delikler yardımıyla çekilecek şekilde tasarlanmıştır. Emici yüzey olarak kare desenli yapı ısı transfer yüzeyinin artırılması için kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kare desenli geometri ve teknik boyutlar.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Alüminyum soğurucu yüzeye sahip güneş hava kollektörü için sıcaklık artışına bağlı olarak soğurucu yüzeyin sıcaklık değişimi ve akışın hız konturları bu kısımda açıklanacaktır. Güneş hava kollektörünün, dört farklı ışınım (600, 800, 1000 ve 1200 W/m<sup>2</sup> ve farklı debiler (0.001kg/s ve 0.015kg/s) için gerçekleştirilen analizlerde sıcaklık ve hız dağılımları aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre hava çıkış sıcaklık değerleri tabloda gösterilmiştir:

Tablo 2. Havanın ışıınıma bağlı çıkış sıcaklık değerleri

Işınım W/m <sup>2</sup>	Kütle debisi kg/s	Giriş sıcaklığı K	Çıkış sıcaklığı K
1200	0,01	292,15	338,991
1200	0,015	292,15	327,324
1000	0,01	292,15	333,732
1000	0,015	292,15	323,464
800	0,01	292,15	328,242
800	0,015	292,15	319,254
600	0,01	292,15	322,567
600	0,015	292,15	314,925

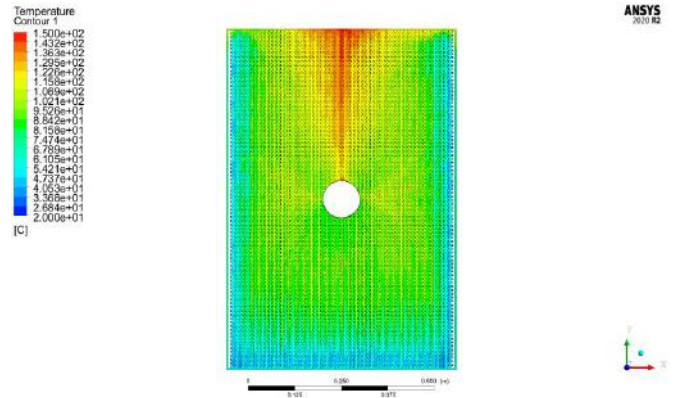
#### 3.1. 1200 W/M<sup>2</sup> Işınım Değeri İçin Sıcaklık Dağılımı

Güneş hava kollektörü tasarlanırken kollektörün üç kenar kısmından hava çekiş delikleri açılmıştır. Soğurucu yüzeyin sıcaklık dağılımına bakıldığında yüzey sıcaklığının kollektörün hava girişi olmayan yukarı kısımlarında daha yüksek değerlere (150 °C) ulaştığı görülmektedir (Şekil 2). Kollektör kenarından merkezdeki hava çekiş fanına doğru ise soğurucu yüzey sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Soğurucu yüzey sıcaklığının hava tarafından büyük ölçüde soğurulduğu görülmektedir. Kollektör çıkışındaki havanın kütle debisi artırıldığında ise hava çıkış sıcaklığı azalmıştır (Şekil 3). Bunun sebebi artan hava hızından dolayı havanın soğurucu yüzey sıcaklığını diğer kütle debisine göre daha az soğurmasıdır.

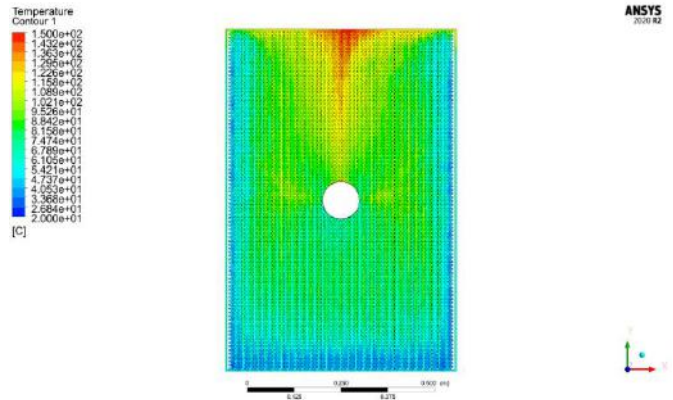
Analizi yapılacak tasarımlar çözüm ağı modellemesi ANSYS Mesh çözücüsü yardımıyla oluşturulmuştur. Kollektörün üst kısmında yerleşen yüzey güneş ışınının etki ettiği yarı saydam bir sınır duvarıdır.

Analiz süreci boyunca kullanılan sınır koşulları aşağıdaki gibidir:

- Hava giriş sıcaklığı sabittir (292.15K),
- Kollektörün yan duvarlarından olan ısı kayıpları dikkate alınmamıştır,
- Türbülans viskozite oranı %10'dur,
- Türbülans kayıp oranı %5'tir,
- Analiz sabit durumda çözülmüştür.



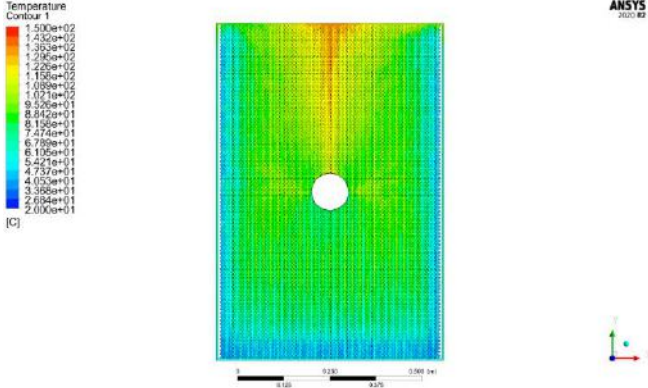
Şekil 2. 0.01 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı



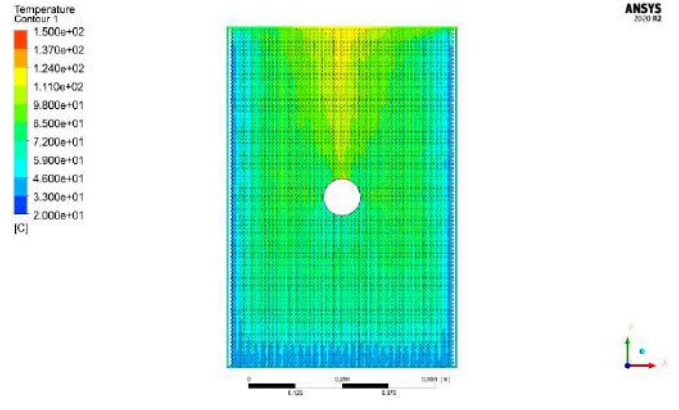
Şekil 3. 0.015 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı

#### 3.2. 1000 W/M<sup>2</sup> Işınım Değeri İçin Sıcaklık Dağılımı

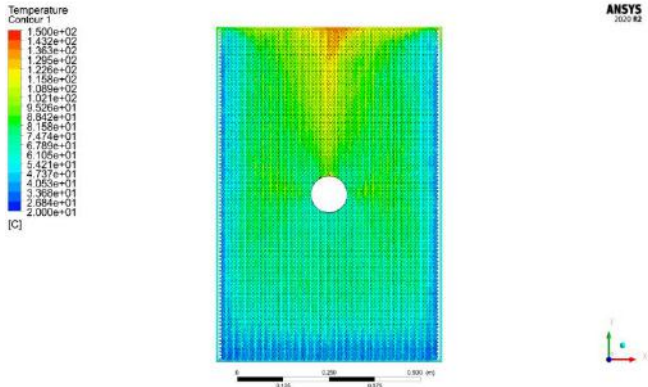
Kollektör içindeki soğurucu yüzeyin sıcaklık değişim konturlarına bakıldığında iki analiz sonucunda da soğurucu yüzey sıcaklığı hava çekişi olmayan tarafta 140 °C'ye ulaşmıştır. (Şekil 4, Şekil 5) Hava çekişi olan taraflarda ise bu sıcaklık hava tarafından neredeyse tümüyle soğurulmuştur. Analiz sonuçlarına bakıldığında, çıkış havasının kütle debisi artırıldığında artan hava hızından dolayı ısının soğurulmasında azalmıştır.



Şekil 4. 0.01 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı



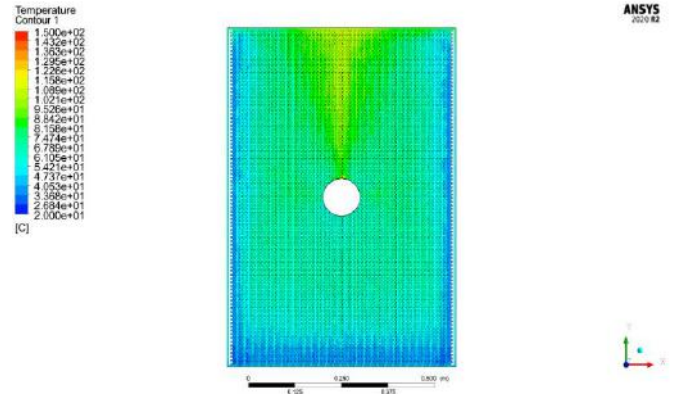
Şekil 7. 0.015 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı



Şekil 5. 0.015 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı

### 3.4. 600 W/M<sup>2</sup> Işınım Değeri İçin Sıcaklık Dağılımı

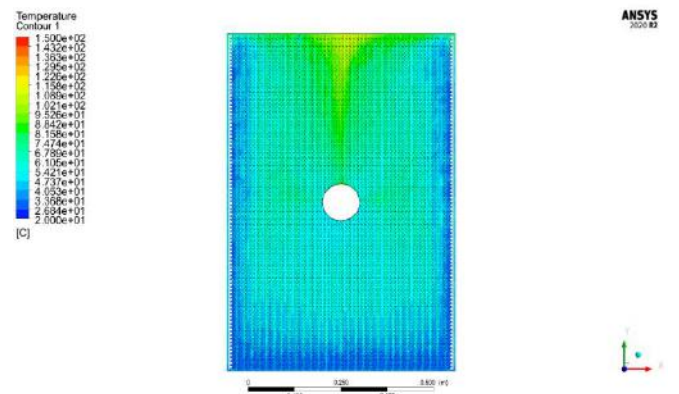
Analiz sonuçlarına baktığımızda kolektör içindeki emici yüzeyin sıcaklık değişimi 0.01 kg/s ve 0.015 kg/s kütle debilerinde sırasıyla 115 °C ile 108 °C olmuştur (Şekil 8, Şekil 9). Hava girişli kısımlarda, bu sıcaklıkların hava tarafından tam olarak soğurulduğu görülmüştür.



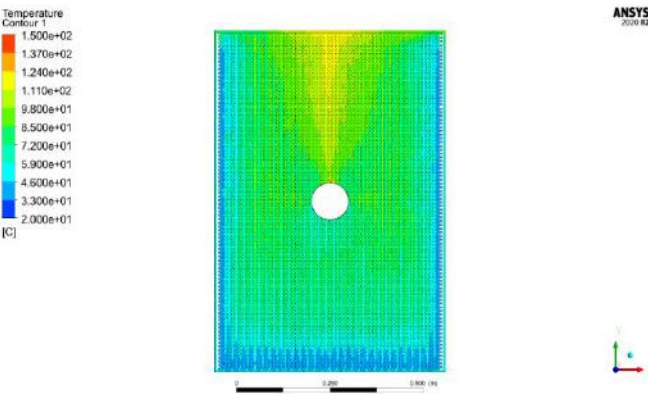
Şekil 8. 0.01 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı

### 3.3. 800 W/M<sup>2</sup> Işınım Değeri İçin Sıcaklık Dağılımı

Analiz sonuçları, kolektör içindeki soğurucu yüzeyin sıcaklık değişiminin sırasıyla 0.01 kg/s kütle debisinde 130 °C, 0.015 kg/s kütle debisinde ise 120 °C olmuştur (Şekil 6, Şekil 7).



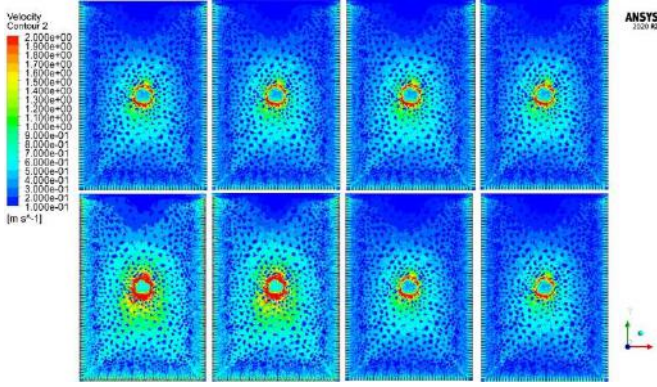
Şekil 9. 0.015 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı



Şekil 6. 0.01 kg/s kütle debisinde emici yüzeyin sıcaklık dağılımı

### 3.5 Çalışma Havaasının Hız Dağılımı

Kollektör içerisindeki çalışma havaasının hız dağılımı konturlarından görüldüğü üzere kenar deliklerden merkezdeki çekiş fanına doğru hız artmaktadır. Hava girişi olmayan üst tarafta ise hız değerlerinin çok düşük olduğu görülmüştür. Kollektör fasat tipi olarak tasarlandığı için üst tarafta yağmur veya buna benzer faktörlerin etkisinin azaltılması amacıyla delikler oluşturulmamıştır. Bu sebepten dolayı kollektörün üst kısımlarında, sıcaklık dağılım konturlarında da görüldüğü üzere, hava hızı düşük olmuştur.



Şekil 10. Çalışma havaası hız dağılımı4. Sonuç

Bu çalışmada, bir güneş hava kollektörü tasarımının farklı ışınım değerleri ve kütle debileri altında HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizleri yapılmıştır. Güneş hava kollektörünün verimini artırmak amacıyla kare desenli geometriye sahip bir alüminyum soğurucu plaka kullanılmıştır. Isı transferi ve hava akış özelliklerini incelemek amacıyla güneş hava kollektörünün HAD analizleri gerçekleştirilmiş, farklı ışınım ve kütle debileri altında sistemin optimum çalışma aralıkları belirlenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında havanın kütle debisi artırıldığında, çıkış sıcaklığında azalma görülmüştür. Aynı zamanda ışınım değerleri azaldığında çıkış sıcaklığının azalması öngürülür bir durumdur. Sonuç olarak emici yüzey olarak kullanılan kare desenli plakanın kollektör verimliliğini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP Birimi tarafından 2113MER03003 nolu proje ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] A. Sharma, R. Pitchumani, R. Chauhan, Solar air heating systems with latent heat storage - A review of state-of-the-art, *Journal of Energy Storage*. 48 (2022) 104013. doi:10.1016/j.est.2022.104013.
- [2] V.P. Katekar, S.S. Deshmukh, Techno-economic review of solar distillation systems: A closer look at the recent developments for commercialisation, *Journal of Cleaner Production*. 294 (2021) 126289. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126289.
- [3] V.P. Katekar, S.S. Deshmukh, A review of the use of phase change materials on performance of solar stills, *Journal of Energy Storage*. 30 (2020) 101398. doi:10.1016/j.est.2020.101398.
- [4] A.E. Kabeel, M.H. Hamed, Z.M. Omara, A.W. Kandeal, Solar air heaters: Design configurations, improvement

methods and applications – A detailed review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 70 (2017) 1189–1206. doi:10.1016/j.rser.2016.12.021.

- [5] G. Surendhar, G. Srinivasan, P. Muthukumar, S. Senthilmurugan, Investigation of thermal performance in a solar air heater having variable arc ribbed fin configuration, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 52 (2022) 102069. doi:10.1016/j.seta.2022.102069.
- [6] E.M.S. El-Said, M.A. Gohar, A. Ali, G.B. Abdelaziz, Performance enhancement of a double pass solar air heater by using curved reflector: Experimental investigation, *Applied Thermal Engineering*. 202 (2022) 117867. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117867.
- [7] R. Kumar, Gaurav, S. Kumar, A. Afzal, A. Muthu Manokar, M. Sharifpur, A. Issakhov, Experimental investigation of impact of the energy storage medium on the thermal performance of double pass solar air heater, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 48 (2021) 101673. doi:10.1016/j.seta.2021.101673.
- [8] V.S. Hans, R.P. Saini, J.S. Saini, Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with multiple v-ribs, *Solar Energy*. 84 (2010) 898–911. doi:10.1016/j.solener.2010.02.004.
- [9] A.H. Abdullah, H.Z. Abou-Ziyan, A.A. Ghoneim, Thermal performance of flat plate solar collector using various arrangements of compound honeycomb, *Energy Conversion and Management*. 44 (2003) 3093–3112. doi:10.1016/S0196-8904(03)00013-X.
- [10] D. Jin, J. Zuo, S. Quan, S. Xu, H. Gao, Thermohydraulic performance of solar air heater with staggered multiple V-shaped ribs on the absorber plate, *Energy*. 127 (2017) 68–77. doi:10.1016/j.energy.2017.03.101.
- [11] M. Abuşka, S. Şevik, A. Kayapınar, Experimental analysis of solar air collector with PCM-honeycomb combination under the natural convection, *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 195 (2019) 299–308. doi:10.1016/j.solmat.2019.02.040.
- [12] Y. Zhao, T. Meng, C. Jing, J. Hu, S. Qian, Experimental and numerical investigation on thermal performance of PV-driven aluminium honeycomb solar air collector, *Solar Energy*. 204 (2020) 294–306. doi:10.1016/j.solener.2020.04.047.
- [13] S. EYYUBLU, M.S. BÜKER, Alüminyum Balpeteği Soğurucu Yüzeğe Sahip bir Güneş Hava Kollektörünün HAD Analizi, *European Journal of Science and Technology*. (2022) 484–490. doi:10.31590/ejosat.1039534.
- [14] A.S. Yadav, M.K. Dwivedi, A. Sharma, V.K. Chouksey, CFD based heat transfer correlation for ribbed solar air heater, *Materials Today: Proceedings*. (2022). doi:10.1016/j.matpr.2021.12.382.
- [15] A.S. Yadav, V. Shrivastava, A. Sharma, M.K. Dwivedi, Numerical simulation and CFD-based correlations for artificially roughened solar air heater, *Materials Today: Proceedings*. 47 (2021) 2685–2693. doi:10.1016/j.matpr.2021.02.759.
- [16] A.S.T. Tan, J. Janaun, H.J. Tham, N.J. Siambun, A. Abdullah, Performance analysis of a solar heat collector through experimental and CFD investigation, *Materials Today: Proceedings*. (2022). doi:10.1016/j.matpr.2022.02.159.
- [17] F. Afshari, H.G. Zavaragh, B. Sahin, R.C. Grifoni, F.

- Corvaro, B. Marchetti, F. Polonara, On numerical methods; optimization of CFD solution to evaluate fluid flow around a sample object at low Re numbers, *Mathematics and Computers in Simulation*. 152 (2018) 51–68. doi:10.1016/j.matcom.2018.04.004.
- [18] A. Sözen, F.Ş. Kazancıoğlu, A.D. Tuncer, A. Khanlari, Y.C. Bilge, A. Gungor, Thermal performance improvement of an indirect solar dryer with tube-type absorber packed with aluminum wool, *Solar Energy*. 217 (2021) 328–341. doi:10.1016/j.solener.2021.02.029.
- [19] M. Ahsan, Numerical analysis of friction factor for a fully developed turbulent flow using k- $\epsilon$  turbulence model with enhanced wall treatment, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 3 (2014) 269–277. doi:10.1016/j.bjbas.2014.12.001.
- [20] K. Rajarajeswari, P. Alok, A. Sreekumar, Simulation and experimental investigation of fluid flow in porous and non-porous solar air heaters, *Solar Energy*. 171 (2018) 258–270. doi:10.1016/j.solener.2018.06.079.
- [21] E. Alic, M. Das, E.K. Akpınar, Design, manufacturing, numerical analysis and environmental effects of single-pass forced convection solar air collector, *Journal of Cleaner Production*. 311 (2021) 127518. doi:10.1016/j.jclepro.2021.127518.



## Epitrochoidal Hypersurfaces in 4-Space

Erhan Güler<sup>1\*</sup>, Ömer Kişi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3264-6239), [eguler@bartin.edu.tr](mailto:eguler@bartin.edu.tr)

<sup>2</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6844-3092), [okisi@bartin.edu.tr](mailto:okisi@bartin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1085790)

**ATIF/REFERENCE:** Güler, E. & Kişi, Ö. (2022). Epitrochoidal Hypersurfaces in 4-Space. *European Journal of Science and Technology*, (34), 769-772.

### Abstract

We introduce the epitrochoidal hypersurfaces in four dimensional Euclidean space  $\mathbb{E}^4$ . We serve notations of a Euclidean geometry  $\mathbb{E}^4$ . Giving a definition of the rotational hypersurface, we define the epitrochoidal hypersurface, and calculate its differential geometric objects, such as the Gauss map and the curvatures. In the end, we reveal some relations for the curvatures of that type hypersurfaces.

**Keywords:** 4-space, epitrochoidal hypersurface, Gauss map, Gaussian curvature, mean curvature.

## 4-Boyutta Epitrokhoidal Hiperyüzeyler

### Öz

Dört boyutlu Öklid uzayı  $\mathbb{E}^4$ 'de epitrokhoidal hiperyüzelere giriş yaptık. Öklid geometrisi  $\mathbb{E}^4$ 'ün notasyonlarını verdik. Dönel hiperyüzeyin bir tanımını vererek, epitrokhoidal hiperyüzeyi tanımladık ve Gauss tasviri ve eğrilikler gibi diferansiyel geometrik nesnelere hesapladık. Son olarak, bu tip hiperyüzeylerin eğrilikleri için bazı bağıntıları ortaya çıkardık.

**Anahtar Kelimeler:** 3-boyut, epitrochoidal hiperyüzey, Gauss tasviri, Gauss eğriliği, ortalama eğrilik.

\* Corresponding Author: [eguler@bartin.edu.tr](mailto:eguler@bartin.edu.tr)

### 1. Introduction

In the literature, we see the following papers [2,4] and also some books [1,3,5-7] about hyper-surfaces.

We introduce the epitrochoidal hypersurface in Euclidean 4-space  $\mathbb{E}^4$ . We show the fundamental notions of a Euclidean space in section II. In section III, we present the rotation hypersurface. Then, we consider the epitrochoidal hypersurface, and obtain its curvatures in section IV.

### 2. Hypersurfaces

In  $\mathbb{E}^{n+1}$ , revealing the  $i$ -th curvature formulas  $\mathfrak{C}_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ , one can take the characteristic equation of the shape operator  $\mathbf{S}$ :

$$P_{\mathbf{S}}(\lambda) = 0$$

$$= \det(\mathbf{S} - \lambda \mathfrak{I}_n)$$

$$= \sum_{k=0}^n (-1)^k s_k \lambda^{n-k},$$

where  $\mathfrak{I}_n$  indicates the identity matrix. Hence, we obtain the curvature formulas

$$\binom{n}{i} \mathfrak{C}_i = s_i.$$

Here,  $\binom{n}{0} \mathfrak{C}_0 = s_0 = 1$  by definition. Considering the following fundamental form

$$I(\mathbf{S}^{k-1}(X), Y) = \langle \mathbf{S}^{k-1}(X), Y \rangle,$$

we have

$$\sum_{i=0}^n (-1)^i \binom{n}{i} \mathfrak{C}_i I(\mathbf{S}^{k-1}(X), Y) = 0.$$

Identifying a vector  $(m, n, p, q)$  and its transpose, we assume that  $\mathbf{x} = \mathbf{x}(u, v, w)$  be the hypersurface  $M^3$  in  $\mathbb{E}^4$ . The dot product of the vectors  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  and  $\vec{y} = (y_1, y_2, y_3, y_4)$  is given by

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{t=1}^4 x_t y_t.$$

The vectorial product of the vectors  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$ , and  $\vec{z} = (z_1, z_2, z_3, z_4)$  is served by

$$\vec{x} \times \vec{y} \times \vec{z} = \det \begin{pmatrix} e_1 e_2 e_3 e_4 \\ x_1 x_2 x_3 x_4 \\ y_1 y_2 y_3 y_4 \\ z_1 z_2 z_3 z_4 \end{pmatrix}.$$

The Gauss map of the hypersurface  $\mathbf{x}$  is presented by

$$\mathfrak{G} = \frac{\mathbf{x}_u \times \mathbf{x}_v \times \mathbf{x}_w}{\|\mathbf{x}_u \times \mathbf{x}_v \times \mathbf{x}_w\|}, \tag{2.1}$$

where  $\mathbf{x}_u = d\mathbf{x}/du$ . For the hypersurface  $\mathbf{x}$ , we consider

$$I = \begin{pmatrix} E & F & A \\ F & G & B \\ A & B & C \end{pmatrix}$$

$$II = \begin{pmatrix} L & M & P \\ M & N & T \\ P & T & V \end{pmatrix}$$

$$III = \begin{pmatrix} X & Y & O \\ Y & Z & R \\ O & R & S \end{pmatrix}.$$

Here, the coefficients are obtained by

$$E = \langle \mathbf{x}_u, \mathbf{x}_u \rangle, \quad F = \langle \mathbf{x}_u, \mathbf{x}_v \rangle, \quad G = \langle \mathbf{x}_v, \mathbf{x}_v \rangle,$$

$$A = \langle \mathbf{x}_u, \mathbf{x}_w \rangle, \quad B = \langle \mathbf{x}_v, \mathbf{x}_w \rangle, \quad C = \langle \mathbf{x}_w, \mathbf{x}_w \rangle,$$

$$L = \langle \mathbf{x}_{uu}, \mathfrak{G} \rangle, \quad M = \langle \mathbf{x}_{uv}, \mathfrak{G} \rangle, \quad N = \langle \mathbf{x}_{vv}, \mathfrak{G} \rangle,$$

$$P = \langle \mathbf{x}_{uw}, \mathfrak{G} \rangle, \quad T = \langle \mathbf{x}_{vw}, \mathfrak{G} \rangle, \quad V = \langle \mathbf{x}_{ww}, \mathfrak{G} \rangle,$$

$$X = \langle \mathfrak{G}_u, \mathfrak{G}_u \rangle, \quad Y = \langle \mathfrak{G}_u, \mathfrak{G}_v \rangle, \quad Z = \langle \mathfrak{G}_v, \mathfrak{G}_v \rangle,$$

$$O = \langle \mathfrak{G}_u, \mathfrak{G}_w \rangle, \quad R = \langle \mathfrak{G}_v, \mathfrak{G}_w \rangle, \quad S = \langle \mathfrak{G}_w, \mathfrak{G}_w \rangle,$$

and  $\mathfrak{G}$  is the Gauss map.

Next, we will obtain the curvatures and IV fundamental form matrix for the hypersurface  $\mathbf{x}$ . By taking the polynomial

$$P_{\mathbf{S}}(\lambda) = a\lambda^3 + b\lambda^2 + c\lambda + d = 0,$$

we reveal the curvature formulas:  $\mathfrak{C}_0 = 1$  (from definition),

$$\mathfrak{C}_1 = -\frac{b}{3a}, \quad \mathfrak{C}_2 = \frac{c}{3a}, \quad \mathfrak{C}_3 = -\frac{d}{a}. \quad (2.2)$$

**Theorem 2.1.** *A hypersurface  $M^3$  in  $\mathbb{E}^4$ , has the following relation*

$$\mathfrak{C}_0 \text{IV} - 3\mathfrak{C}_1 \text{III} + 3\mathfrak{C}_2 \text{II} - \mathfrak{C}_3 \text{I} = 0.$$

Proof. See [5] for details.

### 3. Rotational Hypersurfaces

We introduce a kind of rotational hypersurface which its generating curve has epitrochoid curve in  $\mathbb{E}^4$ .

Let  $\gamma$ , from interval  $I$  to plane  $\Pi$ , be a curve, and  $\ell$  be the line in  $\Pi$ . Rotation hypersurface can be defined by a rotating with generating curve  $\gamma$  around axis  $\ell$  in  $\mathbb{E}^4$ .

We can suppose  $\ell$  obtained by  $(0, 0, 0, 1)^t$ . The rotating matrix is defined by

$$A(v, w) = \begin{pmatrix} \cos v \cos w & -\sin v & -\cos v \sin w & 0 \\ \sin v \cos w & \cos v & -\sin v \sin w & 0 \\ \sin w & 0 & \cos w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

where  $v, w \in \mathbb{R}$ .

The matrix  $A$  supplying the following equations

$$A\ell = \ell, \quad A^t A = AA^t = \mathfrak{I}_4, \quad \det A = 1.$$

While the rotation axis be  $\ell$ , we have a Euclidean transformation that  $\ell$  transforms to  $x_4$ . Generating curve is indicated by

$$\gamma(u) = (f(u), 0, 0, g(u)),$$

where  $f(u), g(u)$  are the functions which are differentiable  $\forall u \in I$ . Hence, the rotational hypersurface is given as

$$\mathfrak{R}(u, v, w) = A \cdot \gamma^t,$$

where  $0 \leq v, w < 2\pi$ .

### 4. Epitrochoidal Hypersurfaces

Next, by using rotation matrix in  $\mathbb{E}^4$ , and profile curve  $\gamma$  with vector on  $x_4$ , we find rotational hypersurface having epitrochoid curve. We named it the epitrochoidal hypersurface  $\mathcal{E}(u, v, w)$ .

Epitrochoid described a curve that is traced out by a point  $\mathbf{p}$  fixed relative to a circle of radius  $b$  rolling outside a fixed circle of radius  $a$ . Here  $h$  denotes the distance from  $\mathbf{p}$  to the center of the rolling circle.

Considering the following epitrochoid curve for  $a, b, h \in \mathbb{R}$  in  $\mathbb{E}^4$

$$\gamma[a, b, h](u) = (f(u), 0, 0, g(u))$$

$$= \begin{pmatrix} (a+b)\cos u - h\cos\left(\frac{a+b}{b}u\right) \\ 0 \\ 0 \\ (a+b)\sin u - h\sin\left(\frac{a+b}{b}u\right) \end{pmatrix},$$

we calculate the Gauss map, and also find the curvatures  $\mathfrak{C}_{i=1,2,3}$  of the epitrochoidal hypersurface.

We find Gauss map of the epitrochoidal hypersurface, also draw its figure.

In  $\mathbb{E}^4$ , the epitrochoidal hypersurface  $\mathcal{E}(u, v, w)$  is defined by

$$\mathcal{E}(u, v, w) = \begin{pmatrix} f(u) \cos v \cos w \\ f(u) \sin v \cos w \\ f(u) \sin w \\ g(u) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}. \quad (4.1)$$

Taking  $(a, b, h) = (3, 1, 2)$ ,  $w = \pi/4$  in (4.1), we have projection surface into 3-space. See Figure 1 for the projection.

Using the Gauss map formula (2.1) on (4.1), we have the following Gauss map of the hypersurface

$$\mathfrak{G} = \frac{1}{(W)^{1/2}} \begin{pmatrix} s(u) \cos v \cos w \\ s(u) \sin v \cos w \\ s(u) \sin w \\ t(u) \end{pmatrix}.$$

where

$$s(u) = b \cos u - h \cos\left(\frac{a+b}{b}u\right),$$

$$t(u) = b \sin u - h \sin\left(\frac{a+b}{b}u\right),$$

$$W = b^2 - 2bh \cos\left(\frac{a}{b}u\right) + h^2.$$

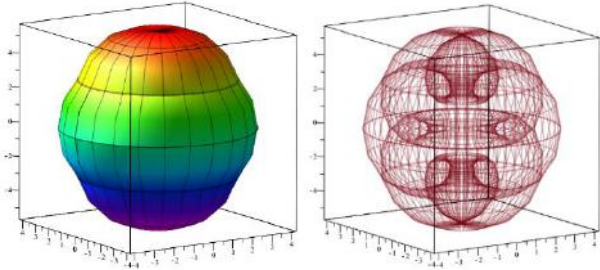


Figure 1. Projection of  $\mathcal{E}(u, v, w)$  into  $x_1x_2x_4$ -space,  
Left: outside view, Right: inside view

**Theorem 4.1.** *The epitrochoidal hypersurface (4.1) in  $\mathbb{E}^4$  has the following curvature formulas*

$$\mathfrak{C}_0 = 1 \text{ (by definition),}$$

$$\mathfrak{C}_1 = -(448\cos^7u - 784\cos^5u - 200\cos^4u + 392\cos^3u + 188\cos^2u - 24\cos u - 19)/(4\psi\Omega^{3/2}),$$

$$\mathfrak{C}_2 = -(192\cos^7u - 336\cos^5u - 104\cos^4u + 168\cos^3u + 96\cos^2u - 5\cos u - 9) \cdot (16\cos^4u - 16\cos^2u - \cos u + 2)/(4\psi^2\Omega^2),$$

$$\mathfrak{C}_3 = (16\cos^4u - 16\cos^2u - \cos u + 2)^2 \cdot (40\cos^3u - 30\cos u - 17)/(16\psi^2\Omega^{5/2}),$$

where

$$\Omega(u) = -16\cos^3u + 12\cos u + 5,$$

$$\psi(u) = 2\cos u - \cos(4u).$$

Proof. Computing eqs. (2.2) on (4.1), we have the curvatures.

## 5. Conclusion

Epitrochoidal hypersurfaces have never been worked. We introduce the epitrochoidal hypersurfaces, and then reveal some differential geometric results of it.

## References

- [1] A.R. Forsyth, Lectures on the Differential Geometry of Curves and Surfaces. Cambridge Un. press, 2nd ed. 1920.
- [2] G. Ganchev, V. Milousheva, General rotational surfaces in the 4-dimensional Minkowski space. Turkish J. Math., 38 (2014), 883–895.
- [3] A. Gray, S. Salamon, E. Abbena, Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica. Third ed. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, 2006.
- [4] E.Güler, Fundamental form IV and curvature formulas of the hypersphere. Malaya J. Mat. 8(4) (2020), 2008-2011
- [5] H.H. Hacısalihoğlu, Diferensiyel Geometri I. Ankara Ün., Ankara, 1982.
- [6] H.H. Hacısalihoğlu, 2 ve 3 Boyutlu Uzaylarda Analitik Geometri. Ertem Basım, Ankara, 2013.
- [7] J.C.C. Nitsche, Lectures on Minimal Surfaces. Vol. 1, Introduction, Fundamentals, Geometry and Basic Boundary Value Problems. Cambridge, 1989.





# Metasurface Based Reflection Type Linear Polarization Conversion for X Band Applications

Gokhan Ozturk<sup>\*,1</sup>

<sup>1\*</sup> Ataturk University, Faculty of Engineering, Depart. of Electrical and Electronics Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8106-0053), gokhan.ozturk@atauni.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1086520)

**ATIF/REFERENCE:** Ozturk, G. (2022). Metasurface Based Reflection Type Linear Polarization Conversion for X Band Applications. *European Journal of Science and Technology*, (34), 773-777.

## Abstract

Polarization conversion describe the propagation behavior of the electric field component of the electromagnetic wave. Polarization converters are widely used to improve the performance of microwave devices. In recent years, polarization converters have been produced on a metasurface basis, as they have relatively great advantages over polarization converters produced by conventional methods. In this study, a metasurface-based reflection type polarization converter operating in the microwave X band is proposed. The proposed design has a linear polarization conversion rate (PCR) of over 90% in the 9.1 GHz-12 GHz frequency range. In addition, the proposed design provides linear polarization conversion performance over 80% up to 45 degrees under oblique angle. The design consists of metal termination, easily accessible FR4 and metasurface. In order to better understand the physical mechanism of the proposed metasurface-based polarization transducer, its analysis in the u-v axes was performed as well as the surface current behaviors at resonance frequencies. Since the proposed design shows the same behavior in both TE and TM modes under normal incidence, the converter behaves polarization independent. The Design CST was created in the Microwave Studio program and the simulation results were processed by the Matlab program. The results were compared with other X band polarization converters and it was seen that the proposed design is superior to existing metasurface polarization converters in oblique angle performance, single design, cost-effective and thickness.

**Keywords:** Metasurface, Polarization, Conversion, Lineer Polarization, X-band

## X Band Uygulamaları için Metasurface Tabanlı Yansıma Tipi Lineer Polarizasyon Dönüşümü

### Öz

Polarizasyon dönüştürücüler elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşenin yayılma davranışını tanımlar elektromanyetikte. Polarizasyon dönüştürücüler mikrodalga cihazların performansının artırılması için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda polarizasyon dönüştürücüler metayüzey temelli olarak üretilmektedir, genelelsek yöntemlerle üretilen polarizasyon dönüştürücülere nispeten büyük avantajlara sahip oldukları için. Bu çalışmada metayüzey temelli mikrodalga X bandında çalışan yansıma tip polarizasyon dönüştürücü önerildi. Önerilen dizayn 9.1GHz- 12 GHz aralığında %90 üzerinde lineer polarizasyon dönüşüm oranına (PCR) sahiptir. Ayrıca eğik açı altında 45 dereceye kadar %80 üzerinde lineer polarizasyon dönüşüm performansı sağlar. Dizayn metal sonlandırma, kolay erişilebilir FR4 ve metayüzeyden oluşmaktadır. Önerilen metayüzey temelli polarizasyon dönüştürücünün fiziksel mekanizmasının daha iyi anlaşılması için u-v eksenlerinde analizi yapıldı hem de rezonans frekanslarında yüzey akım davranışları incelendi. Önerilen dizayn normal geliş altında hem TE hem de TM modda aynı davranışı gösterdiği için polarizasyon bağımsız olarak davranmaktadır. Dizayn CST mikrowave Studio programında yaratıldı ve simülasyon sonuçlar Matlab programı vasıtasıyla işlendi. Sonuçlar diğer X bant polarizasyon dönüştürücüler ile karşılaştırıldı ve önerilen tasarımın mevcut metasurface polarizasyon dönüştürücülere göre eğik açı performansı, tek tasarım, uygun maliyetli ve kalınlık açısından üstün olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Metayüzey, Polarizasyon, Dönüşüm, Lineer Polarizasyon, X-bant

## 1. Introduction

Polarization shows the behavior of the electric field components of electromagnetic waves. Polarization is of great importance for the manipulation of electromagnetic waves and for improving the performance of microwave devices. Polarization transducers are effectively used in areas such as radar cross-section reduction, sensors, and optical communication [1]. Polarization converters obtained by traditional methods such as Faraday effect, photo-elastic modulators, optical grating and birefringence effect have disadvantages such as large volume, difficulty in production, narrow bandwidth, use only in one conversion type, and lack of oblique angle performance [2]. In order to eliminate these disadvantages, metasurface structures in polarization converters have been actively used in recent years [3]. Metasurface structures are widely used in microwave devices such as sensors [4], antenna [5], absorber [6] with their negative refractive index feature, which is not found in nature. In addition, these structures are widely used in polarization converter devices at GHz [7], THz [8] and optical frequencies [9]. Metasurface polarization converters can be used as reflective type by placing anisotropic structures [10] diagonally, or as transmitting type by using chiral structures [11]. In addition, the produced polarization converters diversified with the choice of optically transparent materials [12] such as glass, PET, good conductor materials in metasurface part such as graphene, gold [13], and dielectric materials in substrate part such as FR-4, FB-4 [14]. Metasurface-based polarization converters are also diversified from linear to linear (LP-LP) [1,14], from linear to circular (LP-CP) [1] and from circular to circular (CP-CP) [15] according to polarization conversion types. Microwave X band is widely used in various microwave devices, such as radar [16], antenna [17], sensor [18]. In recent years, metasurface-based polarization converter designs have been made in the literature for this bandwidth [14,19-22]. It is observed that some of these works have been produced using multi structures [19] and have complex production difficulties. The oblique angle performance of some X band polarization converters [14, 19] shows sensitivity over 30 degrees. In addition, some X band polarization converters are produced with substrates such as FB-4 [14], rogers [19], which are not economically preferred. In addition, the thickness of some studies in terms of wavelength is up to  $0.110 \lambda$  [14]. In order to overcome these disadvantages, a metasurface polarization converter with over 90% PCR performance for the X band applications was proposed at the 9.2 GHz - 12 GHz range in this study. The proposed design also has over 80% PCR performance up to 45 degrees under oblique angle. The proposed design is produced with easily accessible FR-4 material. The proposed design compared with other studies and it is noted that the proposed design has superior characteristics with thickness, oblique angle, substrate and single production structures compared to other studies.

## 2. Material and Method

The front and side views of the proposed design are as given in Figure 1(a) and figure 1(b). As seen in Figure 1, the lower part of the design consists of metal termination, the middle part consists of FR-4 substrate and the upper part consists of metasurface. Copper with a conductivity of  $5.8 \times 10^8$  S/m was chosen as the metal. The dielectric constant of FR-4 with  $h=1.6$  mm thickness selected as substrate is  $\epsilon_r=4.3$  and its loss tangent

is  $\delta=0.025$ . In addition, the unit cell of the metasurface polarization transducer is  $L=7.6$  mm. Also,  $r_i=1.6$  mm,  $a=3.9$  mm and  $g=0.6$  mm.

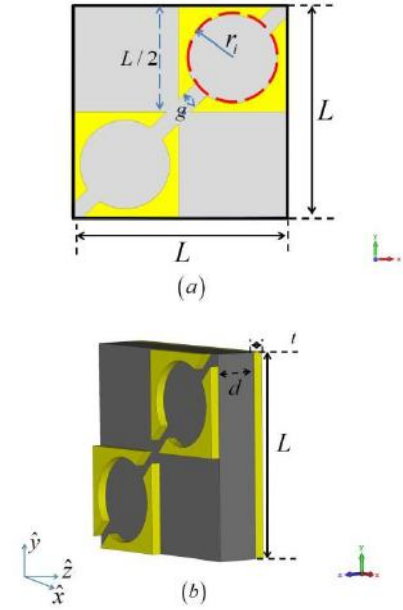


Fig. 1 (a) Front and (b) side view of proposed design

In order to understand the working principle of the polarization converter, if electromagnetic wave with y-polarized electric field intensity propagate to the metasurface polarization converter in the +z direction, the incoming wave is expressed as follows.

$$\vec{E}_i = \hat{y}E_y e^{-jkz} \quad (1)$$

The waves reflected from the metasurface polarization converter in the -z direction are expressed by electric field components as follows.

$$\vec{E}_r = (\hat{y}E_y R_{yy} + \hat{x}E_y R_{xy}) e^{jkz} \quad (2)$$

For linear polarization conversion, the incoming wave with the +y polarized must be reflected as x polarized. Hence it will transform the polarization of the incoming wave as x-polarized. For the x-polarized incident wave case, the electric field component of the reflected wave must be reflected as y-polarized. If the incident wave is x and y polarized, the incident and reflected waves can be written in matrix format as follows.

$$\begin{bmatrix} \vec{E}_{rx} \\ \vec{E}_{ry} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}_{ix} \\ \vec{E}_{iy} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Here,  $E^i$  and  $E^r$  denote the incident and reflected waves,  $R_{xx} = \vec{E}_{rx} / \vec{E}_{ix}$  and  $R_{yy} = \vec{E}_{ry} / \vec{E}_{iy}$  the co-reflection coefficients, and  $R_{xy} = \vec{E}_{rx} / \vec{E}_{iy}$  and  $R_{yx} = \vec{E}_{ry} / \vec{E}_{ix}$  the cross reflection coefficients.

Using the reflection coefficients, the polarization conversion ratio (PCR) can be obtained for the y-polarized incident wave as follows [1].

$$PCR = \frac{|R_{xy}|^2}{|R_{xy}|^2 + |R_{yy}|^2} \quad (4)$$

The PCR value for the x-polarized incident wave can be obtained by swapping the x and y indices in Equ. 3.

In order to understand the physical mechanism of the proposed design, the y-polarized incoming wave was decomposed in the u-v axes as shown in figure 2.

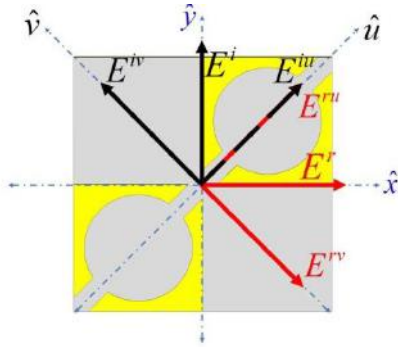


Fig. 2 Decomposing of incident and reflected field in u-v axes

For a y-polarized incoming wave to be reflected x-polarized, the component in the +u axis must be reflected in the +u direction, and the component in the +v direction must be

reflected in the -v direction. In this case,  $E^{ru}$  and  $E^{rv}$  components will provide x-polarized reflection as in figure 2. Therefore, the incoming wave can be expressed as follows in the u-v axes

$$\vec{E}_i = \hat{u}\vec{E}_{iu}e^{-j\varphi_{uu}} + \hat{v}\vec{E}_{iv}e^{-j\varphi_{vv}} \quad (5)$$

The reflected wave can be expressed in the u-v axes as follows.

$$\begin{bmatrix} \vec{E}_{ru} \\ \vec{E}_{rv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{uu} & r_{uv} \\ r_{vu} & r_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}_{iu} \\ \vec{E}_{iv} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Here  $r_{uu}$  and  $r_{vv}$  are the co-reflection coefficients in the u and v directions. In order for the entire y-polarized wave to be x-polarized, its components in the +u and +v directions must be reflected in the +u and -v directions with the same amplitude. So  $|r_{uu}|=|r_{vv}|$  must be 1. Also, since the incoming wave in the +u direction is reflected in the +u direction,  $\varphi_{uu}$  must be  $0^\circ$ . Similarly, for the incoming wave in the +v direction to be reflected in the -v direction,  $\varphi_{vv}$  must be  $-180^\circ$ . Therefore, this will ensure that the angle between the two reflection components is  $\Delta\varphi = 180^\circ$  for linear polarization conversion.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Simulation Results

The proposed metasurface-based polarization converter was created in the CST Microwave Studio program as shown in Figure 1. The boundary conditions in the frequency domain were selected as the unit cell. Co and cross reflection coefficients under normal incidence were obtained by simulation in dB as given in figure 3(a). As seen in Figure 3(a), the metasurface resonates at the 9.5 GHz and 11.2 GHz. In addition, in figure 3(a), the co-reflection coefficient is below -10 dB and the cross-reflection coefficients are above -0.98 dB in the range of 9-12 GHz. In Figure 3(b), the co- and cross-reflection coefficients are given in amplitude. As seen in Figure 3(b), the co-reflection coefficients are below 0.218 and the cross-reflection coefficient is below 0.897 in amplitude. In Figure 3(c), the co and cross reflection coefficients are given in dB up to 45 degrees under oblique angle. As seen in Figure 3(c), co-reflection coefficients are above -8.88 dB, and cross reflection coefficients are below -1.7 dB up to 45 degrees. In Figure 3(d), the PCR by using equation .. is given. As seen in Figure 3(d), PCR is over %90 in the 9-12 GHz range. In addition, PCR reached % 98.7 at 9.5 GHz resonance frequency and %99.6 at 11.2 GHz resonance frequency.

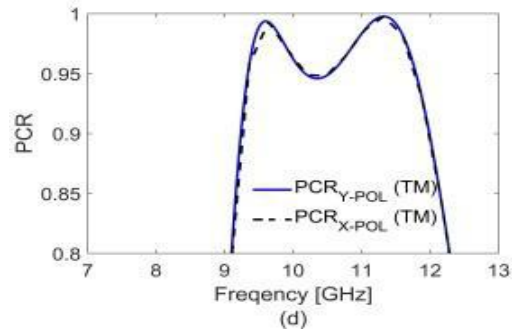
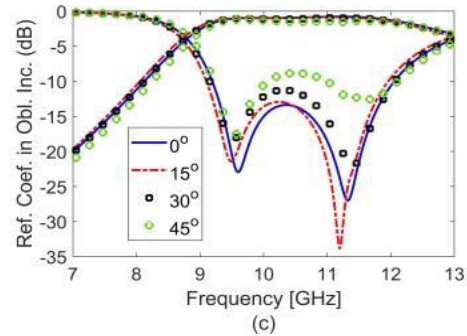
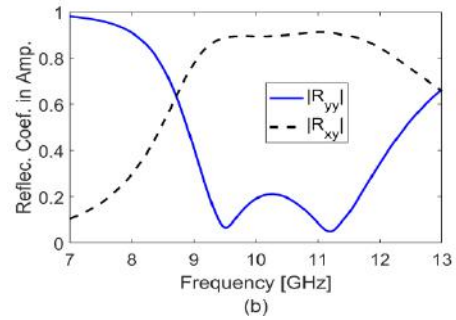
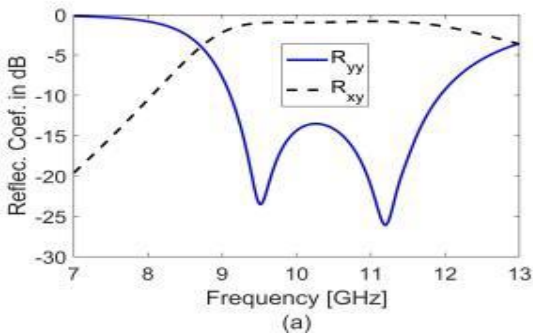


Fig. 3 Reflection coefficient of proposed design (a) in dB (b) in amplitude (c) under oblique incidence up to 45 degrees (d) PCR of proposed design

The reflection coefficients and phases in the u-v directions of the proposed design are given in figure 5(a,b). Figure 5a shows that the reflection coefficients in the u-v axes are approximately equal to 1 in the 9-12 GHz range where linear polarization is achieved. Also, Figure 5(b) shows the phase differences in the u and v directions. As seen in Figure 5(b), the phase difference in the u – v directions is approximately 180 degrees in the 9-12 GHz range.

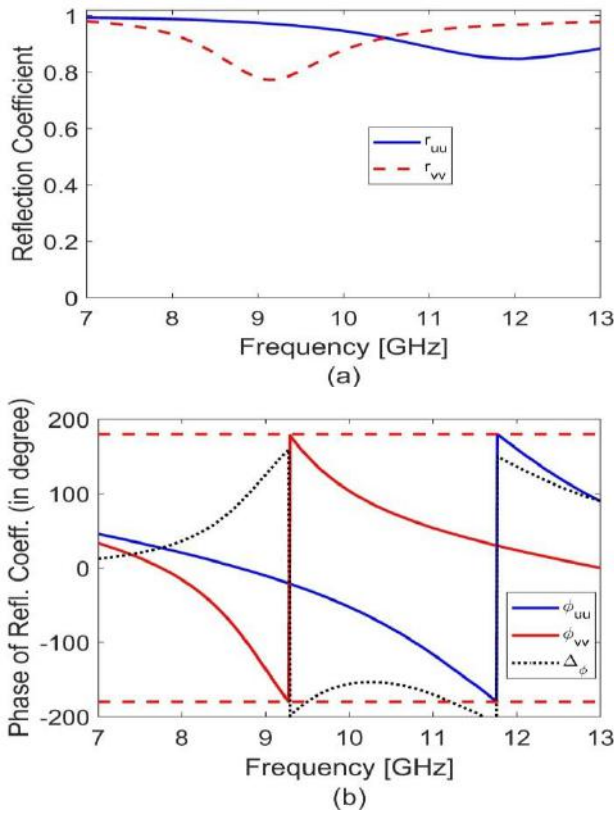


Fig. 4 Reflection coefficient of proposed design in u-v direction (a) in amplitude | (b) phase and phase different

When the electromagnetic wave is sent to the metasurface polarization converter, electrical and magnetic polarizations are formed on the material. This polarization causes the formation of electrical and magnetic currents. In order to understand the physical mechanism of the proposed design, the surface current behaviors on the metal parts were investigated at resonance frequencies. Current behavior at resonant frequencies in the top and bottom layers of the proposed design is as given in Figure 6(a-c). In Figure 6(a-c), it is seen that the surface currents are

parallel in the metasurface and metal termination parts. Also, in Figure 6(b-d), the surface currents are anti-parallel at the metasurface and metal termination parts. The anti-parallel behavior of the currents indicates that magnetic polarization occurs at these frequencies, on the contrary, the parallelism of the currents indicates that there is electrical polarization at this frequency.

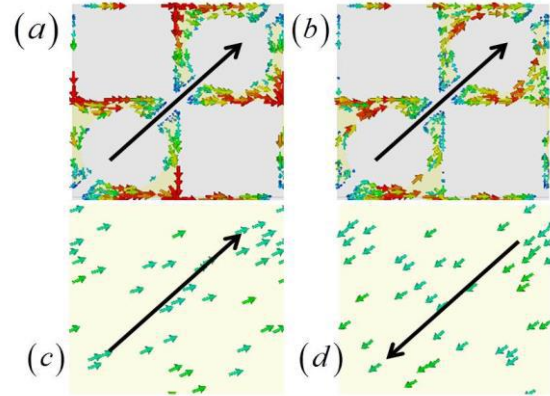


Fig. 5 Surface current distribution (a-c) for 9.5 GHz (b-d) for 11.2 GHz

### 3.2. Discussion

For the analysis of linear conversion performance of the proposed design, the proposed design and other X-band polarization transducers were compared as given in Table 1. Table 1 will be used for performance analysis in terms of bandwidth, oblique angle performance, thickness, substrate type and layer thickness. Considering the studies for the X band [14,19], the proposed design provides linear polarization conversion for a wider band gap in the 9-12 GHz range than the reference [19]. For incoming wave in oblique angle condition, reference [19] shows sensitivity up to 30 degrees, while the proposed design shows sensitivity up to 45 degrees. When the studies made according to the thickness in terms of wavelength are examined, the proposed design is at least 55% less thick than the reference [14]. Therefore, the proposed design allows it to be used for applications that require thinner application. In addition, some X band applications [19] performing multiple structures increase the manufacturing complexity. In addition, the applications performed by choosing Rogers and FB-4 materials [14,19] are more expensive than the FR-4 material. Therefore, the proposed design has less complexity than ref [19] and can be produced cost-effectively according to ref [14,19].

Table 1. Comparison of the proposed design with other X band polarization converters

Ref.	BW (GHz)	Angle	Thickness	Layer
[14]	9.1-12.9	N.A	3 mm (0.110 λ)	Single (FB-4)
[19]	8.9-11.1	30°	1.27 mm (0,042 λ)	Multi (Ro4003)
Prop.	9.2-12	45°	1.6 mm (0,056 λ)	Single (FR-4)

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, a linear polarization converter operating in the 9-12 GHz band is proposed for microwave X band applications. The proposed polarization converter provides over %90 PCR at 9-12 GHz bandwidth. For this bandwidth, the design provides linear polarization for both the TE (x-polarized) and TM (y-polarized) modes, and the design behaves polarization independent. The proposed design shows over %80 PCR performance up to 45 degrees under oblique angle of incidence. The substrate of the proposed design consist of easily accessible 1.6 mm FR-4 material. The dizayn can be used in cases where very thin applications are required with its  $0,056 \lambda$  thickness. The design is achieved with a single structure and the production complexity is less than the existing studies. The proposed polarization converter was created and simulated with the CST Microwave Studio program.

## References

- Ozturk, G. (2022). Ultra-thin, wide-angle and bandwidth-enhanced linear and circular metasurface-based reflection-type polarization converter at X-band microwave frequency, *Journal of Electromagnetic Waves and Applcation.*, in press, 1-11.
- Zheng, Q. , Guo, C., & Ding, J. (2018). Wideband metasurface-based reflective polarization converter for linear-to-linear and linear-to-circular polarization conversion. *IEEE Antennas Wirel Propag Lett.*, 17(8), 1459–1463.
- Khan, M.I., Fraz, Q., Tahir, & F.A. (2017). Ultra-wideband cross polarization conversion metasurface insensitive to incidence angle. *J Appl Phys.*, 121(4) 045103.
- Wang, W., Yan, F., Tan, S., Zhou, H. and Hou, Y. (2017). Ultrasensitive terahertz metamaterial sensor based on vertical split ring resonators. *Photonics Research*, 5(6), 571-577.
- Dong, Y., & Itoh, T. (2012). Metamaterial-based antennas. *Proceedings of the IEEE*, 100(7), 2271-2285.
- Landy, N. I., Sajuyigbe, S., Mock, J. J. , Smith, D. R., & Padilla, W. J. (2008). Perfect metamaterial absorber. *Physical review letters*, 100(20), 207402.
- Lin, B. Q., Da, X. Y., Wu, J. L., Li, W., Fang, Y. W., & Zhu, Z. H. (2016). Ultra-wideband and high-efficiency cross polarization converter based on anisotropic metasurface. *Microwave and optical technology letters*, 58(10), 2402-2405.
- Grady, N. K., Heyes, J. E., Chowdhury, D. R., Zeng, Y., Reiten, M. T., Azad, A. K., & Chen, H. T. (2013). Terahertz metamaterials for linear polarization conversion and anomalous refraction. *Science*, 340(6138), 1304-1307.
- Cheng, Y. Z., Fang, C., Mao, X. S., Gong, R. Z., & Wu, L. (2016). Design of an ultrabroadband and high-efficiency reflective linear polarization convertor at optical frequency. *IEEE Photonics Journal*, 8(6), 1-9.
- Ozturk, G., Hasar, U. C., Bute, M., & Ertugrul, M. (2020). Determination of constitutive parameters of strong-coupled bianisotropic metamaterials using oblique incidence scattering parameters. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 69(2), 918-927.
- Hasar, U. C., & Bute, M. (2020). Method for retrieval of electromagnetic properties of inhomogeneous reciprocal chiral metamaterials. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 68(7), 5714-5717.
- Lai, S., Wu, Y., & Gu, W., (2021). Design of a Transparent Metamaterial Cross Polarization Converter With Large Incident Angle Range. *IEEE Photonics Journal*, 13(4), 1-5.
- Qiao, Q., Wang, Y., Yang, G., Fu, Y., & Liu, Y. (2021). Broadband of linear-to-linear and double-band of linear-to-circular polarization converter based on a graphene sheet with a  $\pi$ -shaped hollow array. *Optical Materials Express*, 11(9), 2952-2965.
- Chen, H. Y., Wang, J. F., Ma, H., Qu, S. B., Zhang, J. Q., Xu, Z., & Zhang, A. X. (2015). Broadband perfect polarization conversion metasurfaces. *Chinese Physics B*, 24(1), 014201.
- Huang, X., Chen, J., & Yang, H. (2017). High-efficiency wideband reflection polarization conversion metasurface for circularly polarized waves. *Journal of Applied Physics*, 122(4), 043102.
- Matrosov, S. Y., Clark, K. A., Martner, B. E., & Tokay, A. (2002). X-band polarimetric radar measurements of rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 41(9), 941-952.
- Huque, M. T. I. U., Hosain, M. K., Islam, M. S., & Chowdhury, M. A. (2011). Design and performance analysis of microstrip array antennas with optimum parameters for X-band applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(4).
- Hirose, M., Ishizone, T., & Komiyama, K. (2004). Antenna pattern measurements using photonic sensor for planar near-field measurement at X band. *IEICE Transactions on Communications*, 87(3), 727-734.
- Lončar, J., Grbic, A., & Hrabar, S. (2018). A Reflective Polarization Converting Metasurface at  $\{X\}$  -Band Frequencies. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66(6), 3213-3218.



# I-Statistical Convergent Sequence Spaces of Fuzzy Star-Shaped Numbers

Ömer Kişi<sup>1\*</sup>, Erhan Güler<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6844-3092), [okisi@bartin.edu.tr](mailto:okisi@bartin.edu.tr)

<sup>2</sup> Bartın University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Bartın, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3264-6239), [eguler@bartin.edu.tr](mailto:eguler@bartin.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1085791)

**ATIF/REFERENCE:** Kişi, Ö. & Güler, E. (2022). I-Statistical Convergent Sequence Spaces of Fuzzy Star-Shaped Numbers. *European Journal of Science and Technology*, (34), 778-782.

## Abstract

In this study, we acquire I-statistical convergence of sequences of fuzzy star-shaped numbers. We examine topological and algebraic features of the obtained new sequence spaces. We put forward to significant examples of these new notions.

**Keywords:** I-convergence, Fuzzy star-shaped numbers,  $L_p$ -space.

## Bulanık Yıldız-Şekilli Sayıların I-İstatistiksel Yakınsak Dizi Uzayları

### Öz

Bu çalışmada, bulanık yıldız-şekilli sayıların I-istatistiksel yakınsaklığını elde ettik. Elde edilen yeni dizi uzaylarının bazı topolojik ve cebirsel özelliklerini inceledik. Bu yeni kavramların önemli örneklerini ortaya koyduk.

**Anahtar Kelimeler:** I-yakınsaklık, Bulanık yıldız-şekilli sayılar,  $L_p$ -uzayı.

\* Corresponding Author: [okisi@bartin.edu.tr](mailto:okisi@bartin.edu.tr)

### 1. Introduction

Kostyrko et al. [7] proposed ideal convergence and examined significant features of this convergence concept. Then, ideal convergence of fuzzy numbers was presented by Kumar and Kumar [8]. Some implementations of ideal convergence can be seen in [6,9]. I-statistical convergence was investigated by Savaş and Das [10]. Theory of fuzzy was firstly originated by Zadeh [11]. Zadeh primarily studied the convexity feature of fuzzy sets. Some applications of fuzzy sets can be found in [11]. As a result of the significance of the star-shapedness and convexity that can be examined as a natural extension to this feature, it can be investigated in various ways ([2,3]). Diamond [1] presented the formulation of the fuzzy star-shaped numbers and examined the features of  $L_p$ -metric for  $p \geq 1$  on the same study.

Throughout the study, we denote the set of all sequences  $t = (t_k)$  of fuzzy star-shaped numbers in  $\mathbb{R}^n$  by  $w^*(S^n)$ . Significant definitions and notations which are used in present paper can be found in [4,5,10,12].

### 2. Material and Method

With the description in the introduction, it can be observed that this study is qualitative with grounded theory method. Papers [1] and [12] put forward to concept of fuzzy star-shaped numbers and also [4], [5] provide a fundamental survey of the convergence concepts of fuzzy star-shaped numbers.

By utilizing the notions of statistical convergence, ideal and fuzzy star-shaped numbers, we acquire new class of I-statistical convergence of sequences of fuzzy star-shaped numbers.

### 3. Results and Discussion

Now, we aim to present the sequence spaces  $c^{S(I)}(S^n), c_0^{S(I)}(S^n)$  and  $l_\infty^{S(I)}(S^n)$  of fuzzy star-shaped numbers with regards to the  $L_p$ -metric. We identify

$$c^{S(I)}(S^n) = \left\{ t = (t_k) \in w^*(S^n) : \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(t_k, t_0) \geq \xi \mid \geq \zeta \right\} \in I \text{ for some } \xi > 0 \text{ and some } t_0 \in S^n \right\};$$

$$c_0^{S(I)}(S^n) = \left\{ t = (t_k) \in w^*(S^n) : \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(t_k, \bar{0}) \geq \xi \mid \geq \zeta \right\} \in I \text{ for some } \xi > 0 \text{ and some } \bar{0} \in S^n \right\};$$

$$l_\infty^{S(I)}(S^n) = \left\{ t = (t_k) \in w^*(S^n) : \exists H > 0 \text{ such that } \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(t_k, \bar{0}) \geq H \mid \geq \zeta \right\} \in I; \right\}$$

$$m^{S(I)}(S^n) = c^{S(I)}(S^n) \cap l_\infty^{S(I)}(S^n) \text{ and } m_0^{S(I)}(S^n) = c_0^{S(I)}(S^n) \cap l_\infty^{S(I)}(S^n).$$

**Definition 3.1.** A sequence  $t = (t_k)$  is named to be I-statistically Cauchy if for each  $\xi, \zeta > 0$ ,

$$\left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(t_k, t_j) \geq \xi \mid \geq \zeta \right\} \in I.$$

**Theorem 3.1.** The spaces  $c^{S(I)}(S^n), c_0^{S(I)}(S^n)$  and  $l_\infty^{S(I)}(S^n)$  are linear.

*Proof.* Assume  $t = (t_k)$  and  $r = (r_k)$  be sequences of  $c^{S(I)}(S^n)$  which convergence to  $t_0$  and  $r_0$  respectively and  $\alpha, \beta$  be scalars. Then

$$K\{\xi, \zeta\} = \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(t_k, t_0) \geq \frac{\xi}{2} \mid \geq \zeta \right\} \in I,$$

$$L\{\xi, \zeta\} = \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(r_k, r_0) \geq \frac{\xi}{2} \mid \geq \zeta \right\} \in I.$$

$$\begin{aligned} &\rho_p(\alpha t + \beta r, \alpha t_0 + \beta r_0) \\ &= \left( \int_0^1 \rho_H([\alpha t_k + \beta r_k]^\sigma, [\alpha t_0 + \beta r_0]^\sigma)^p d\sigma \right)^{\frac{1}{p}} \\ &= \left( \int_0^1 \rho_H(\alpha [t_k]^\sigma + \beta [r_k]^\sigma, \alpha [t_0]^\sigma + \beta [r_0]^\sigma)^p d\sigma \right)^{\frac{1}{p}} \\ &\leq \left( \int_0^1 \rho_H([\alpha t_k]^\sigma + [\alpha t_0]^\sigma)^p d\sigma \right)^{\frac{1}{p}} \\ &\quad + \left( \int_0^1 \rho_H([\beta r_k]^\sigma + [\beta r_0]^\sigma)^p d\sigma \right)^{\frac{1}{q}} \\ &= |\alpha| \left( \int_0^1 \rho_H([t_k]^\sigma + [t_0]^\sigma)^p d\sigma \right)^{\frac{1}{q}} \\ &\quad + |\beta| \left( \int_0^1 \rho_H([r_k]^\sigma + [r_0]^\sigma)^p d\sigma \right)^{\frac{1}{q}} \\ &= |\alpha| \rho_p(t, t_0) + |\beta| \rho_p(r, r_0). \end{aligned}$$

Now

$$\begin{aligned} M\{\xi, \zeta\} &= \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(\alpha t + \beta r, \alpha t_0 + \beta r_0) \geq \xi \mid \geq \zeta \right\} \\ &\subseteq \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : |\alpha| \rho_p(t, t_0) \geq \frac{\xi}{2} \mid \geq \zeta \right\} \\ &\quad \cup \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : |\beta| \rho_p(r, r_0) \geq \frac{\xi}{2} \mid \geq \zeta \right\} \\ &= \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(t, t_0) \geq \frac{\xi}{2|\alpha|} \mid \geq \zeta \right\} \\ &\quad \cup \left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} |n \leq k : \rho_p(r, r_0) \geq \frac{\xi}{2|\beta|} \mid \geq \zeta \right\} \\ &\subseteq \left\{ K \left\{ \frac{\xi}{2|\alpha|}, \zeta \right\} \cup L \left\{ \frac{\xi}{2|\beta|}, \zeta \right\} \right\} \in I. \end{aligned}$$

This gives that  $(\alpha t + \beta r) \in c^{S(I)}(S^n)$ . As a result,  $c^{S(I)}(S^n)$  is a linear space.

**Theorem 3.2.** The inclusions  $c_0^{S(I)}(S^n) \subset c^{S(I)}(S^n) \subset l_\infty^{S(I)}(S^n)$  are strict.

*Proof.* Obviously  $c_0^{S(I)}(S^n) \subset c^{S(I)}(S^n)$ . Now, to indicate that  $c_0^{S(I)}(S^n)$  is a proper subset of  $c^{S(I)}(S^n)$ , consider  $t = (t_k) \in w^*(S^n)$  as

$$t_k(s) = \begin{cases} s, & 0 \leq s < 2 \\ 3 - s, & 2 \leq s \leq 3 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Obviously the sequence  $(t_k) \in c^{S(I)}(S^n)$  but  $(t_k) \notin c_0^{S(I)}(S^n)$ , that is  $(t_k) \in c^{S(I)}(S^n) / c_0^{S(I)}(S^n)$ . Now, contemplate a sequence  $t = (t_k) \in c^{S(I)}(S^n)$ . Then, there is a  $t_0 \in S^n$  such that  $I - stlim t_k = t_0$ , that is,

$$\left\{ k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t_k, t_0) \geq \xi \right| \geq \zeta \right\} \in I.$$

We get

$$\rho_p(t_k, \bar{0}) \leq \rho_p(t_k, t_0) + \rho_p(t_0, \bar{0}).$$

This denotes that  $(t_k)$  have to belongs to  $l_\infty^{S(I)}(S^n)$ . Subsequent is an example to demonstrate the strictness of the inclusion  $c^{S(I)}(S^n) \subset l_\infty^{S(I)}(S^n)$ .

*Example 2.1.* Contemplate the subsequent sequence:

$$t_k(s) = \begin{cases} \frac{1+2s}{2}, & \text{for } \frac{-1}{2} \leq s \leq \frac{1}{2} \\ 2(1-s), & \text{for } \frac{1}{2} \leq s \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Take  $I$  as a non maximal ideal. Determine a sequence  $r = (r_k)$  as

$$r_k = \begin{cases} t_k, & k \in K \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

We acquire  $(r_k) \in l_\infty^{S(I)}(S^n)$  but  $(r_k) \notin c^{S(I)}(S^n)$ .

Also, assume the sequence  $(t_k)$  be identified as

$$t_k(s) = \begin{cases} 1 - ks, & 0 \leq s \leq \frac{1}{k} \\ 1 + ks, & \frac{-1}{k} \leq s \leq 0 \text{ for } k = 2m \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Otherwise

$$t_k(s) = \begin{cases} s + 5, & -5 \leq s \leq 0 \\ 1, & 0 \leq s \leq 2 \\ -s + 5, & 2 \leq s \leq 5 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Consequently,  $(t_k) \in l_\infty^{S(I)}(S^n)$  but  $(t_k) \notin c^{S(I)}(S^n)$ . Hence, the inclusions  $c_0^{S(I)}(S^n) \subset c^{S(I)}(S^n) \subset l_\infty^{S(I)}(S^n)$  are strict.

**Theorem 3.3.** If  $I$  is not maximal then  $c^{S(I)}(S^n)$  is neither normal nor monotone.

*Proof.* We examine the subsequent example. Think a sequence  $t = (t_k) \in w^*(S^n)$

$$t_k(s) = \begin{cases} 2s, & \text{if } 0 \leq s \leq \frac{1}{2} \\ 1, & \text{if } \frac{1}{2} \leq s \leq \frac{3}{2} \\ -2(s-2), & \text{if } \frac{3}{2} \leq s \leq 2 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Then,  $(t_k) \in c^{S(I)}(S^n)$ . As  $I$  is not maximal, we identify a sequence  $r = (r_k)$  as

$$r_k = \begin{cases} t_k, & k \in K \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

such that  $r = (r_k)$  exists in the canonical pre-image of  $(t_k)$  of  $K$ -step spaces of  $c^{S(I)}(S^n)$ . But  $(r_k) \notin c^{S(I)}(S^n)$ . Hence,  $c^{S(I)}(S^n)$  is not monotone, so it is not normal.

**Theorem 3.4.** The spaces  $c_0^{S(I)}(S^n), c^{S(I)}(S^n), l_\infty^{S(I)}(S^n)$  are sequence algebra.

*Proof.* When  $K$  and  $L$  are fuzzy star-shaped numbers then, their product is determined as

$$\mu_{K.L}(y) = \sup_{y=z.x} \min(\mu_K(z), \mu_L(x))$$



for every  $y \in \mathbb{R}$ . Assume  $t_0$  be  $I$ - $stlimt_k$  and  $r_0$  be  $I$ - $stlimr_k$ . For  $\sigma \in [0,1]$  and  $\alpha, \beta \geq 0$ .

$$\rho_H([t_k]^\sigma[r_k]^\sigma, [t_0]^\sigma[r_0]^\sigma) \leq \alpha\rho_p([t_k]^\sigma, [t_0]^\sigma) + \beta\rho_p([r_k]^\sigma, [r_0]^\sigma).$$

Thus, we obtain

$$\rho_H(t_k r_k, t_0 r_0) \leq \alpha\rho_p(t_k, t_0) + \beta\rho_p(r_k, r_0).$$

Let  $\xi, \zeta > 0$  be taken. Then

$$K\left\{\frac{\xi}{2}, \zeta\right\} = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t_k, t_0) \geq \frac{\xi}{2} \right| \geq \zeta \right\} \in I,$$

$$L\left\{\frac{\xi}{2}, \zeta\right\} = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(r_k, r_0) \geq \frac{\xi}{2} \right| \geq \zeta \right\} \in I.$$

Think the set

$$M\{\xi, \zeta\} = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t_k r_k, t_0 r_0) \geq \xi \right| \geq \zeta \right\}.$$

It suffices to denote that  $M\{\xi, \zeta\} \subseteq K\{\xi, \zeta\} \cup L\{\xi, \zeta\}$ . Then

$$\left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t_k r_k, t_0 r_0) \geq \xi \right| \geq \zeta \right\} \subseteq \alpha \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t_k, t_0) \geq \frac{\xi}{2} \right| \geq \zeta \right\} \cup \beta \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(r_k, r_0) \geq \frac{\xi}{2} \right| \geq \zeta \right\}.$$

Since

$$M\{\xi, \zeta\} \subseteq \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t_k, t_0) \geq \frac{\xi}{2\alpha} \right| \geq \zeta \right\} \cup \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(r_k, r_0) \geq \frac{\xi}{2\beta} \right| \geq \zeta \right\}.$$

As a result  $M\{\xi, \zeta\} \subseteq K\{\xi, \zeta\} \cup L\{\xi, \zeta\}$ .

**Theorem 3.5.** The function  $h: m^{S(I)}(S^n) \rightarrow \mathbb{R}$  given by  $h(p) = I$ - $stlimp$  is a Lipschitz function and so uniformly continuous.

*Proof.* Assume  $t, r \in m^{S(I)}(S^n)$  with  $p \neq r$  such that  $h(t) = I$ - $stlimt$  and  $h(r) = I$ - $stlimr$ . Then

$$K_p = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t, h(t)) \geq \|t - r\| \right| \geq \zeta \right\} \in I,$$

$$L_p = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(r, h(r)) \geq \|t - r\| \right| \geq \zeta \right\} \in I.$$

Therefore

$$K_p^c = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t, h(t)) \geq \|t - r\| \right| < \zeta \right\} \in F(I),$$

$$L_p^c = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(r, h(r)) \geq \|t - r\| \right| < \zeta \right\} \in F(I).$$

So  $M_p^c = K_p^c \cap L_p^c \in F(I)$ . Namely  $M_p^c \neq \emptyset$ . Let  $k \in M_p^c$  such that

$$\rho_p(h(t), h(r)) \leq \rho_p(h(t), t) + \rho_p(t, r) + \rho_p(r, h(r)) \leq 3\|t - r\|.$$

As a result,  $h$  is Lipschitz continuous.

**Theorem 3.6.** When  $t, r \in m^{S(I)}(S^n)$ , then  $(t, r) \in m^{S(I)}(S^n)$  and  $h(tr) = h(t)h(r)$ .

*Proof.* As  $t, r \in m^{S(I)}(S^n)$ , for  $\xi, \zeta > 0$  the subsequent conditions supplies

$$K_p = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(t, h(t)) \geq \xi \right| < \frac{\zeta}{2M} \right\} \in F(I),$$

$$L_r = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(r, h(r)) \geq \xi \right| < \frac{\zeta}{2N} \right\} \in F(I),$$

where  $M, N > 0$  where  $\rho_p(t, \bar{0}) < M$  and  $\rho_p(r, \bar{0}) < N$ . Think the set

$$R = \left\{k \in \mathbb{N} : \frac{1}{k} \left| n \leq k : \rho_p(tr, h(t)h(r)) \geq \xi \right| < \zeta \right\}$$

and let  $k \in K_p \cap L_r$ .

Now

$$\begin{aligned} \rho_p(tr, h(t)h(r)) &\leq \rho_p(tr, th(r)) \leq \rho_p(th(r), h(t)h(r)) \\ &\leq \rho_p(t, 0)\rho_p(r, h(r)) \\ &+ \rho_p(h(r), 0)\rho_p(t, h(t)) \leq \frac{\zeta}{2M}M + \frac{\zeta}{2N}N \\ &= \zeta. \end{aligned}$$

Hence,  $K_p \cap L_r \in R$ , so that  $R \in F(I)$ . So  $(t.r) \in m^{S(I)}(S^n)$  and  $h(tr) = h(t)h(r)$ .

## 4. Conclusions and Recommendations

In this study, we investigate I-statistical convergence of sequences of fuzzy star-shaped numbers. We put forward to topological and algebraic features of the obtained new sequence spaces. We examine significant examples of these new notions.

## 5. Acknowledge

The authors also thank to the reviewers for their comments and suggestions in this article.

## References

- [1] Diamond, P. (1990). A note on fuzzy star-shaped fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.*, 37(2), 193-199.
- [2] Diamond, P., & Kloeden, P. (1989). Characterization of compact subsets of fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.*, 29(3), 341-348.
- [3] Diamond, P., & Kloeden, P. (1990). Metric spaces of fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.*, 35(2), 241-249.
- [4] Khan, V.A., Kara, E.E., Tuba, U., Alshlool, K.M.A.S., & Ahmad, A. (2021). Sequences of fuzzy star-shaped numbers. *J. Math. Comput. Sci.*, 23(4), 321-327.
- [5] Khan, V.A., Tuba, U., Ashadul Rahaman, SK., & Ahmad, A. (2021). Ideal convergent sequence spaces of fuzzy star-shaped numbers. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 40, 11355-11362. <https://doi.org/10.3233/JIFS-202534>
- [6] Kostyrko, P., Macaj, M., Salat, T., & Slezniak, M. (2005). I-convergence and extremal I -limit points. *Math. Slov.*, 4, 443-464.
- [7] Kostyrko, P., Salat, T., & Wilczynski, W. (2000/2001). I-convergence. *Real Anal. Exchange*, 26(2), 669-686.
- [8] Kumar, V., & Kumar, K. (2008). On the ideal convergence of sequences of fuzzy numbers. *Inf. Sci.*, 178(24), 4670-4678.
- [9] Salat, T., Tripathy, B., & Ziman, M. (2004). On some properties of I-convergence. *Tatra. Mt. Math. Publ.*, 28, 279-286.
- [10] Savaş, E., & Das, P. (2011). A generalized statistical convergence via ideals. *App. Math. Lett.*, 24, 826-830.
- [11] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Inf. Control.*, 8(3), 338-353.
- [12] Zhao, Z., & Wu, C. (2013). A characterization for compact sets in the space of fuzzy star-shaped numbers with metric. *Abstr. Appl. Anal.*, 2013, Article ID: 627314. <https://doi.org/10.1155/2013/627314>



# The Effect of PEEK-Rod Fixation Systems on Finite Element Lumbar Spine Model

Saliha Zeyneb Akıncı<sup>1\*</sup>, Derya Karabulut<sup>2</sup>, Hasan Kemal Sürmen<sup>3</sup>, Onur Yaman<sup>4</sup>, Yunus Ziya Arslan<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Medipol University, Department of Biomedical Engineering and Bioinformatics, Istanbul, Turkey.  
(ORCID: 0000-0003-2601-143X), [szakinci@medipol.edu.tr](mailto:szakinci@medipol.edu.tr)

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Istanbul University-Cerrahpasa, Istanbul, Turkey.  
(ORCID: 0000-0002-1903-9525), [deryakarabulut@istanbul.edu.tr](mailto:deryakarabulut@istanbul.edu.tr)

<sup>3</sup> Department of Automotive Technology, Vocational School of Technical Sciences, Istanbul University-Cerrahpasa, Istanbul, Turkey.  
(ORCID: 0000-0001-8045-9193), [kemalsurmen@gmail.com](mailto:kemalsurmen@gmail.com)

<sup>4</sup> Memorial Hospital, Department of Neurosurgery, Istanbul, Turkey,  
(ORCID: 0000-0002-2038-1643), [dronuryaman@yahoo.com](mailto:dronuryaman@yahoo.com)

<sup>5</sup> Department of Robotics and Intelligent Systems, Institute of Graduate Studies in Science and Engineering, Turkish-German University, Istanbul, Turkey.  
(ORCID: 0000-0002-1861-9368), [yunus.arslan@tau.edu.tr](mailto:yunus.arslan@tau.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1086952)

**ATIF/REFERENCE:** Akıncı, S. Z., Karabulut, D., Sürmen, H. K., Yaman, O & Arslan, Y. Z. (2022). The Effect of PEEK-Rod Fixation Systems on Finite Element Lumbar Spine Model. *European Journal of Science and Technology*, (34), 783-786.

## Abstract

Orthopedic fixation devices have been employed in the treatment of spinal diseases. Special fixation devices have been developed to decrease the effect of spinal injuries and deformities and have been used to decrease the neurologic back pain of the patients. In this study, the finite element spine model of an adolescent idiopathic scoliotic patient was constructed. The titanium spinal implant system and the system of polyetheretherketone (PEEK) were compared regarding their stress distributions. The finite element lumbar spine model from L2 to L5 vertebra was obtained from computed tomography scan data. The three-dimensional spine model consisted of four lumbar vertebrae, three intervertebral discs, six facet joints, and the corresponding ligaments. Loading and boundary conditions were applied to the L2-L5 lumbar model. According to the subjected loads and bending moments on the model, stress distributions were evaluated especially on the intervertebral discs, and the screw-rod implant systems both for the titanium and the PEEK-based fixation systems. The disc structures were also analyzed for the effects of adjacent segment disease, which has been reported as a post-operative effect of fusion surgeries. Ansys software was used for the simulation processes of the models without the implant system and the models with different fixation systems. Comparative investigation between different fixation systems showed that the stress distribution values were decreased with the PEEK-based fixation system. Moreover, lower total deformation and equivalent stress values were recorded with the PEEK-based fixation system, especially on L3-L4 and L4-L5 intervertebral discs. Furthermore, both spinal implant systems allowed to decrease the overall loading stress on the whole spine models. And it was concluded that the PEEK-based spinal implant system was considerably reduced the load on the discs and ligaments, and also appeared as a better option in stress reduction and load sharing when compared to the titanium spinal implant system.

**Keywords:** Finite element analysis, Titanium rod, von Mises stress analysis, PEEK rod, Adjacent segment disease.

## Sonlu Eleman Lomber Omurga Modelinin PEEK-Çubuk Sabitleme Sistemleri Üzerindeki Etkisi

### Öz

Ortopedik sabitleme cihazları omurga rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılmaktadır. Özel sabitleme cihazları omurga rahatsızlıklarının ve deformitelerinin etkilerini azaltmak ve hastaların nörolojik sırt ağrılarını hafifletmek için geliştirilmektedir. Bu çalışmada adolesan idiyopatik bir hastanın omurgasının sonlu eleman modeli elde edilmiştir. Titanyum ve polietereterketon (PEEK) omurga implant sistemleri stres dağılımları göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman lomber omurga modeli L2'den L5'e kadar bilgisayarlı

\* Corresponding Author: [szakinci@medipol.edu.tr](mailto:szakinci@medipol.edu.tr)

tomografi verilerinden elde edilmiştir. Üç-boyutlu omurga modeli dört tane lomber omurundan, üç tane omurlararası diskten, altı tane faset eklemden ve bunlara karşılık gelen ligamentlerden oluşmaktadır. L2-L5 lomber modele yükleme ve sınır koşulları uygulanmıştır. Model üzerinde uygulanan yüklere ve eğilme momentlerine göre gerilme dağılımları, özellikle omurlararası disklerde ve vida-çubuk implant sistemleri üzerindeki etkileri titanyum ve PEEK-tabanlı sabitleme cihazlarının her ikisi için de değerlendirilmiştir. Disk yapıları ayrıca füzyon ameliyatlarının operasyon sonrası etkileri olarak rapor edilen komşu segment hastalığının etkileri açısından da araştırılmıştır. İmplantsız ve farklı sabitleme cihazlarının olduğu sistemlerdeki simülasyon işlemleri için Ansys programı kullanılmıştır. Farklı sabitleme sistemleri arasında yapılan karşılaştırmalı araştırma, PEEK-tabanlı sabitleme sisteminde daha düşük gerilme dağılımı değerlerinin olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, PEEK-tabanlı sabitleme sisteminde daha düşük toplam deformasyon ve eşdeğer gerilme değerleri, özellikle L3-L4 ve L4-L5 omurlararası disklerde kaydedilmiştir. Ayrıca her iki omurga implant sistemi, bütün omurga modeli üzerindeki toplam yükleme stresinin azalmasına imkan vermiştir. PEEK-tabanlı omurga implant sisteminin diskler ve ligamentler üzerindeki yükü önemli ölçüde azalttığı, ve de titanyum omur implant sistemi ile karşılaştırıldığında stres değerlerinin azaltılmasında ve yük paylaşımında daha iyi bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu eleman analizi, Titanyum çubuk, von Mises gerilme analizi, PEEK çubuk, Komşu segment hastalığı.

## 1. Introduction

Adolescent idiopathic scoliosis, which is an abnormal curvature of the spine, requires surgical correction with the attachment of rods to the spine by using screws inserted into the vertebral bodies [1]. By the application of compressive forces across the intervertebral disc spaces, a reduction in the deformity has been observed and the effect of various surgical corrective forces on the level of deformity has been investigated [2].

In recent years, with the degeneration of intervertebral disc structures, facet joints, and ligaments [4], the rate of degenerative scoliosis has been increasing [3]. Moreover, this degeneration causes the misalignment of the spinal column in the coronal plane [3]. Furthermore, osteoporosis can be the reason for this degeneration of the vertebral column [4].

Since the nerve roots are affected by compression and inflammation, it is very difficult for patients to endure this severe neurologic pain. Spinal degeneration affects adjacent segments. Surgical procedure is the most preferred strategy to decrease this pain [5]. A few studies compared the effect of different fixation techniques involving the models composed of various adjacent segments [5]. As the traditional stabilization systems, rigid rod and pedicle screw fixation systems including titanium and stainless steel have been employed for the fusion process in the lumbar region. A rigid rod system has been used to provide stability with decompression of the neural regions [8] and allow equal load sharing between the ligaments (anterior and posterior longitudinal ligaments) during the fusion into the bony segments [6-7].

In this study, a lumbar model including L2-L5 vertebra was developed and subjected to the compressive loads and lateral bending moments. The objectives of this study were to investigate the efficacy of two different spinal (titanium-rod and PEEK-rod) implant fixation systems and compare the biomechanical effects of these systems on the discs, screws, and rods of the L2-L5 lumbar spine model.

## 2. Material and Method

### 2.1. Construction of the model

In the first step of the three-dimensional (3D) reconstruction, it is essential to have CT images in the file format of DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). CT images were measured from a patient with scoliosis using a CT scanner (Siemens/Somat Definition As) with a slice thickness of 1.50 mm. Mimics Materialise software was used for the construction of the spine model between L2-L5. The construction process of

the models was carried out as in the previous studies [9-11]. After transferring the data, the software was employed to convert two-dimensional data into 3D images in different planes (axial, coronal, sagittal). For the reconstruction of the vertebral bone structures, preset thresholds were used in the software. The range of the threshold begins from 226 HU and goes to a certain value that depends on the mineral density of the bone in that region. With a very low threshold value, it is not easy to distinguish different bones. If this value is very high, then there will be bony defect regions in the 3D model of the bone.

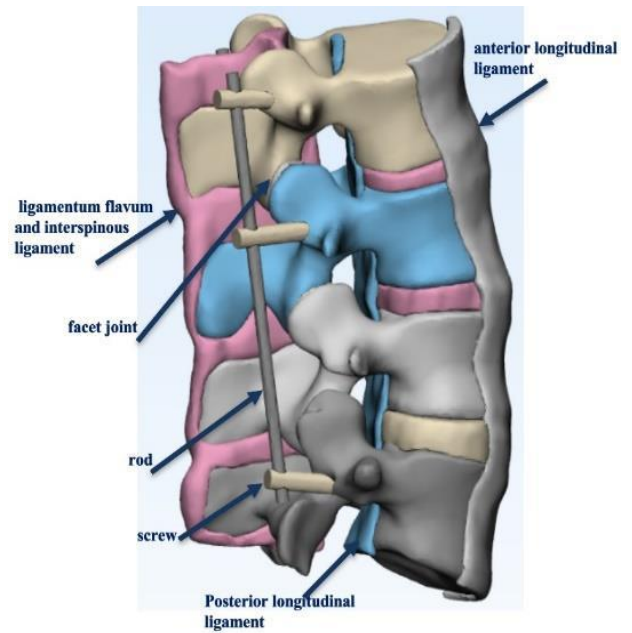


Figure 1. The L2-L5 model with the rod-screw implantation system. Different colors indicate different segmentation masks for different components in the spinal column.

Since the segmentation of the whole structure is not possible, the manual editing tools including cropping the mask, morphology operations, multi-slice, and 3D mask editing was used to control the full segmentation. Four lumbar vertebrae (L2-L5), three intervertebral discs (L2-L3, L3-L4, and L4-L5), six facet joints, and the corresponding ligaments (ligamentum flavum, interspinous ligaments, anterior and posterior longitudinal ligaments) were constructed in Mimics software. Since the intervertebral discs were constructed as one part, their complete mechanical feature was considered as annulus regions. The elastic modulus and Poisson's ratio of the annulus region were given in Table 1.

In this process, several segmentation masks were used according to the Hounsfield unit (HU) of the spinal structures in the CT scan data. The threshold value of the bone (HU units from 226-3200) is easier to distinguish in the segmentation process. Because of the low attenuation values in soft tissues, it is not easy to apply the same techniques to the intervertebral discs and the facet joints.

Thus, the segmentation of these parts was done manually in the study. After completing the manual segmentation process, the whole model with the intervertebral discs and facet joints was obtained (Fig.1).

### 2.2. Construction of the screw-rod system

The pedicle screws were constructed as cylinders. Also, the interface between screw and bone was assigned to be fully constrained. The pedicle screws were inserted through the pedicles of the vertebrae bilaterally (Fig. 2). The approach for creating a screw trajectory is explained in Fig. 2. A total of six pedicle screw trajectories on the first, second, and fifth lumbar vertebrae were formed (L2, L3, L5). First, a cylinder was created using the analyze section in Mimics software, and then the starting and the ending points were decided. The construction of the rods and screws was completed as in the previous studies [9-11].

In addition to manual adjustment of the screw trajectory in the three-dimensional reconstructed object, the simulation of the screw trajectory was also adjusted in each plane including sagittal, coronal, and axial regions. Besides, radius (2.8 mm for each screw), color, length (48 mm for each screw), and also the preoperation angles of the simulated object were adjusted at this point. The material properties [9] of the screws and the rods (Table 1) were assigned before the finite element analysis in Ansys Workbench. PEEK and titanium rods, and titanium screws were used in the study.

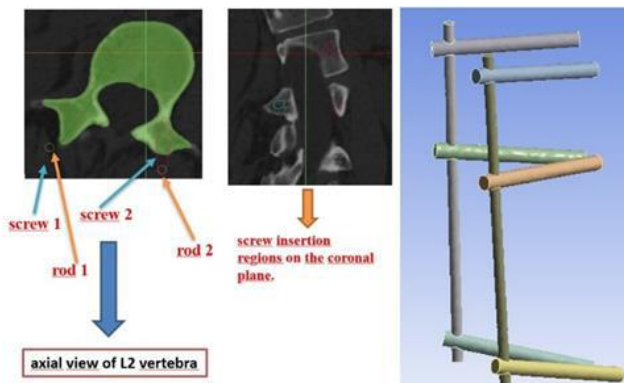


Figure 2. The representation of the screw and rod development.

### 2.3. The meshing procedure

The meshing procedure for surface and volume meshes was completed in 3-Matic software. Tetrahedral elements were used in the meshing of each spinal component that was constructed.

L2-L5 model without the implant system was consisted of 234482 nodes and 1261852 elements, whereas the model with the fixation system was composed of 243363 nodes and 1296458 elements in their 3D structures. After transferring the whole model from 3-Matic to Ansys software, the essential mechanical properties were taken from the cadaveric studies in the literature [3, 4].

The following table (Table 1) is related to the materials that were assigned to the corresponding spinal components in the models [3, 5, 12].

The axial compression force, 800 N preload, and 10.6 Nm moment were transferred through the L2-L5 spine model with titanium and PEEK rods.

Table 1. Mechanical properties of materials.

Material	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Element Type
vertebra	12000	0.3	isotropic, tetrahedral elements
facet joints	11	0.2	isotropic, tetrahedral elements
intervertebral disc	4.15	0.47	isotropic, tetrahedral elements
anterior and posterior longitudinal ligaments	20	0.3	isotropic, tetrahedral elements
ligamentum flavum, interspinous ligament	15	0.3	isotropic, tetrahedral elements
titanium screw	112.400	0.34	isotropic, tetrahedral elements
titanium rod	112.400	0.34	isotropic, tetrahedral elements
PEEK rod	3600	0.3/tensile strength (17 MPa)	isotropic, tetrahedral elements

## 3. Results and Discussion

Total deformation and equivalent stress results showed that the use of the PEEK-rod fixation system led to less stress and shear values compared to the titanium-rod system (Table 2).

The corresponding load sharing was given in Figure 3. The model without any implantation was compared with the models with two different material types of fixation rods. There was not a significant difference in total deformation between the two fixation systems.

The PEEK-rod fixation system allowed to decrease the maximum total deformation by 15%. Also, it was observed that the bending structure of the rods was greater in the titanium rod system after the application of preload and moment. In addition, equivalent (von Mises) stress was reduced by %53 in the PEEK implant system by the effect of axial loading applied to the top vertebra and also lateral bending movements of the model.

The results also showed that total deformation and stress values were higher in the titanium fixation model. The PEEK-rod system decreased stress values on the adjacent discs (L3-L4 and L4-L5) of the finite element model.

In the PEEK-based system, total deformation and stress values were decreased on L3-L4 and L4-L5 intervertebral discs when compared to the titanium fixation model. The maximum stress values were calculated especially on the rods and also the screw-rod interfaces in all models. Furthermore, both of these fixation systems allowed to stabilize the L2-L5 lumbar spine model.

Table 2. Mechanical response of the spinal unit models.

The analysis	L2-L5 without implants (MPa)	Titanium-rod system (MPa)	PEEK-rod system (MPa)
maximum equivalent (von Mises) stress	81.873	241.24	115.17
maximum shear stress	45.573	137.75	58.84

We observed that total deformation, equivalent stress, and maximum shear stress were reduced with the PEEK rod fixation system.

The possibility of the adjacent segment disease was much higher in the titanium-rod fixation system because the PEEK rod system allowed the model to endure high stress and better load sharing with the reduction of stress at the bone to screw interface.

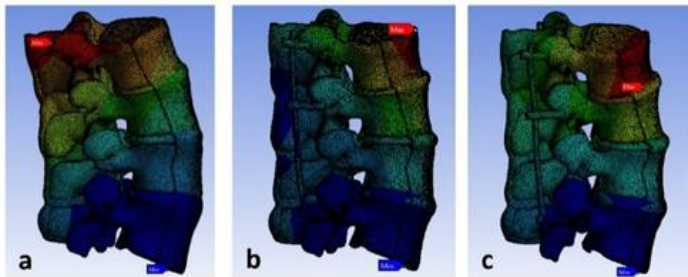


Figure 3 Total deformation of the L2-L5 model (a) without the fixation system, (b) with titanium-rod, and (c) with PEEK-rod fixation implant systems.

#### 4. Conclusions and Recommendations

It was concluded that both fixation systems decreased the loading on the finite element model, especially on the discs and ligaments.

In conclusion, PEEK rod fixation systems provide a prominent alternative to titanium-based implantation systems.

#### References

- [1] F. Altaf, A. Gibson, Z. Dannawi, and H. Noordeen, "Adolescent idiopathic scoliosis," *BMJ*, vol. 346, no. May, p. 5, 2013.
- [2] J. P. Little, M. T. Izatt, R. D. Labrom, G. N. Askin, and C. J. Adam, "An FE investigation simulating intra-operative corrective forces applied to correct scoliosis deformity," *Scoliosis*, vol. 8, no. 1, p. 9, 2013.
- [3] J. Zheng, Y. Yang, S. Lou, D. Zhang, and S. Liao, "Construction and validation of a three-dimensional finite element model of degenerative scoliosis," *J. Orthop. Surg. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [4] S. Kotwal, M. Pumberger, A. Hughes, F. Girardi. "Degenerative Scoliosis: A Review", *HSSJ*, vol.7, 257-264, 2011.
- [5] Z. Gong, Z. Chen, Z. Feng, Y. Cao, C. Jiang, and X. Jiang, "Finite element analysis of 3 posterior fixation techniques in the lumbar spine," *Orthopedics*, vol. 37, no. 5, pp. 441–448, 2014.
- [6] C. Chen, C. Huang, and S. Shih, "Biomechanical evaluation of a new pedicle screw-based posterior dynamic stabilization device-a finite element study", *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 16, no. 81, 2017.
- [7] C. Herren, A. Beckmann, S. Meyer, M. Pishnamaz, M. Mundt, R. Sobottke, A. Prescher, M. Stoffel, B. Merkert, P. Kobbe, H. Pape, P. Eysel, J. Siewe, "Biomechanical testing of a PEEK-based dynamic instrumentation device in a lumbar spine model", *Clinical Biomechanics*, vol. 44, no. 67-74, 2017.
- [8] A. A. White, M. M. Panjabi, "Clinical Biomechanics of The Spine", J. B. Lippincott Company, Second Edition, 1990.
- [9] S. Z. Akıncı, D. Karabulut, H. K. Sürmen, O. Yaman, Y. Z. Arslan, "The Investigation of The Effect of PEEK-Rod Fixation Systems on Pedicle Screws and The Adjacent Intervertebral Discs", 4th International Conference on Medical Devices (ICMD 2021), p.25, 10-12 June 2021, Gaziantep, Turkey.
- [10] S. Z. Akıncı, Sürmen H. K., Karabulut, D., S. C. Dogru, O. Yaman, Y. Z. Arslan, "Biomechanical Effect of an Implant System on Lumbar Spinal Segments", Xth Biomechanics Congress (BioMech 2021), SS-28, p.50, 26-27 March 2021, Izmir, Turkey.
- [11] S. Z. Akıncı, H. K. Sürmen, D. Karabulut, O. Yaman, Y. Z. Arslan, "Construction and Validation of Functional Lumbar Spine Unit", 2nd International Symposium of Scientific Studies (ISSRIS'22), p.1349-1351, 02-05 March 2022, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey.
- [12] S. Zahaf, S. Kebdani, "Biomechanical Study between the Rigid and Dynamic Fixation Systems of the Spinal Column Analyzed by the Finite Element Method", *Nano Biomedicine & Engineering*, vol.9, no.2, pp. 169-183, 2017.



# Hemzemin Geçitlerin Geometrik Tasarım Açısından Risk Değerlendirme Modeli

Cevat Özarpa<sup>1</sup>, Bahadır Furkan Kınacı<sup>2\*</sup>, İsa Avcı<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Makine Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1195-2344), [cevatozarpa@karabuk.edu.tr](mailto:cevatozarpa@karabuk.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Raylı Sistemler Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6872-2630), [furkankinaci@karabuk.edu.tr](mailto:furkankinaci@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup> Bilgisayar Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7032-8018), [isaavci@karabuk.edu.tr](mailto:isaavci@karabuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082518)

**ATIF/REFERENCE:** Özarpa, C., Kınacı, B.F. & Avcı İ. (2022). Hemzemin Geçitlerin Geometrik Tasarım Açısından Risk Değerlendirme Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 787-792.

## Öz

Gelişen raylı sistem yapısı ile güvenli ve hızlı alt yapı sistemleri önem kazanmıştır. Alt yapı sistemlerinden olan hemzemin geçitler, meydana gelebilecek kazaların olumsuz etkileri nedeni ile önem verilen ve dünya üzerinde ciddi çalışmalar yapılan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Raylı sistem işletmeleri, hemzemin geçit tasarımlarını coğrafi yapı, hat kapasiteleri, insanların farkındalık düzeyleri, sistem teknoloji düzeyleri gibi detaylara göre özel olarak ele alınırlar. Türkiye’de hemzemin geçit kurulacak olan bölgenin, tren seyir hızı ve seyir momenti değeri hemzemin geçitin açılıp açılmayacağını veya türünü belirlemek için kullanılan temel hesaplamadır. Geometrik tasarım yapıları raylı sistem ve kara yolu taşıtlarının seyir hızları, görüş açıları, yolların kesişim yapıları, geçitlerin bağlantı geometrisi, uyarı ekipmanı mesafeleri ve durma noktası benzeri detayları incelemektedir. Hemzemin geçitlerin güvenli hizmet vermesi için, ISO 31000:2009 risk yönetimi standardında göre oluşturulan ve alanda kabul edilmiş bir yönetim modeli olan ALCAM modeline göre risk değerlendirme yapısı kullanılmaktadır. Bu çalışmada ilgili kabuller incelenerek ortak değerlendirmeye imkân sağlayan, geometrik tasarım ve bu tasarımın güvenliğinin oluşturulabilmesi için risk modeli önerisi ortaya konulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Raylı Sistem, Alt Yapı, Hemzemin Geçit, Geometrik Tasarım, Risk Değerlendirme

## Risk Assessment Model of Grade Crossings in Terms of Geometric Design

### Abstract

With the developing rail system structure, safe and fast infrastructure systems have gained importance. Grade crossings, which are one of the infrastructure systems, appear as an area that is given importance due to the negative effects of accidents that may occur, and serious studies are carried out in the world. Rail system operators, deal with grade crossing designs according to details such as geographical structure, line capacities, people's awareness levels, system technology levels. The train cruising speed and cruising moment value of the area where the grade crossing will be established is the basic calculation used to determine whether the grade crossing can be opened or not. Geometric design structures examine the cruising speed of rail and road vehicles, viewing angles, intersection structures of roads, connection geometry of crossings, warning equipment distances and stopping points. For the grade crossings created to be safe, a risk assessment structure will be used according to ALCAM, a management model established in accordance with the ISO 31000:2009 risk management standard. In this study, by examining the relevant standards, a geometric design and a risk model proposal will be put forward to create the security of this design, which allows for joint evaluation.

**Keywords:** Rail System, Infrastructure, Grade Crossing, Geometric Design, Risk Assessment

## 1. Giriş

Raylı ulaşım sistemleri, araçların güvenli bir şekilde seyahat edebilmesi için uygun araç hareketini sağlayacak yapılara ihtiyaç duymaktadır. Bu yapılar temel olarak; altyapı ve üst yapı sistemlerinden oluşmaktadır. Raylı ulaşım sistemlerinin önemli parametrelerinden biri de altyapı sistemleridir. Alt yapı sistemlerinden olan hemzemin geçitler; bekçili bariyerli hemzemin geçit, otomatik bariyer sistemli hemzemin geçit ve kontrolsüz (serbest) hemzemin geçit türlerinden meydana gelir. Hemzemin geçitler, can ve mal güvenliğini doğrudan etkileyen ve ciddi kazaların meydana gelebileceği alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrultuda hem dünyada hem de ülkemizde hemzemin geçitlerin güvenliğini sağlamak için birçok çalışma yapılmaktadır. Hemzemin geçitlerin kullanımı yaşanabilecek problemlerden dolayı olabildiğince az sayıda tutularak, alt ve üst geçit yapıları ile taşımacılık sağlanmaya çalışılmaktadır. Alt ve üst geçitlerin maliyetleri ve uygulama güçlükleri nedeniyle hemzemin geçitlerin kullanılmaya devam edilmesini gerekli kılmıştır (TCDD, 1996; American Association of State Highway Officials, 2018; Brent D. Ogden, Chelsey Cooper, 2019).

Hemzemin geçitlerde güvenliğin sağlanması için birçok bileşenli karmaşık bir yapının oluşturulması gerekmektedir. Hemzemin geçitlerin güvenlik değerlendirilmesi yapılırken fiziksel konum, demiryolu ile karayolunun etkileşimi, kullanılacak uyarı ve ikaz işaretleri ve farkındalık düzeyi benzeri detaylar incelenir. Kurulacak olan hemzemin geçit türleri belirlenirken; tren seyir hızı ( $V < 120$  km/h,  $120$  km/h  $< V < 160$  km/h,  $V > 160$  km/h) ve seyir momenti değeri (günlük hemzemin geçitten geçen tren sayısı ile karayolu aracı sayısının çarpımı) dikkate alınan en önemli parametrelerdendir (DB Netze, 2008; Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı, 2018).

Hemzemin geçitlerin uygulanması sırasında belirli temel durumları açıklamak için farklı kurumlar tarafından çeşitli standartlar, düzenlemeler, uygulama modelleri ve raporlar yayınlanmıştır. Çalışmamızda hemzemin geçitler için geometrik tasarımlar sağlanırken kullanılacak hesaplamalar için farklı modeller incelenecektir (Transport Canada, 2014; TCDD, 2017; Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı, 2015; A. Creber, 2004; Creber, Associates, 2003; Independent Transport Safety Regulator NSW, 2008; Queensland, 1999). İncelenen ve Türkiye'de uygulama alanı bulabilecek olan geometrik tasarıma sahip öneri yapısı oluşturularak, hemzemin geçitlerdeki önemli potansiyel risklerin belirlenmesi ve yükseltmesi için uygulanan bir model olan Avustralya hemzemin geçit değerlendirme modeline (ALCAM) göre risk değerlendirme yapısı oluşturulacaktır (ALCAM, 2007; ALCAM, 2009; Baker Ross, Kieran Helm, 2011; ARRB Transport Group, 2011; ARRB Transport Group, 2009; ARRB

Transport Group, 2010; Hughes Peter, 2002; Meiers Simon, 2012; Risk and Reliability Associates (R2A) , 2006; Sotera Risk Solutions, 2011).

## 2. Materyal ve Metot

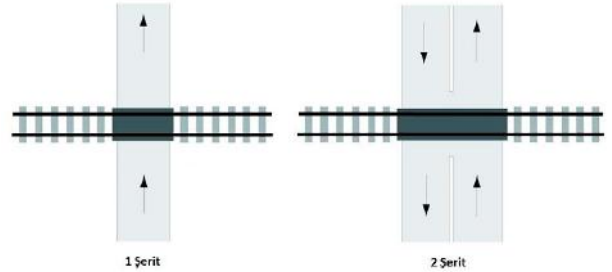
Bu bölümde raylı sistem taşımacılığında önemli bir alt yapı sistemi olan hemzemin geçitlerin detayları ile güvenli yapının oluşturulabilmesi için risk yönetim modeli oluşturulacaktır.

### 2.1. Raylı Sistem Alt Yapı Sistemleri

Raylı ulaşım sistemleri, araçların güvenli bir şekilde seyahat edebilmesi için uygun araç hareketini sağlayacak yollara ihtiyaç duyar. Bu yollar temel olarak altyapı ve üst yapı sistemlerinden oluşmaktadır. Raylı ulaşım sistemlerinin önemli parametrelerinden biri de altyapı sistemleridir. Altyapı sistemleri, raylı sistem aracının mevcut doğal zemin yapısının güvenli seyrini sağlamak için yapılan her türlü çalışmayı kapsamaktadır. Altyapı sistemleri temel olarak tüneller, köprüler, geçitler ve destek yapılarından oluşmaktadır. Şekil 1'de temel altyapı ve üst yapı sistemlerini göstermektedir (Ay, İ, 2014).

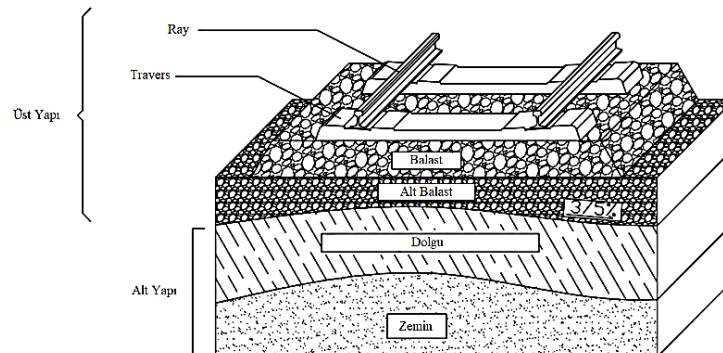
### 2.2. Hemzemin Geçitler

Demiryolunun karayolu ile kesiştiği noktalarda bir taraftan diğer tarafa geçişi sağlayan yapılar geçitler olarak isimlendirilir. Demiryollarında alt geçit, üst geçit ve hemzemin geçit yapıları ile geçişler sağlanır. Hemzemin geçit türleri temel olarak; bekçili bariyerli hemzemin geçitler, otomatik bariyer sistemli hemzemin geçitler ve kontrolsüz (serbest) hemzemin geçitlerden oluşur. Şekil 2'de, demiryolu ile kesişen 1 şeritli ve 2 şeritli karayolu hemzemin geçitleri gösterilmektedir (Transport Canada, 2014).



Şekil 1. Demiryolu ile Kesişen 1 şeritli ve 2 şeritli Karayolu

Hemzemin geçitler tasarlanırken tren hızı ve seyir momenti değeri (günlük hemzemin geçitten geçen tren sayısının karayolu taşıt sayısı ile çarpımı) göre tasarımlar yapılır. Tablo 1'de tren hızı ve seyir momenti değerlerine göre hemzemin geçit tipi seçimi gösterilmiştir.



Şekil 2. Altyapı ve Üstyapı Sistemleri



Tablo 1. Hemzemin Geçit Seçimi

Tren Hızı	Hemzemin Geçit (HG) Momenti	HG Türü
Tren Hızı < 120 km/h	Moment < 3.000	Kontrolsüz
Tren Hızı < 120 km/h	3.000 < Moment < 30.000	Flaşörlü-Çanlı ve Otomatik Bariyerli
120 km/h < Tren Hızı < 160 km/h	Moment < 3.000	Flaşörlü-Çanlı ve Otomatik Bariyerli
120 km/h < Tren Hızı < 160 km/h	3.000 < Moment < 30.000	Flaşörlü-Çanlı ve Otomatik Bariyerli
Tren Hızı > 160 km/h	Moment < 3.000	HG Açılmaz
Tren Hızı < 160 km/h	Moment > 30.000	HG Açılmaz

### 2.3. Hemzemin Geçit Tasarımı

Hemzemin geçitler tasarlanırken geçişin olduğu bölüm demiryolu aracı ve karayolu araçlarının tamamı için uygun bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir. Dünya üzerinde gerçekleştirilen uygulamalarda kabul edilen değerlerin kesit görüntüsü şekil 3' teki gibidir.

Hemzemin geçit tasarımında önemli detaylardan birisi de güvenli duruş mesafesinin hesaplamasıdır.

Dünya üzerinde kullanılan güvenli duruş mesafesi hesaplamalarında;

$$d_H = 0.278 V_v t + \frac{V_v^2}{254f} + D + de \quad (1)$$

$$d_T = \frac{V_T}{V_v} \left[ 0,278 V_v + \frac{V_v^2}{254f} + 2D + L + W \right] \quad (2)$$

$d_H$  = Aracın hemzemin geçite girmeden güvenli olarak durabileceği mesafe

$d_T$  = Treinin güvenli hemzemin geçit görüş mesafesi

$V_v$  = Araç hızı

$V_T$  = Tren hızı

$t$  = Reaksiyon süresi (2.5 saniye kabul edilir)

$f$  = Sürtünme süresi katsayısı

$D$  = Aracın önünün raya olan mesafesi (4.5 metre kabul edilir)

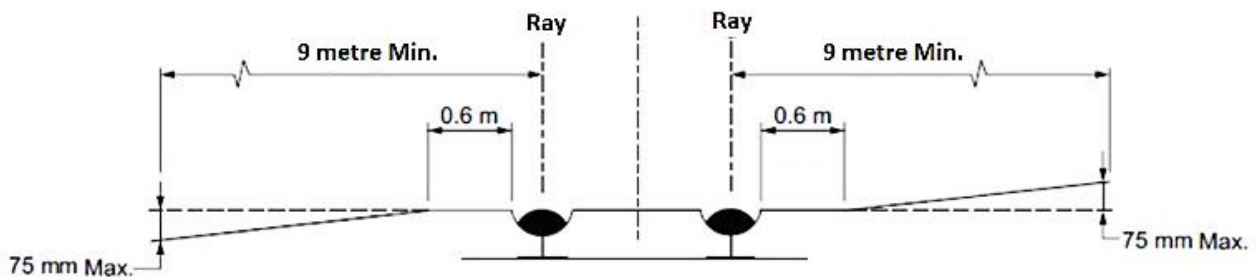
$W$  = Ray açıklığı (Ülkemizde: 1435 mm.)

$L$  = Araç uzunluğu (20 metre kabul edilir)

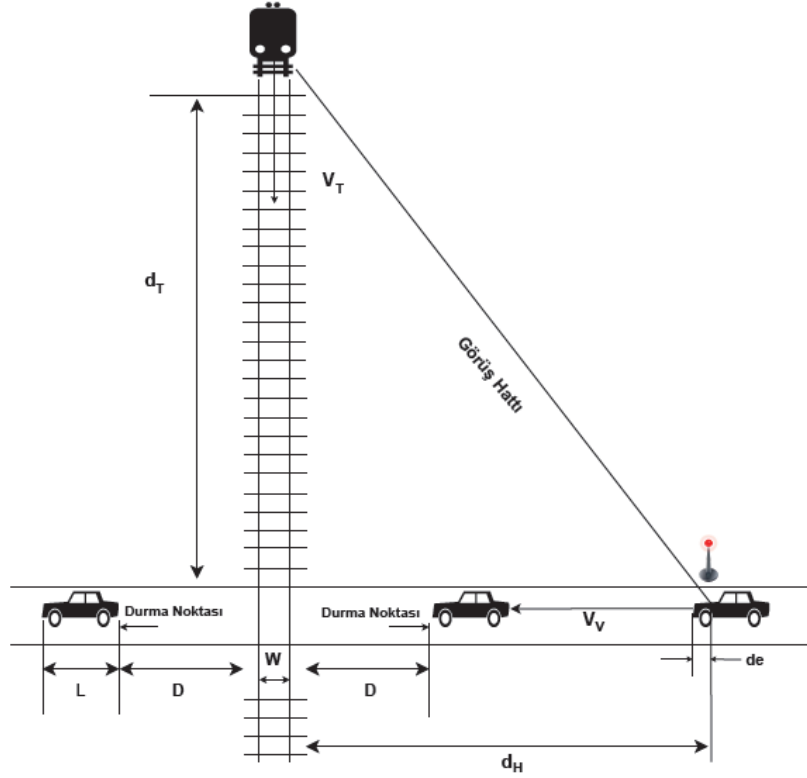
$de$  = Sürücünden aracın önüne kadar olan mesafe (3 metre kabul edilir)

değerlendirmeleri yapılır (American Association of State Highway Officials, 2018; Brent D. Ogden, Chelsey Cooper, 2019).

Uygulanan hemzemin geçit kurallarında, kırmızı flaşörlü araç uyarı mesafesi ( $d_H$ ) ve treinin güvenli hemzemin geçit görüş mesafesi ( $d_T$ ) farklı hızlara göre belirlenmiştir. Tablo 2'de minimum duruş görüş mesafesi değerleri verilmiştir (Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı, 2018).



Şekil 3. Hemzemin Geçitin Kesit Görüntüsü



Şekil 4. Hemzemin Geçitte Güvenli Duruş Mesafesi.

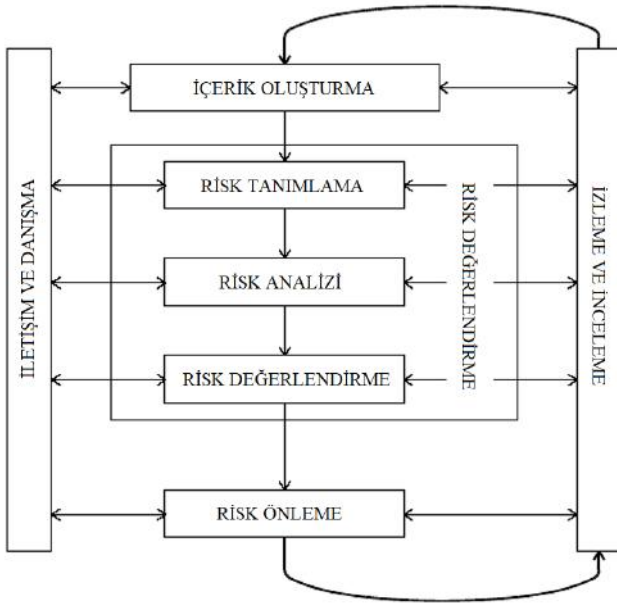
Tablo 2. Kullanılan Minimum Görüş Mesafesi Değerleri (American Association of State Highway Officials, 2018) (Brent D. Ogden, Chelsey Cooper, 2019) (Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı, 2018)

Tren Hızı (km/h)	Duraktan Kalkış	Araç Hızı (km/h)													
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
	0	<b>d<sub>T</sub> = Trenin güvenli hemzemin geçit görüş mesafesi</b>													
10	45	39	24	21	19	19	19	19	20	21	21	22	23	24	
20	91	77	49	41	38	38	38	39	40	41	43	45	47	48	
30	136	116	73	62	57	56	57	58	60	62	64	67	70	73	
40	181	154	98	82	77	75	76	77	80	83	86	89	93	97	
50	227	193	122	103	96	94	95	97	100	103	107	112	116	121	
60	272	232	147	123	115	113	113	116	120	124	129	134	140	145	
70	317	270	171	144	134	131	132	135	140	145	150	156	163	169	
80	362	309	196	164	153	150	151	155	160	165	172	179	186	194	
90	408	347	220	185	172	169	170	174	179	186	193	201	209	218	
100	453	386	245	206	192	188	189	193	199	207	215	223	233	242	
110	498	425	269	226	211	207	208	213	219	227	236	246	256	266	
120	544	463	294	247	230	225	227	232	239	248	258	268	279	290	
130	589	502	318	267	249	244	246	251	259	269	279	290	302	315	
140	634	540	343	288	268	263	265	271	279	289	301	313	326	339	
		<b>d<sub>H</sub> = Aracın hemzemin geçite girmeden güvenli olarak durabileceği mesafe</b>													
		16	26	39	54	71	90	112	137	163	192	223	256	292	

## 2.4. Risk Değerlendirme

Risk (belirsizliğin hedefler üzerindeki etkisi), bir olayın ortaya çıkma olasılığının ve bu olayın ortaya çıkan sonucunun kombinasyonu olarak yaygın olarak bilinir ve kabul edilir. ISO 31000, 2009 yılında yayınlanan risk yönetiminin tasarımı, uygulanması ve sürdürülmesi için bir rehber olarak hizmet etmesi amaçlanan bir standarttır. ISO 31000:2009, sistemlerdeki riski tanımlayıp, analiz edip ve ardından risk kriterlerini belirlemek için değerlendirmeler yaparak sistematik ve mantıklı bir süreci ortaya koyar. Risk yönetimi süreci için geliştirilen uygulamalar ISO 31000:2009 uluslararası standardında belirtilen bir dizi adımları takip ederek gerçekleştirilir. Bu adımlar Şekil 5'te gösterilmiştir (ISO 31000:2009, 2009).

Hemzemin geçitler için risk modelleri hem demiryolu – karayolu kesişimi hem de demiryolu – yaya yolu kesişimi için bir karar verme sürecini desteklemek ve en optimum çözümlerin belirlenmesine yardımcı olmak için kullanılır (ALCAM, 2007).



Şekil 5. ISO31000 Risk Yönetimi Süreci

Risk değerlendirme için kullanılan ALCAM modeli; altyapı faktörü, maruz kalma faktörü ve sonuç faktörü olarak üç ayrı bileşenden oluşur. Birlikte değerlendirildiğinde, bu üç bileşen her hemzemin geçit için değerlendirilebilir bir risk puanı üretir (ALCAM, 2007).

ALCAM, hemzemin geçitlerde doğal olan riskleri tanımlamak, analiz etmek ve değerlendirmek ve riskler için önerilen çözümlerin yeterliliğini belirlemek için kullanılır. Model hem nitel hem de nicel özellikleri göz önünde bulundurur. Hemzemin geçit bölgelerinde yaygın insan davranışlarının etkisini değerlendirir. Model, bir güvenlik iyileştirmesine nasıl katkıda bulunacağıyla ilgili olarak her bir özelliğe ağırlıklar ayırır ve mevcut denetimlerin bu özellikler üzerinde nasıl bir etkisi olacağını değerlendirir.

ALCAM modeli oluşturduğu üç ayrı bileşenden, her birinin bir arada olması ile her hemzemin geçit için bir risk puanı üreten bir çıktı olarak tek bir 'faktöre' sahip olur. Bu hesaplanan tek faktör ALCAM risk skoru olarak ifade edilir.

ALCAM Risk Skoru = Altyapı Faktörü x Maruz Kalma Faktörü x Sonuç Faktörü (3)

Risk skoru içerisinde bulunan, Altyapı Faktörü; her bir hemzemin geçit bölgesindeki fiziksel özelliklerin insan davranışlarını nasıl etkileyeceğini dikkate alan karmaşık bir puanlama algoritmasının çıktısıdır.

Altyapı Faktörü = Ham Altyapı Faktörü x Altyapı Değiştiricisi (4)

Altyapı faktörü içerisinde çarpan olarak bulunan, Ham Altyapı Faktörü; kaza mekanizmaları, özellikler ve kontroller, ağırlık matrisi, duyarlılık değerlendirmelerinden meydana gelir.

Altyapı faktörü içerisinde çarpan olarak bulunan, Altyapı Değiştiricisi; yıllara göre olan kaza oranları ile elde edilen alt yapı faktörü için bir çapandır.

Maruz Kalma Faktörü, kontrol tipinin, araç hacimlerinin ve tren hacimlerinin bir fonksiyonudur ve yıllık kaza olasılığı olarak ifade edilir. Peabody Dimmick formülasyonu kullanılarak çarpışma oranları tahmin edilmeye çalışılır.

Peabody Dimmick Formülü:

$$A5 = Iu + K \quad (5)$$

A5 = beş yıl içinde yaşanan kaza sayısı

Iu = dengesiz kaza faktörü

K = ek parametredir.

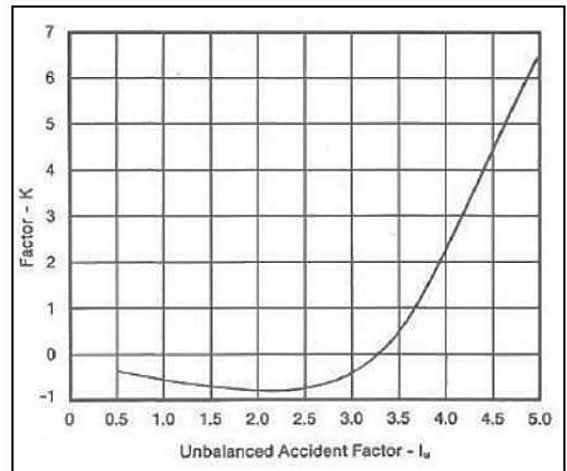
"Dengesiz kaza faktörü", "Iu" aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Iu = 1,28 (V0,170) \times (T0,151) / (P0,171) \quad (6)$$

V = geçiş boyunca günde ortalama karayolu araç sayısı

T = geçiş boyunca günde ortalama tren sayısı

P = koruma katsayısıdır.



Şekil 6. K parametre hesaplama grafiği

Sonuç Faktörü, bir çarpışma durumunda beklenen sonuç olarak hem trendeki hem de araçtaki muhtemel kayıpları tahmin eder.

ALCAM Risk Puanı, yılda beklenen eşdeğer kayıp (ölüm, yaralanma, küçük yaralanma) sayısı açısından ifade edilir. Değerlendirme sonuçlandırılırken;

1 ölüm = 10 ciddi yaralanma = 200 küçük yaralanma

Eşitliği kullanır.

### 3. Sonuç

Raylı ulaşım sistemlerindeki gelişmeler ile, karayolu ile kesişen geçitlerin sayısı artmıştır. Bu geçitler içerisinde en sık kullanılan sistem olan hemzemin geçitler, kaza riskleri ve bu kazaların ortaya çıkaracakları etkiler nedeni ile ciddi çalışmalar yapılan bir alan olarak tespit edilmiştir. Dünya üzerinde kullanılan hemzemin geçitlerin geometrik tasarımları ve risk önleme uygulamaları sistemin kullanıldığı bölgenin, coğrafi konumu, hat kapasiteleri, farkındalık seviyeleri ve kullanılan sistemlerin teknoloji düzeylerine göre özel olarak tasarlanır.

Yapılan çalışmada birçok farklı ülkenin ortaya koymuş olduğu standart, düzenlemeler, uygulama modelleri ve raporlar incelenerek hemzemin geçit oluşturulurken kabul edilebilir geometrik tasarım belirlenmiştir. Hemzemin geçitlerin güvenliklerini sağlamak için dünya üzerinde kabul görmüş ve ISO 31000:2009 risk yönetimi standardına göre tasarlanmış ALCAM değerlendirme modeli incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonrası Alt Yapı Faktörü ve Alt Yapı Değiştiricisi değerleri ile hesaplanan Risk Skoru hesaplaması ortaya konulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda ortaya konulan geometrik tasarım ve risk değerlendirme modeli ile, mevcut hemzemin geçitlerin incelenmesi ve yeni oluşturulacak hemzemin geçitlerin tasarımı için kullanımı uygun olacaktır.

### Kaynakça

- A. Creber. (2004). *Review of Level Crossing Assessment Model Improvement Process, for Rail Infrastructure Corporation (NSW)*.
- ALCAM. (2007). *Technical manual, v1.01, National ALCAM Committee*.
- ALCAM. (2009). *Level Crossing Management System (LXM) technical manual, National ALCAM Committee*.
- American Association of State Highway Officials. (2018). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*.
- ARRB Transport Group. (2009). *Risk advice on ALCAM, Philip Roper, Blair Turner, Dimitris Tsolakakis, and Chris Jurewicz, Project VC74188-1, for National ALCAM Committee*.
- ARRB Transport Group. (2010). *Correlation between ALCAM, crash factors and locations, Michael Levasseur, and Ben Mitchell, Project 002826, for National ALCAM Committee*.
- ARRB Transport Group. (2011). *Comparison of ALCAM and ALCRM models for rail level crossing risk assessment, Peter Croft and Blair Turner, Project VC74188, for National ALCAM Committee*.
- Ay, İ. (2014). *The Usage Of Geosynthetic Materials On Railways And Reducing Ballast- Sub Balast Layer Thickness, Istanbul Technical University, Institute Of Science, Master's Thesis, Istanbul*.
- Baker Ross, Kieran Helm. (2011). *Measurement of sight distances at level crossings, for National ALCAM Committee*.

- Brent D. Ogden, Chelsey Cooper. (2019). *Highway-Rail Crossing Handbook, 3rd Edition, Institute of Transportation Engineers, Federal Railroad Administration*.
- Creber, Associates. (2003). *Review of Rail Infrastructure Corporation Level Crossing Assessment Model Process, for Rail Infrastructure Corporation (NSW)*.
- DB Netze. (2008). *Guideline 815: Planning And Maintaining Level Crossing Systems, Germany*.
- Hughes Peter. (2002). *A risk assessment system for passive level crossings, Seventh International Symposium of Railroad-Highway Grade Crossing Research and Safety, Melbourne, Australia*.
- Independent Transport Safety Regulator NSW. (2008). *Review of processes for prioritising resources for the level crossing improvement program (LCIP)*.
- ISO 31000:2009. (2009). *Risk Management—Principles and Guidelines. Geneva : International Standards Organisation*.
- Meiers Simon. (2012). *Proposal for incorporation of ALCAM likelihood factor into risk score, for National ALCAM Committee*.
- Queensland Level Crossing Safety P Team. (1999). *Level crossing safety volume 2: Implementation, Parts 1-6, for the Queensland Level Crossing Safety Steering Group*.
- Queensland Level Crossing Safety Project Team. (1999). *Level crossing safety volume 1: Guidelines, Parts 1-9, for the Queensland Level Crossing Safety Steering Group*.
- Risk and Reliability Associates (R2A) . (2006). *Due diligence review of the ALCAM road and pedestrian model, Report 173-26, for Department of Transport*.
- Sotera Risk Solutions. (2011). *ALCAM consequence model development, David Harris and Peter Dray, J1161/Doc001, for National ALCAM Committee*.
- T.C Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü . (2017). *TCDD Emniyet Yönetim Sistemi El Kitabı (Sürüm No: 1.0). Ankara: TCDD Demiryolu Emniyeti ve Risk Yönetimi Müdürlüğü*.
- TCDD. (1996). *Hemzemin Geçitlerin Korunması Bakımı ve Yönetimi İle Geçit Bekçilerinin Görevlerine Ait Yönetmelik. T. C. Resmi Gazete, 22512*.
- Transport Canada. (2014). *Grade Crossing Standards, Canada*.
- Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı . (2015). *Demiryolu Emniyet Yönetmeliği. T. C. Resmi Gazete, 29537*.
- Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı. (2018). *Demiryolu Hemzemin Geçitlerinde Alınacak Tedbirler ve Uygulama Esasları Hakkında Yönetmelik. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30468*.



# Effects of Pulsatile Flow on Phosphorylcholine Coated Oxygenator and Arterial Filter

Gökhan Keskin<sup>4\*</sup>, A. Tulga Ulus<sup>1,2</sup>, Tuna Güray<sup>3</sup>, Ece Ürpermez<sup>3</sup>, Sertan Özyalçın<sup>1</sup>, Erdem Haberal<sup>3</sup>, Mustafa Kocakulak<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Türkiye Yüksek İhtisas Research and Training Hospital, Cardiovascular Surgery Clinic (ORCID: 0000-0002-2035-7328), [uluss@yahoo.com](mailto:uluss@yahoo.com)

<sup>2</sup> Cardiovascular Surgery Department, University of Hacettepe (ORCID: 0000-0002-2035-7328), [uluss@yahoo.com](mailto:uluss@yahoo.com)

<sup>3</sup> University of Baskent, Biomedical Engineering Department

<sup>4</sup> Department of Cardiology, Serafeddin Sabuncuoğlu Hospital, University of Amasya, (ORCID: 0000-0002-1695-5624), [gokhan.keskin@amasya.edu.tr](mailto:gokhan.keskin@amasya.edu.tr)

<sup>5</sup> Izmir Democracy University, Biomedical Engineering Department, Izmir, Turkey

(First received 5 March 2022 and in final form 22 March 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083112)

**ATIF/REFERENCE:** Keskin, G., Ulus, A.T., Güray, T., Ürpermez, E., Özyalçın, S., Haberal, E. & Kocakulak, M. (2022). Effects of Pulsatile Flow on Phosphorylcholine Coated Oxygenator and Arterial Filter. *European Journal of Science and Technology*, (34), 793-799.

## Abstract

**Objective:** We aimed to compare the effects of pulsatile/nonpulsatile flow on phosphorylcholine coated (PC) oxygenator fibers, arterial filters by using scanning electron microscope (SEM).

**Methods:** Eleven patients were randomly divided into two groups, as; nonpulsatile and pulsatile flow groups (NP and P groups) by using PC oxygenators. The oxygenator fiber samples were examined under SEM to compare the thickness of absorbed blood proteins and amount of blood cells on the surface of oxygenators. Arterial filters were also analysed by SEM regarding the captured blood elements or particles.

**Results:** The mean fiber thickness from the axial images were calculated as 46.9 µm and 47.6 µm at group P and NP respectively which is statistically insignificant. Evaluation of the blood samples that were extracted from the arterial filter bring out higher amount of fibrin network and blood cells on fibers at group NP.

**Conclusion:** We concluded that there is lesser amount of blood components on the fibers of arterial filter at pulsatile flow. Coating of oxygenators is beneficial in case of surface biocompatibility and pulsatile perfusion develops lower amount of blood elements on arterial filter.

**Keywords:** Pulsatile flow, Coated oxygenator, Arterial filter, Cardiopulmonary bypass, Biocompatibility

## Pulsatil Akışın Fosforilkolin Kaplı Oksijenatör ve Arter Filtresi Üzerindeki Etkileri

### Öz

**Amaç:** Bu çalışmada Taramalı Elektron Mikroskopu (TEM) kullanarak pulsatil/pulsatil olmayan akışın fosforilkolin kaplı (PC) oksijenatör lifler, arter filtreleri üzerindeki etkilerini karşılaştırılması amaçlandı.

**Yöntemler:** On bir hasta rastgele iki gruba ayrıldı; PC oksijenatörleri kullanarak pulsatil olmayan ve pulsatil akış grupları (NP ve P grupları), oksijenatör lif örnekleri, emilen kan proteinlerinin kalınlığını ve oksijenatörlerin yüzeyindeki kan hücrelerinin miktarını karşılaştırmak için SEM altında incelendi. Arter filtreleri ayrıca yakalanan kan elementleri veya partikülleri ile ilgili olarak SEM ile analiz edildi.

**Bulgular:** Aksiyel görüntülerden elde edilen ortalama lif kalınlığı grup P ve NP'de sırasıyla 46.9 µm and 47.6 µm olarak hesaplandı ve istatistiksel olarak anlamlı değildi. Arter filtresinden alınan kan örneklerinin değerlendirilmesi, grup NP'de daha yüksek miktarda fibrin ağı ve lifler üzerindeki kan hücrelerini ortaya çıkardı.

**Sonuç:** Pulsatil akımda arteriyel filtre liflerinde daha az miktarda kan bileşeni olduğu sonucuna varıldı. Oksijenatörlerin kaplanması, yüzey biyo-uyumluluğu durumunda faydalı olduğu ve pulsatil perfüzyon, arteriyel filtrede daha düşük miktarda kan elementi geliştirdiği izlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Pulsatil akış, Kaplamalı oksijenatör, Arteriyel filtre, Kardiyopulmoner baypas, Biyo-uyumluluk

\* Corresponding Author: [gokhan.keskin@amasya.edu.tr](mailto:gokhan.keskin@amasya.edu.tr)

## 1. Introduction

Despite improvements in biomechanical engineering, there is no suitable pump that delivers physiological flow. Pulsatile cardiopulmonary bypass (CPB) considered to be more physiological than nonpulsatile flow, but it is not widely used during cardiac surgery. Improved patency of the vascular bed, enhanced microcirculation and diffusion, low systemic vascular resistance are theoretical advances of pulsatile CPB (Chiu et al, 1984, Laffey et al, 2002, De Leval et al, 1972).

Intermittent high-amplitude pressure and flow pulse are developed to simulate physiological flow during CPB, but pulsatile pumps increase the complexity of the CPB circuit and enhance the destruction of red blood cells and platelets. Decrease in circulating platelet count occurs because of contacting blood and gaseous or synthetic solid surfaces during CPB.

CPB has been demonstrated to induce complex systemic inflammatory response (Dunn et al, 1974) and to affect the haematological system, contributes to several adverse postoperative complications (Iwahashi et al, 2004). Much effort was undertaken to develop more physiological and biocompatible CPB materials. Phosphorylcholine coated (PC) oxygenators and Polyvinyl Chloride tubing systems are developed to reduce inflammatory response (Gorbet and Sefton, 2004).

Despite six decades of research, there is still vigorous debate about the benefits of pulsatile perfusion and biocompatible CPB materials. The purpose of this study is to compare the effects of pulsatile-nonpulsatile flow while using phosphorylcholine coated oxygenators and polyvinylchloride tubing systems on oxygenator fibers, arterial filters by using scanning electron microscope (SEM) and coagulation profiles, inflammatory markers, and biochemical blood tests.

## 2. Material and Methods

Eleven patients between 40 and 74 years of age with normal left ventricle ventricular ejection fraction (LVEF) scheduled for elective isolated coronary artery bypass grafting (CABG) were randomly divided into two groups. Non-pulsatile flow was used in group NP (5 patients) and pulsatile flow in group P (6 patients). In all patients phosphorylcholine coated oxygenators and polyvinylchloride tubing systems are used during surgery. The study was approved by the Institutional authorization (11060-24072009).

Emergency procedures, patients with low LVEF ( $\leq 40\%$ ), patients whom receiving anticoagulants and antiplatelet medications during the one week preceding their admission for surgery and reoperations are excluded from the study.

Anesthetic regimens, CPB and surgical procedures were standard in all cases. Anesthesia induction was consisting of fentanyl, midazolam, thiopentone sodium and tracheal intubation was facilitated by pancuronium bromide. Heparin sulphate was used at an initial dose of 4 mg/kg followed by additional doses to maintain the activated clotting time (ACT) greater than 400 seconds. The CPB system consisted of polyvinyl chloride tubing, Dideco Compactflo Evo oxygenator (Sorin, Sorin Group Italia, Mirandola, Italy), Jostra HL-20 roller pump (Jostra USA, Austin, TX, USA) and Dideco D 734 Micro 40 Adult (Sorin,

Sorin Group Italia, Mirandola, Italy) arterial filter line. Prime solution was 1500 mL of Ringers solution and 200 mL of 20% mannitol. A perfusion flow of 2.2-2.42 L/min/m<sup>2</sup> BSA was maintained during CPB.

Pulse flow width 60%, base 25% with rate of 60 beats per minute was used in the pulsatile group. The heart was arrested using Plegisol solution (Hospira Inc, North Chicago, USA), arrest was maintained by using intermittent cold blood cardioplegia. The temperature monitored by rectal and blood probes throughout the surgery. All patients were operated under mild and moderate hypothermic CPB. Rewarming was up to 36,6°C rectal temperature before discontinuation of CPB. After weaning from CPB, the residual blood in the circuit was transfused through the aortic cannula. Protamine sulphate was used in the same dose as the initial heparin dose. Reversal was confirmed by ACT has returned to the preoperative value.

### 2.1. Blood analyses

Four blood samples are collected from the patients. All blood samples were collected through the central venous line. Preoperative, immediately after entering CPB, after ending of CPB and at postoperative 24th hour, blood samples are collected. Haematocrit levels, platelet counts, coagulation profiles, serum creatinine, blood urea nitrogen, bilirubin, albumin, ALT, AST, protein, CRP, IL-6, IL-12, S100B, apelin and TNF levels are compared in both groups. IL-6, IL-12 and TNF $\alpha$  were measured in duplicate using commercially available enzyme amplified sensitivity immunoassay (ELISA) kits (Diasource®, Nivelles, Belgium). Apelin was measured in duplicate using commercially available ELISA kits (Phoneix Pharmaceuticals Inc®, California, USA). S100B were measured in duplicate using commercially available ELISA kits (Diametra®, Milano, Italy).

### 2.2. SEM image analyses

At the end of the operation, oxygenator was filled with 2.5% glutaraldehyde solution by the help of roller pump. Gluheraldehyd solution is needed for the fixation of the blood elements and protein adsorption on the fibers. Oxygenator was cut by Dremel lithium-ion 800, and fibers were placed in 50 ml sterilized containers with 20 ml saline. Each fiber is covered with 5 nm chromium by Precision Etching Coating System (PECS) (Gatan 682, USA) and using sputter technique (Shah et al, 2013). Both superficial view and axial sections of the fiber samples were examined under scanning electron microscope (SEM) (FEI QUANTA 200, Oregon, USA). The SEM images were analyzed by using xT microscope Control Software (Gatan Microscopy Suite, USA).

The cross-sectional images of the fibers were obtained by cutting with ultra-microtome (LEICA EM FC6, Germany). The fibers were frozen by pulverized 50% propanol alcohol and 50% water at -120 C<sup>0</sup>. Nitrogen gas was sprayed on fibers to vaporize the water and alcohol on them following the cutting procedure. All samples were placed on silicon wafer and analysed with SEM.

### 2.3. Arterial Filter

Arterial filter was filled with phosphate buffer solution and then samples were obtained at 60th minute by sonic waves. It is possible to obtain blood elements and proteins that were absorbed by fibers. The samples were dried by critical point dry method and ethanol in a clean room (Pivush et al, 2012). The

dried samples were placed on silicon wafer and analyzed by SEM.

The Statistical Package for Social Sciences program version 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) was used. Descriptive data were expressed as mean and standard deviation. Parametric tests were used for data with a normal distribution, and non-parametric tests were applied to data without a normal distribution. Distribution of normality was tested with the Kolmogorov–Smirnov test. The Mann–Whitney U- and Wilcoxon tests were used for comparing variables between groups. Chi-squared, Fisher’s and Mantel Haenszel tests were performed for comparison of categorical variables. Level of significance was set at  $p < 0.05$ .

### 3. Results and Discussion

Mean age, body weight, body surface area, cardiopulmonary bypass time, pump flow, min temperatures, aortic cross clamp time and number of target vessels were compared in both groups. There was no significant difference between groups (Table 1).

**Table 1:** Clinical data and cardiopulmonary perfusion findings according to the groups.

	Group P (n=6)	Group NP (n=5)	P value
Age	66.8±7.7	55.6±11.1	0.08
Weight (kg)	71.3±6.4	77.8±8.7	0.22
BSA (m <sup>2</sup> )	1.7±0.1	1.8±0.1	0.23
CPB time (min)	98±23.2	101.5±20.8	0.82
X clamp time (min)	54.4±16.7	69.2±26.5	0.32
Pump flow (L/min/)	4.2±2.8	4.5±4.8	0.29
Number of target vessels	3.8±1.1	3.8±0.8	0.96
Minimum CPB temperature (°C)	30.6±1.5	31.7±2.0	0.62

Haematocrit value, platelet counts, fibrinogen and prothrombin levels were slightly decreased and then increased but d-dimer level was first increased and then decreased insignificantly (Table 2).

**Table 2:** Hematologic and coagulation profile of the patients’ blood samples according to the groups.

	Group P (n=6)	Group NP (n=5)	P value
<b>Hematocrit values</b>			
Preoperative	36.2±3.5	36.3±7.6	0.98
During CPB	26.5±3.1	30.9±7.7	0.28
After CPB	26.8±2.6	28.1±2.9	0.45
Postoperative 24th hr	28.7±4.5	27.9±2.7	0.76
<b>Platelet values (n/μL)</b>			
Preoperative	199±48.7	196±88.1	0.94
During CPB	139.2±27.8	209.6±66.6	0.06
After CPB	126.6±22.4	170.2±70.1	0.22
Postoperative 24th hr	148.2±35	189.7±51	0.22
<b>Fibrinogen (g/L)</b>			
Preop	3.77±1.75	3.82±0.33	0.95
During CPB			
After CPB	2.26±1.60	2.45±0.59	0.83
Postop 24th hr	4.15±1.38	4.42±1.52	0.79

<b>D-Dimer (&lt;0.4 mcg/mL)</b>			
Preop	0.32±0.09	0.36±0.11	0.53
During CPB	5.31±4.24	4.28±3.75	0.69
After CPB	9.45±8.61	5.54±2.50	0.35
Postop 24th hr	1.21±0.30	2.22±1.66	0.27
<b>Prothrombin (U/ml)</b>			
Preop	512±112	407±205	0.4
During CPB	432±82	457±74	0.67
After CPB	414±94	468±120	0.50
Postop 24th hr	454±117	378±34	0.26

Blood urea nitrogen, serum creatinine, bilirubin, AST, ALT, protein, and albumin levels were all decreased and return back to initial values without any significant changes between the groups at any time points (Table 3).

**Table 3:** Blood liver and kidney functions of the patients according to the groups.

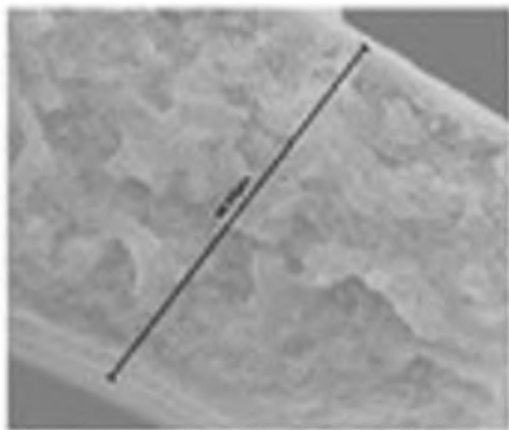
	Group P (n=6)	Group NP (n=5)	P value
<b>Creatinin (mg/dl)</b>			
Preop	1.07±0.63	0.94±0.31	0.71
During CPB	0.92±0.54	0.68±0.09	0.41
After CPB	0.95±0.58	0.8±0.23	0.5
Postop 24th hr	1.34±1.03	0.97±0.16	0.76
<b>Blood urea nitrogen (mg/dl)</b>			
Preop	39.4±18.3	35.7±9.3	0.73
During CPB	36.8±16.9	32.2±6.0	0.62
After CPB	36.4±16.0	33±5.5	0.66
Postop 24th hr	49.5±40.0	32.5±2.6	0.43
<b>Bilirubin (total) (mg/dl)</b>			
Preop	0.5±0.4	0.5±1.8	0.79
During CPB	0.6±0.3	0.6±0.2	0.74
After CPB	0.5±0.3	0.5±0.2	0.8
Postop 24th hr	1.4±1.2	0.7±0.6	0.35
<b>AST (IU/L)</b>			
Preop	15±3.7	16.7±5.1	0.57
During CPB	19±5.8	24.7±2	0.1
After CPB	29±6	30±4.1	0.76
Postop 24th hr	42.5±15.9	40.5±17.3	0.44
<b>ALT (IU/L)</b>			
Preop	14.2±3.7	19±8	0.27
During CPB	10.6±3.3	13.7±1.8	0.14
After CPB	12.8±1.9	14.8±2.6	0.21
Postop 24th hr	14.5±6.3	18±5.7	0.44
<b>Protein (total) (mg/dl)</b>			
Preop	5.5±0.4	5.4±1.8	0.96
During CPB	3.4±0.7	3.7±0.6	0.56
After CPB	3.5±0.3	3.9±0.8	0.34
Postop 24th hr	5±0.2	5.1±1.1	0.85
<b>Albumin (mg/dl)</b>			
Preop	3.5±0.4	3.3±1.2	0.72
During CPB	2.1±0.3	2.1±0.4	0.96
After CPB	2.2±0.2	2.3±0.4	0.76
Postop 24th hr	3.3±0.3	3.3±0.6	0.96

Inflammatory biomarkers such as CRP, IL-6, TNFα were first increased and then decreased, Apelin, IL-12 and s100B first increased and decreased during the further measurements without having any significant differences in between the groups (Table 4).

**Table 4:** Blood Inflammatory markers of the patients according to the groups

	Group P (n=6)	Group NP (n=5)	P value
<b>CRP (mg/dl)</b>			
Preop	12.3±15.0	7.9±2.2	0.53
During CPB	9.5±10.3	5.8±1.1	0.45
After CPB	8.2±7.9	5.7±0.7	0.50
Postop 24th Hour	123.7±71.3	123±99	0.99
<b>Apelin (ng/ml)</b>			
Preop	1370±265	989±165	0.05
During CPB	1653±104	1397±281	0.13
After CPB	1471±267	1450±249	0.91
Postop 24th Hour	1187±368	1099±80	0.65
<b>IL-6 (total) (pg/ml)</b>			
Preop	73.5±46.4	140.5±175.5	0.48
During CPB	56.5±23.7	62.7±34.8	0.77
After CPB	289±293	368±315	0.72
Postop 24th Hour	333±202	210±87	0.30
<b>IL-12 (pg/ml)</b>			
Preop	347±184	224±76	0.26
During CPB	341±186	275±55	0.51
After CPB	380±155	403±90	0.81
Postop 24th Hour	220±142	151±109	0.47
<b>S100B (pg/ml)</b>			
Preop	116±142	51±18	0.39
During CPB	298±210	198±113	0.43
After CPB	412±134	214±118	0.07
Postop 24th Hour	308±514	40±3	0.33
<b>TNF α (pg/ml)</b>			
Preop	993±1860	50±16	0.35
During CPB	183±271	41±11	0.33
After CPB	292±480	49±26	0.35
Postop 24th Hour	231±351	41±18	0.32

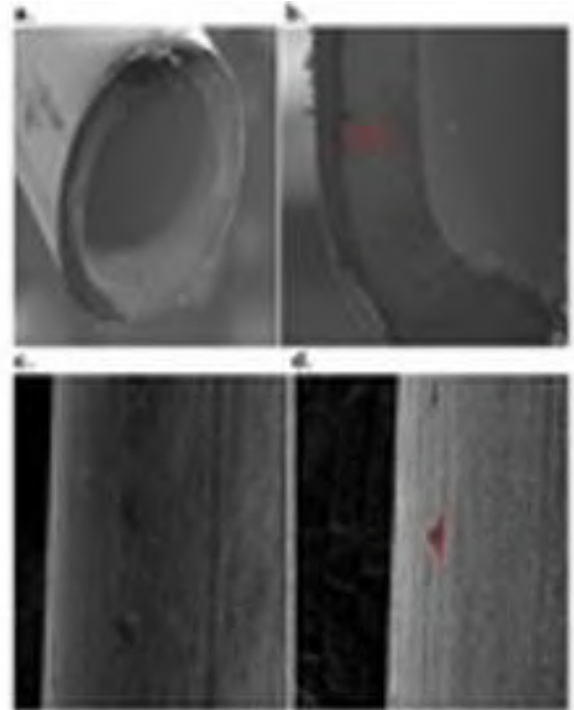
Axial sections of the fiber samples which were examined under SEM were analyzed. Section of the fibers before and after the CPB were measured to understand the adsorbed protein thickness on fibers. Section of fiber axis before CPB (non-used oxygenator) was measured as 46.06 μm and accepted as reference value (Figure 1).



**Figure 1:** Section of non-used phosphorylcholine coated oxygenator fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 15.00 kv, sample-objective lens distance 11.5mm and

magnification 5000x). Fiber thickness is 46.05 μm before cardiopulmonary bypass perfusion (reference value)

Samples of fiber thickness measurements are shown at Figure 2a, 2b and 3a, 3b following pulseless and pulsatile cardiopulmonary bypass perfusion.

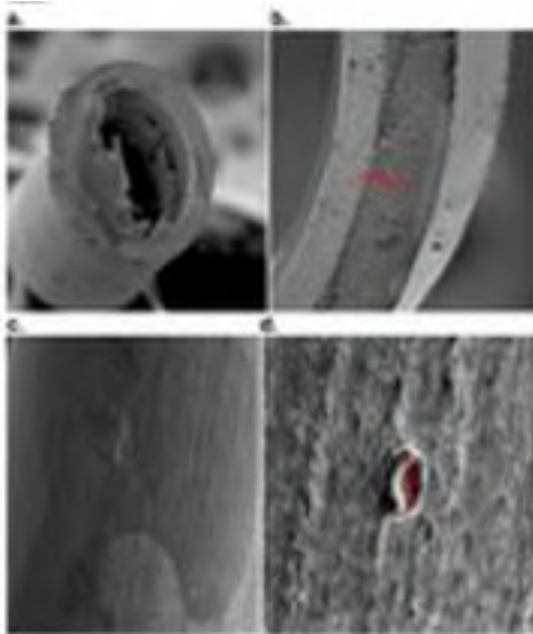


**Figure 2:**

- a. Section of a fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 1.8 mm and magnification 400x) with an phosphorylcholine coated oxygenator following pulseless cardiopulmonary bypass flow.
- b. A sample of fiber thickness is 47.79 μm measured following pulseless cardiopulmonary bypass perfusion (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 1.8 mm and magnification 2000x).
- c. Surface of a fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 11.1 mm and magnification 800x) with an phosphorylcholine coated oxygenator following pulseless cardiopulmonary bypass flow.
- d. Surface of a fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 11.3 mm and magnification 3000x) with a phosphorylcholine coated oxygenator following pulseless cardiopulmonary bypass flow.

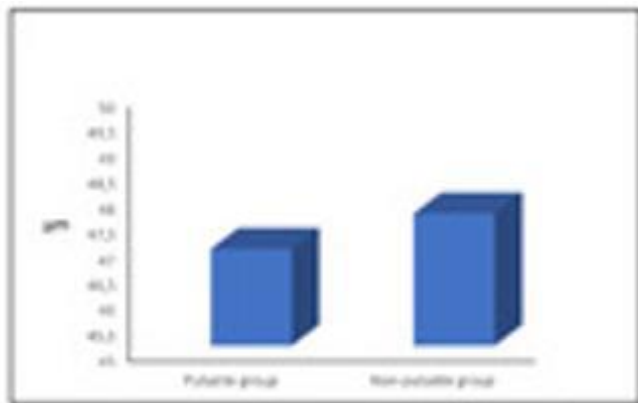
The mean fiber thickness from the axial images were calculated as 46.9 μm and 47.6 μm at group P and NP respectively (Figure 4). The difference is statistically insignificant (p=0.053). Superficial view of the fiber samples which were examined under SEM were subjectively analyzed from the images. The platelet, leukocyte and erythrocyte amount are not different at pulsatile flow group if compared with the pulseless group (Figure 2c, 2d and Figure 3c and 3d).





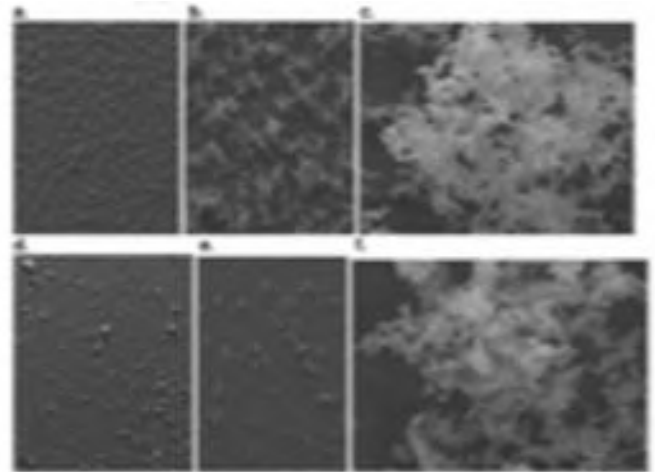
**Figure 3:**

- a.** Section of a fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 19.9 mm and magnification 400x) with a phosphorylcholine coated oxygenator following pulsatile cardiopulmonary bypass flow.
- b.** A sample of fiber thickness is 46.82  $\mu\text{m}$  measured following pulsatile cardiopulmonary bypass perfusion (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 2.7 mm and magnification 1000x).
- c.** Surface of a fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 11.2 mm and magnification 800x) with a phosphorylcholine coated oxygenator following pulsatile cardiopulmonary bypass flow.
- d.** Surface of a fiber axis view by scanning electron microscopy (voltage 5.00 kv, sample-objective lens distance 11.3 mm and magnification 8000x) with a phosphorylcholine coated oxygenator following pulsatile cardiopulmonary bypass flow.



**Figure 4:** The amount of protein adsorbed on the oxygenator fiber ( $p=0.053$ ) (reference= $46.06 \mu\text{m}$ ) according to the groups.

Evaluation of the blood samples that were extracted from the arterial filter bring out higher amount of fibrin network and blood cells on fibers at pulseless group (Figure 5).



**Figure 5:** Samples from arterial filter, view by scanning electron microscopy (voltage 10.00 kv, sample-objective lens distance 9.1 mm and magnification 250x (a), magnification 1000x (b), magnification 10000x (c)) with an phosphorylcholine coated oxygenator following pulseless cardiopulmonary bypass flow.

Samples from arterial filter, view by scanning electron microscopy (voltage 10.00 kv, sample-objective lens distance 9.1 mm and magnification 250x (d), magnification 600x (e), magnification 40000x (f)) with a phosphorylcholine coated oxygenator following pulsatile cardiopulmonary bypass flow.

Analysis of arterial filter by SEM did not show any particle that was hold by the filter during the pulsatile or nonpulsatile flow.

### 3. Results and Discussion

Cardiopulmonary bypass (CPB) is fundamental for open heart surgery. Despite improvements of biotechnology, multiple organ dysfunction, CPB induced systemic inflammatory response (SIRS) and endothelial dysfunction are still major clinical drawbacks (Tanaka et al, 2000, Rabe et al, 2011). The most interesting part of the CPB is oxygenator, which had a huge surface area. Plasma proteins and cellular elements stick on the oxygenator fibers as soon as the CPB flow begins (Guan et al, 2009, Tabesh et al, 2012). Much effort was undertaken in recent years to reduce CPB related adverse events and to prevent adhesion on the artificial surfaces (Gourlay, 2001). Heparin coated and more recently, phosphorylcholine coated (PC) oxygenators have been demonstrated to reduce inflammatory response and better biocompatibility (Wendel, 1999). Karakisi SO., demonstrated that a more prominent cellular immune response was observed on using PC oxygenators (Karakisi et al, 2016). A PC cardiopulmonary bypass circuit was tested by using SEM for biocompatibility. Neither thrombus formation nor organized cellular deposits were found on the inner housing, heat exchanger, and outer surface of the hollow fibers (De Somer et al, 1999). A PC oxygenator had lesser protein adsorption and lower cellular adhesion even without anticoagulation (Iwasaki et al, 2003).

There are many studies also searching pulsatile flow, although it is not widely accepted. It has beneficial effects on tissue perfusion, diffusion, and metabolism [18]. We compare pulsatile flow and non-pulsatile flow with PC oxygenators. We studied not only blood analysis of patients but also SEM analysis

of the oxygenators and arterial filters according to flow type. In our study, haematocrit value, platelet counts, fibrinogen, prothrombin, and d-dimer levels slightly changed in both groups insignificantly. There is not any significant difference between the groups. Moreover, it was previously mentioned that pulsatile flow is responsible for the decrease of platelet count but also protection of fibrinolytic system elements (Agirbasli et al, 2014). Lorusso R. could not find any difference in terms of demographics, operative, and haematological profiles between the PC and uncoated groups. Postoperatively, PC group showed only reduced platelet consumption (Lorusso et al, 2009). Blood urea nitrogen, serum creatinine, bilirubin, AST, ALT, protein, and albumin levels were also differed insignificantly and return to initial values in both groups in our study. Inflammatory biomarkers increased during CPB but decreased during the further measurements without having any significant differences in between the groups. On the other hand, Abramov D., could not be able to find out beneficial effects of pulsatile perfusion in a study over 1800 patients with CABG. Both mortality and morbidity including renal dysfunction did not differ in pulsatile and non-pulsatile groups (Abramov et al, 2003). A cochrane based search also could not define supportive data for or against pulsatile perfusion to reduce mortality, myocardial infarction, stroke, or renal insufficiency (Alghamdi and Latter, 2006). Studies shown release of cytokines during the CPB several times (Frering et al, 1994). A reduced cytokine levels and protected pulmonary and renal functions on pulsatile flow were mentioned by Sezai A. (Sezai et al, 2005, Nam et al, 2015, Lim et al, 2015).

The biocompatibility of the oxygenator according to the flow type was evaluated by SEM analyses. The coated oxygenators had lower level of activated platelet, complement and coagulation cascades caused by the decreased surface activation. In our study, both flow type had similar results of adhesion on fiber surfaces. This reveals that coating of oxygenators is more important than the flow type. Axial sections of the fiber samples were analysed on non-used oxygenator to obtain reference value by SEM. The difference of thickness on fibers in between the reference value and measurement following CPB, was calculated as protein adsorption value. This value was 0.84  $\mu\text{m}$  in pulsatile group and 1.54  $\mu\text{m}$  in non-pulsatile group. The difference is 0.70  $\mu\text{m}$  in between the groups. The protein adsorption on oxygenator fibers is not statistically significant on both pulsatile and non-pulsatile perfusion flow. Superficial view of fiber samples was also analyzed by using SEM. Although, the analysis is qualitative, the platelet, leukocyte and erythrocyte amount are also similar at both groups.

CPB activates the inflammatory response and the leukocytes. Filters usually prevent the activated leukocytes which were bigger, but they cannot stop small leukocytes. Evaluation of the blood samples that were extracted from the arterial filter bring out fibrin network and blood cells on fibers. The images of the SEM provide the very nice images of the arterial filter fibers that involve fibrin and cellular content. Those results are comparable with the literature (Simons et al, 2010, Undar et al, 2019). It is possible to get an impression of lower level of cellular content and haemoglobin adsorption at pulsatile group during the CPB in our study.

Our study limitations can be mentioned as; pulsatile perfusion quantification could not have described in terms of energy equivalent pressure and hemodynamic energy. It was

well defined previously for the precise evaluation of the pulsatile flow (Undar et al, 2003, Undar et al, 2006). Pulseless flow circulates with a constant velocity and pressure in the body, but it is not physiological (Sperling et al, 2009). Pulsatile flow maintains a physiological flow that is similar with heart. This needs additional energy and pressure. This extra energy enhances a better microcirculation (Undar et al, 1999, Kocakulkak et al, 2004, Demirkilic et al, 2004).

On the other hand, mechanical effects of pulsatile perfusion may lead a particle embolization that may occur around pump head. Our analysis of arterial filter by SEM did not show any particle (related with CPB lines as silicone particles etc.) that was hold by the filter during the pulsatile flow or nonpulsatile flow.

In our study, both flow type had similar results of adhesion on fiber surfaces. There is lesser amount of blood components on the fibers of arterial filter at pulsatile flow and no particles related with CPB lines at both groups. Coating of oxygenators is beneficial in case of surface biocompatibility and pulsatile perfusion develops lower amount of blood elements on arterial filter.

## References

- Abramov, D., Tamariz, M., Serrick, C. I., Sharp, E., Noel, D., Harwood, S., ... & Goldman, B. S. (2003). The influence of cardiopulmonary bypass flow characteristics on the clinical outcome of 1820 coronary bypass patients. *The Canadian journal of cardiology*, 19(3), 237-243.
- Ağırbaşı, M. A., Song, J., Lei, F., Wang, S., Kunselman, A. R., Clark, J. B., ... & Undar, A. (2014). Comparative effects of pulsatile and nonpulsatile flow on plasma fibrinolytic balance in pediatric patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Artificial organs*, 38(1), 28-33.
- Alghamdi, A. A., & Latter, D. A. (2006). Pulsatile versus nonpulsatile cardiopulmonary bypass flow: an evidence-based approach. *Journal of cardiac surgery*, 21(4), 347-354.
- Chiu, I. S., Chu, S. H., & Hung, C. R. (1984). Pulsatile flow during routine cardiopulmonary bypass. *The Journal of Cardiovascular Surgery*, 25(6), 530-536.
- De Leval, M., Hill, J. D., Mielke, H., Bramson, M. L., Smith, C., & Gerbode, F. (1972). Platelet kinetics during extracorporeal circulation. *ASAIO Journal*, 18(1), 355-357.
- De Somer, F., Van Belleghem, Y., Foubert, L., François, K., Dubrulle, F., De Wolf, D., & Van Nooten, G. (1960). In vivo evaluation of a phosphorylcholine coated cardiopulmonary bypass. *Strategies for optimisation of paediatric cardiopulmonary bypass*, 31(2), 241.
- Dunn, J., Kirsh, M. M., Harness, J., Carroll, M., Straker, J., & Sloan, H. (1974). Hemodynamic, metabolic, and hematologic effects of pulsatile cardiopulmonary bypass. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 68(1), 138-147.
- Frering, B., Philip, I., Dehoux, M., Rolland, C., Langlois, J. M., & Desmots, J. M. (1994). Circulating cytokines in patients undergoing normothermic cardiopulmonary bypass. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 108(4), 636-641.
- Gorbet, M. B., & Sefton, M. V. (2004). Biomaterial-associated thrombosis: roles of coagulation factors, complement, platelets and leukocytes. *Biomaterials*, 25(26), 5681-5703.
- Gourlay, T. (2001). Biomaterial development for cardiopulmonary bypass. *Perfusion*, 16(5), 381-390.
- Guan, Y., Palanzo, D., Kunselman, A., & Undar, A. (2009). Evaluation of membrane oxygenators and reservoirs in terms

- of capturing gaseous microemboli and pressure drops. *Artificial organs*, 33(11), 1037-1043.
- Iwasaki, Y., Tojo, Y., Kurosaki, T., & Nakabayashi, N. (2003). Reduced adhesion of blood cells to biodegradable polymers by introducing phosphorylcholine moieties. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 65(2), 164-169.
- Iwahashi, H., Yuri, K., & Nosé, Y. (2004). Development of the oxygenator: past, present, and future. *Journal of Artificial Organs*, 7(3), 111-120.
- Karakisi, S. O., Bozok, S., Sargon, M. F., Ergene, S., Ilhan, G., Karamustafa, H., ... & Musabak, U. (2016). Humoral immune response and coated or uncoated oxygenators during cardiopulmonary bypass surgery. *Cardiovascular Journal of Africa*, 27(4), 242-245.
- Kocakulak, M., Küçükaksu, S., & Pişkin, E. (2004). Pulsatile roller pump perfusion is safe in high risk patients. *The International Journal of Artificial Organs*, 27(5), 433-439.
- Kocakulak, M., Koçum, İ. C., & Ayhan, H. (2012). Investigation of inflammatory response at blood-poly (2-methoxyethyl acrylate)(PMEA) interface in vivo via scanning tunneling microscope. *Journal of bioactive and compatible polymers*, 27(1), 45-53.
- Kocakulak, M., Kocum, C., Saber, R., Ayhan, H., Günaydin, S., Sari, T., ... & Bingöl, N. (2002). Investigation of blood compatibility of PMEA coated extracorporeal circuits. *Journal of bioactive and compatible polymers*, 17(5), 343-356
- Kocakulak, M., Aşkin, G., Küçükaksu, S., Tarcan, O., & Pişkin, E. (2005). Pulsatile flow improves renal function in high-risk cardiac operations. *Blood purification*, 23(4), 263-267.
- Lim, C. H., Nam, M. J., Lee, J. S., Kim, H. J., Kim, J. Y., Shin, H. W., ... & Sun, K. (2015). A meta-analysis of pulmonary function with pulsatile perfusion in cardiac surgery. *Artificial Organs*, 39(2), 110-117.
- Lorusso, R., De Cicco, G., Totaro, P., & Gelsomino, S. (2009). Effects of phosphorylcholine coating on extracorporeal circulation management and postoperative outcome: a double-blind randomized study. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*, 8(1), 7-11.
- Nam, M. J., Lim, C. H., Kim, H. J., Kim, Y. H., Choi, H., Son, H. S., ... & Sun, K. (2015). A meta-analysis of renal function after adult cardiac surgery with pulsatile perfusion. *Artificial organs*, 39(9), 788-794.
- Pivush J., Wu Zhi, Andrew M., (2012). Effects Of CO2 Critical Point Drying On Nanostructured SiO2 Thin Films After Liquid Exposure, s;44-56
- Rabe, M., Verdes, D., & Seeger, S. (2011). Understanding protein adsorption phenomena at solid surfaces. *Advances in colloid and interface science*, 162(1-2), 87-106.
- Sezai, A., Shiono, M., Nakata, K. I., Hata, M., Iida, M., Saito, A., ... & Sezai, Y. (2005). Effects of pulsatile cpb on interleukin-8 and endothelin-1 levels. *Artificial organs*, 29(9), 708-713.
- Shah, P. J., Wu, Z., & Sarangan, A. M. (2013). Effects of CO2 critical point drying on nanostructured SiO2 thin films after liquid exposure. *Thin solid films*, 527, 344-348.
- Simons, A. P., Wortel, P., Van Kan, R. A., Van Der Veen, F. H., Weerwind, P. W., & Maessen, J. G. (2010). Pulse conductance and flow-induced hemolysis during pulsatile cardiopulmonary bypass. *Artificial organs*, 34(4), 289-294.
- Sperling, C., Fischer, M., Maitz, M. F., & Werner, C. (2009). Blood coagulation on biomaterials requires the combination of distinct activation processes. *Biomaterials*, 30(27), 4447-4456.
- Tabesh, H., Amoabediny, G., Poorkhalil, A., Khachab, A., Kashefi, A., & Mottaghy, K. (2012). A theoretical model for evaluation of the design of a hollow-fiber membrane oxygenator. *Journal of Artificial Organs*, 15(4), 347-356.
- Tanaka, M., Motomura, T., Kawada, M., Anzai, T., Kasori, Y., Shiroya, T., ... & Mochizuki, A. (2000). Blood compatible aspects of poly (2-methoxyethylacrylate) (PMEA)—relationship between protein adsorption and platelet adhesion on PMEA surface. *Biomaterials*, 21(14), 1471-1481.
- Ündar, A., Rosenberg, G., & Myers, J. L. (2004). Impact of pulsatile flow on microcirculation. *ASAIO journal*, 50(6), 624-625.
- Ündar, A., & Moroi, M. K. (2019). Pulsatile flow is not a magic bullet for congenital heart surgery patients during CPB procedures. *Artificial organs*, 43(10), 943-946.
- Ündar, A. (2003). Energy equivalent pressure formula is for precise quantification of different perfusion modes. *The Annals of thoracic surgery*, 76(5), 1777-1778.
- Ündar, A., Ji, B., Lukic, B., Zapanta, C. M., Kunselman, A. R., Reibson, J. D., ... & Myers, J. L. (2006). Quantification of perfusion modes in terms of surplus hemodynamic energy levels in a simulated pediatric CPB model. *ASAIO journal*, 52(6), 712-717.
- Ündar, A., & Fraser Jr, C. D. (1999). Defining pulsatile perfusion: quantification in terms of energy equivalent pressure. *Artificial organs*, 23(8), 712-716.
- Wartier, D. C., Laffey, J. G., Boylan, J. F., & Cheng, D. C. (2002). The systemic inflammatory response to cardiac surgery: implications for the anesthesiologist. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 97(1), 215-252.
- Wendel, H. P., & Ziemer, G. (1999). Coating-techniques to improve the hemocompatibility of artificial devices used for extracorporeal circulation. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 16(3), 342-350.



# Evaluation of the Pressure and Wall Shear Stress on the Aneurysm Wall According to the Growth Position of a Femoral Artery Pseudoaneurysm by Numerical Analysis

Gökhan Keskin<sup>1\*</sup>, Ahmet Turan Kaya<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Amasya University, Faculty of Medicine, Department of Cardiology, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1695-5624), [keskinand@gmail.com](mailto:keskinand@gmail.com)

<sup>2</sup> Sabuncuoğlu Şerefeddin Research and Education Hospital, Department of Radiology, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9803-453x), [hmttmky.62@gmail.com](mailto:hmttmky.62@gmail.com)

(First received 19 February 2022 and in final form 16 March 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1076137)

**ATIF/REFERENCE:** Keskin, G., Kaya, A.T. (2022). Evaluation of the Pressure and Wall Shear Stress on the Aneurysm Wall According to the Growth Position of a Femoral Artery Pseudoaneurysm by Numerical Analysis *European Journal of Science and Technology*, (35), 800-804.

## Abstract

In this study, the effect of the angle change between the neck region and the aneurysm region of a femoral artery pseudoaneurysm ( $\beta$ ) on the pressure and shear stresses on the aneurysm wall was investigated with the computational fluid dynamics (CFD) method. The CFD method is an important tool in observing the direction and velocity of blood flow. With the numerical analysis results, it was aimed to evaluate the growth rate and rupture risk of the aneurysm. Findings obtained as a result of the change of  $\beta$  angle between  $0^\circ$  and  $15^\circ$  for a certain value of the angle between the femoral artery and the aneurysm neck region ( $\alpha=45^\circ$ ) were presented in graphs containing velocity vectors inside the aneurysm, pressure, and wall shear stresses on the aneurysm wall. When all the analysis results were evaluated, it was understood that for a pseudoaneurysm formed in the femoral artery, the highest growth rate and risk of rupture could occur at the  $\beta=0^\circ$  angle. It was predicted that the obtained findings will be beneficial in determining the treatment method and time in the treatment of femoral artery pseudoaneurysm.

**Keywords:** Pressure, Pseudoaneurysm, Wall shear stress.

## Femoral Arter Psödoanevrizma Büyüme Pozisyonuna Göre Anevrizma Duvarındaki Basınç ve Duvar Kayma Gerilmesinin Sayısal Analiz ile Değerlendirilmesi

### Öz

Bu çalışmada femoral arter psödoanevrizmasında ( $\beta$ ) boyun bölgesi ile anevrizma bölgesi arasındaki açı değişiminin anevrizma duvarındaki basınç ve kayma gerilmelerine etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile araştırıldı. CFD yöntemi, kan akışının yönünü ve hızını gözlemlemede önemli bir araçtır. Sayısal analiz sonuçları ile anevrizmanın büyüme hızı ve rüptür riskinin değerlendirilmesi amaçlandı. Femoral arter ile anevrizma boyun bölgesi arasındaki açının belirli bir değeri ( $\alpha=45^\circ$ ) için  $\beta$  açısının  $0^\circ$  ile  $15^\circ$  arasında değişmesi sonucu elde edilen bulgular, anevrizma içindeki hız vektörlerini içeren grafiklerde sunuldu, anevrizma duvarındaki basınç ve duvar kayma gerilmeleri. Tüm analiz sonuçları değerlendirildiğinde femoral arterde oluşan psödoanevrizma için en yüksek büyüme hızı ve rüptür riskinin  $\beta=0^\circ$  açısında olabileceği anlaşıldı. Elde edilen bulguların femoral arter psödoanevrizma tedavisinde tedavi yöntemi ve süresinin belirlenmesinde faydalı olacağı öngörülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç, Psödoanevrizma, Duvar kayma gerilimi.

\* Corresponding Author: [keskinand@gmail.com](mailto:keskinand@gmail.com)

## 1. Introduction

Arterial complications possess a known risk area for diagnosis and therapy during the cardiological and radiological procedures. The complications consist of bleeding, dissection, infection, thromboembolism, arteriovenous fistula, and arterial pseudoaneurysm (McCann et al., 1991, Kronzon 1997). The most common site of access to the arterial system and the left side of the heart is the femoral artery. The general technique is percutaneous artery cannulation or a modification thereof, relative to the Seldinger technique. Arterial bleeding is controlled by direct pressure at the end of the intervention after the removal of catheters. Pseudoaneurysms are localized pulsatile mass structures that are formed by the blood coming out of the arterial lumen because of the deterioration of the arterial wall and at the same time communicating with the lumen. Moreover, pseudoaneurysm is the most encountered complication of femoral artery catheterization procedure (Kronzon 1997).

With a high incidence of 2.9%, femoral artery pseudoaneurysm (FAP) is a commonly experienced complication after endovascular intervention (Hirano et al., 2004). Currently, the standard treatment for FAP includes inserting a needle with the aid of an ultrasound probe into the sac where the thrombin is injected, and ultrasound-guided injection of thrombin (UGTI) to induce thrombosis and close the defect in the lumen (Cope et al., 1986). Even though this intervention saves the patient from the morbidity related with open surgical repair, it does not eliminate all complications that can arise after UGTI (Franco et al., 1993, Lumsden et al., 1994). The complications of UGTI may include acute limb ischemia due to distal embolization. Moreover, as UGTI does not always finalize successfully at the first attempt and may require re-injection or surgical repair (Yoo et al., 2017, Stone et al., 2014).

Analyzing blood flow with the computational fluid dynamics method is an essential tool to observe the direction and velocity of blood flow in an aneurysm. On the other hand, with this method, the pressure and the blood flow-originated wall shear stress on the aneurysm wall can be determined. There are only two numerical studies present in the literature for the femoral pseudoaneurysm. Suh et al. investigated the effect of the angle between the aneurysm neck and the femoral artery on the pressure created by the blood flow on the aneurysm wall (Suh S et al., 2012). Kim et al. performed a numerical study to identify the location and time of percutaneous thrombin injection for different pseudoaneurysm sizes with a right-angled neck (Kim H et al., 2021). Unlike studies in the literature, in this study, the effect of the angle between the neck region of the pseudoaneurysm and the aneurysm on the pressure and wall shear stresses inside the aneurysm was examined. The blood flow was modeled numerically, and the conservation equations were solved in three dimensions and time dependent. With the numerical analyzes performed, the growth rate and rupture risk were tried to be evaluated according to the stance position of the pseudoaneurysm.

## 2. Physical problem and Mathematical model

Patient-specific clinical data in Ref. 9 (Suh S et al., 2012) were used for the pseudoaneurysm considered in this study. The CT angiography image of the pseudoaneurysm is given in Fig. 1. Fig. 2, on the other hand, shows the ideal model of the

pseudoaneurysm created for the numerical analysis in this study. Numerical analyzes were performed for different values of the angles of the pseudoaneurysm neck with the femoral artery ( $\alpha$ ) and the angles of the pseudoaneurysm with the neck region ( $\beta$ ). The values of  $\alpha$  and  $\beta$  angles used for numerical analysis are given in Table 1.

Eq. (1) and (2) implicate the mass and momentum conservation equations for the blood under laminar conditions, respectively,

$$\nabla \cdot v = 0 \tag{1}$$

$$\rho \left( \frac{dv}{dt} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 v \tag{2}$$

Table 1. Parameter values

Angles	$\alpha=45^\circ$
	$0^\circ$
$\beta$	$10^\circ$
	$15^\circ$

In these equations,  $v$  indicates the velocity vector, ( $1060 \text{ kg/m}^3$ ) denotes the density of blood, while  $\mu$  and  $P$  indicate the dynamic viscosity of blood and pressure, respectively. Viscosity is a function of shear rate ( $\dot{\gamma}$ ) in the function and is not a constant. Eq. (3) defines the dynamic viscosity (Carreau model),

$$\mu(\dot{\gamma}) = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^{\frac{n-1}{2}} \tag{3}$$

The Blood flow coefficients shown in Eq. 3 are as follows (Shojima M et al. 2004),

$$\mu_0 = 0,056 \text{ (kg / m.s)}$$

$$\mu_\infty = 0.0035 \text{ (kg / m.s)}$$

$$\lambda = 3.313 \text{ (s)}$$

$$n = 0.3568$$

In this equation,  $\mu_0$  and  $\mu_\infty$  denote the dynamic viscosity at zero and high shear rates, respectively, while  $\lambda$  and  $n$  are the coefficients.

In order to simplify the study, the assumption of non-slip condition on blood vessel walls was made and the blood vessels were considered rigid (Siebert et al., 2009, Qiu et al., 2013) For the numerical analysis, velocity values measured by a patient was used for the time-dependent inlet and outlet velocity profiles of the blood flow. These velocity profiles are used as inlet and outlet boundary conditions for numerical analysis. Time-dependent velocity profiles used in this numerical study are indicated in Fig. 3.



Figure 1. The CT angiography image of the pseudoaneurysm [9]

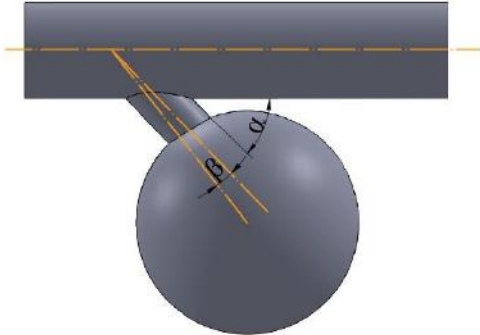
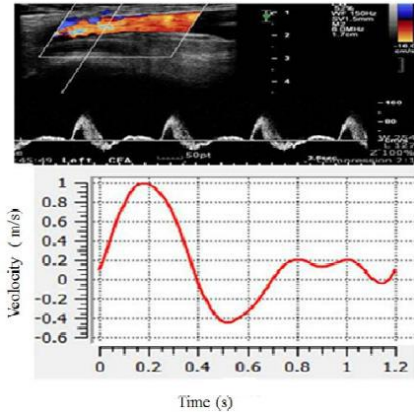


Figure 2. The ideal model of the pseudoaneurysm

a)



b)

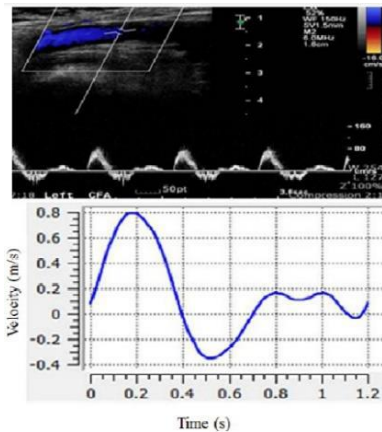


Figure 3. A patient's velocity profile during a cardiac cycle (Suh H et al., 2012) a) Velocity curve at the inlet b) Velocity curve at the outlet

## 2.1. Numerical methods

The finite volume method was employed for numerical solutions and calculations were carried out by using ANSYS-Fluent software (Kurşun et al., 2018). SIMPLE algorithm was employed to solve the pressure-velocity coupling. The second order UPWIND scheme was used to discretize and solve the continuity, momentum, and energy equations. Also, the Carreau model indicated in Eq. (3) was employed to determine the velocity-dependent viscosity. The convergence criterion for the mass and momentum conservation equations is expressed by Eq. (5).

$$\left| \frac{\delta^{n+1}(i, j, k) - \delta^n(i, j, k)}{\delta^{n+1}(i, j, k)} \right| < 10^{-5} \quad (5)$$

In Eq. (5), and denote the two consecutive iterations, while  $\delta$  is any variable, and  $i, j$  and  $k$  are the grid locations at the direction of  $x, y,$  and  $z$  axes, respectively.

## 2.2. Numerical result validation

To validate the numerical results, a comparison was made with Doppler velocity images of a patient in Suh H et al., 2012. Validation was done for the blood velocity values in the pseudoaneurysm. Unstructured grid structure was used in the computational domain (Fig. 4). In computational region, the grid structure was tightened so that the velocity boundary layer formation can be accurately detected in regions close to vessel and aneurysm walls. The velocity values in the pseudoaneurysm obtained as a result of the numerical analysis in Suh H et al., 2012 were compared with the velocity values in the Doppler ultrasound image of a patient and the accuracy of the numerical model was demonstrated. Therefore, the numerical results in this study were compared with the numerical results in Suh H et al., 2012. In Fig. 5 shows the comparison of velocity vectors in the femoral artery and inside the pseudoaneurysm. As seen in Fig. 5, the velocity profile and velocity values within the aneurysm are quite similar. In both studies, the highest flow velocity occurred in the neck region of the aneurysm and reached 1.46 m/s. These results revealed that the numerical model used in this study can be used for the hemodynamic analysis of blood flow within the pseudoaneurysm.

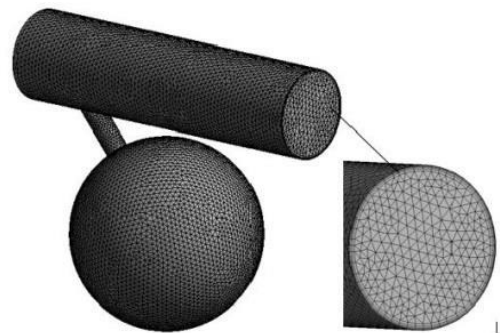


Figure 4. Mesh structure for pseudoaneurysm mode

a)

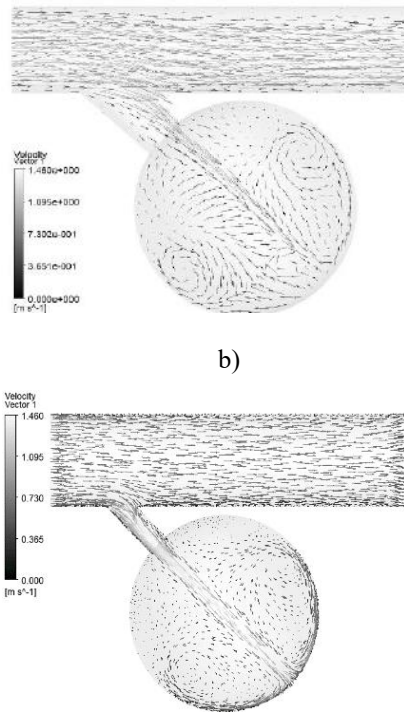


Figure 5. Velocity vectors in the midplane (0.31 s) a) the study by Suh et al. [9] b) the present study

### 3. Results and Discussions

Although surgery gives the most definitive results in the treatment of femoral pseudoaneurysm, its most important disadvantage is that it is invasive. Thrombin injection method can also be widely preferred among the treatment options because it is less invasive than surgery and has a high success rate in the treatment (Lauder et al., 2013). Although it is very easy to apply, the thrombin injection method always carries a risk of thromboembolism. Also, the shear stress and pressure occur on the aneurysm walls have a great effect on the growth rate of the pseudoaneurysm and the increase in the risk of rupture (Krueger et al., 2005). In current study, we investigated the blood flow in the aneurysm and pressure and shear stresses on the aneurysm wall depending on the position of the pseudoaneurysm. The analyzes made it possible to interpret the growth rate and rupture risk of the pseudoaneurysm and to identify the conditions with a high risk of thromboembolism. Numerical analyses were performed for different values of the angles of the pseudoaneurysm neck with the femoral artery ( $\alpha$ ) and the angles of the pseudoaneurysm with the neck region ( $\beta$ ).

In Fig. 6, 7, and 8, velocity vectors, pressure, and shear stress contours at different angles between the aneurysm and neck ( $\beta=0^\circ, 10^\circ, \text{ and } 15^\circ$ ) were given for the case where the angle between the aneurysm neck and the femoral artery was  $\alpha=45^\circ$ . Pressure and shear stresses on the surface of the aneurysm were examined for the peak point of the cardiac cycle (0.2 s). The highest velocity in the neck region of the pseudoaneurysm occurred for the  $\beta=0^\circ$  angle (2.328 m/s). The increase in the velocity in the neck region caused an increase in the pressure on the aneurysm surface. Therefore, the highest-pressure value (15116.6 Pa) in the aneurysm dome was obtained for the  $\beta=0^\circ$  angle (Fig. 6). At other  $\beta$  angle values ( $10^\circ$  and  $15^\circ$ ), the fluid entering the aneurysm followed the surface of the aneurysm and created a vortex, thus reducing the velocity of blood flow from the neck region. Thus, lower pressure values occurred in the

aneurysm dome for  $\beta=10^\circ$  and  $\beta=15^\circ$  values. When Figs. 6, 7 and 8 are examined, it was observed that the wall shear stress values decrease the increased values of  $\beta$  angle. While increasing from  $\beta=0^\circ$  to  $\beta=15^\circ$ , the maximum wall shear stress value decreased from 87.7 Pa to 48.2 Pa. The reason for the decrease in the wall shear stresses was the decrease in the velocity and pressure of the fluid hitting the aneurysm surface as mentioned above.

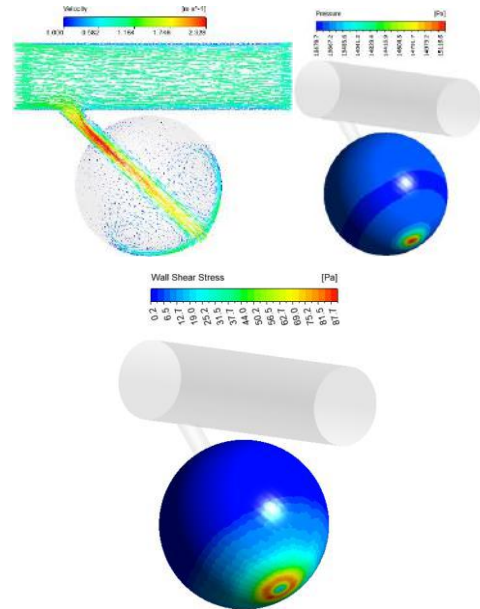


Figure 6. Velocity vectors in the midplane, pressure and wall shear stress on the aneurysm surface ( $\alpha=45^\circ; \beta=0^\circ; t=0.2$  s)

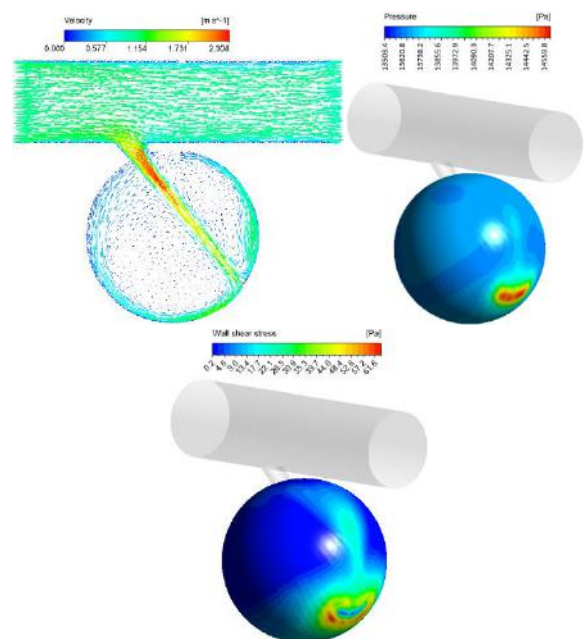
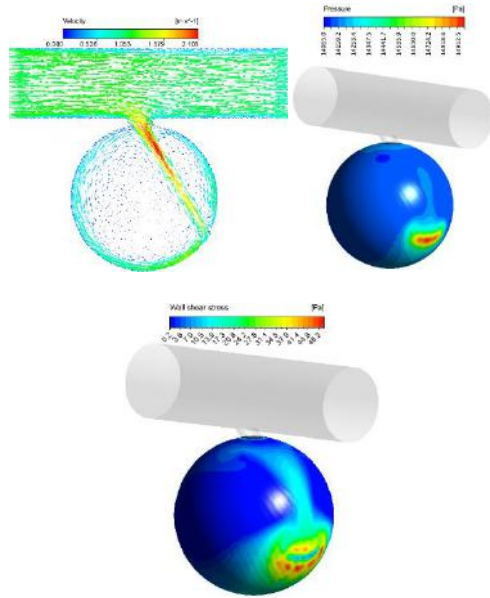


Figure 7. Velocity vectors in the midplane, pressure and wall shear stress on the aneurysm surface ( $\alpha=45^\circ; \beta=10^\circ; t=0.2$  s)



**Figure 8.** Velocity vectors in the midplane, pressure and wall shear stress on the aneurysm surface ( $\alpha=45^\circ$ ,  $\beta=15^\circ$ )

## 4. Conclusions

The results obtained because of the numerical analyzes for the different angle values between the neck region and the aneurysm ( $\beta$ ) in a femoral pseudoaneurysm are summarized below,

- With the increase of the  $\beta$  angle, the blood flow velocity from the neck region decreased and the pressure on the surface of the aneurysm also decreased. The highest-pressure value in the aneurysm dome occurred for  $\beta=0^\circ$ .
- As with the pressure change, the lowest wall shear stress on the surface of the aneurysm was obtained at the  $\beta=15^\circ$  angle, where the eccentricity of the neck axis and the aneurysm center point were the highest.
- When all the analysis results were evaluated, it was understood that for a pseudoaneurysm formed in the femoral artery, the highest growth rate and risk of rupture could occur at the  $\beta=0^\circ$  angle.

With this numerical study presented, the growth rate and risk of rupture were tried to be analyzed depending on the growth position of the femoral pseudoaneurysm. It was predicted that the obtained findings will be beneficial in determining the treatment method and time in the treatment of femoral pseudoaneurysm.

## 5. Acknowledge

Ethics Committee Approval: Since it is a flow dynamics analysis study, there is no need for an ethics committee decision.

Informed Consent: Because of the retrospective design of the study, no informed consent form was obtained from patients.

Referee Evaluation Process: Externally peer reviewed.

Conflict of Interest Statement: The authors declare no conflicts of interest.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Author Contributions: Authors declare that they all participated in the design, execution, and analysis of the manuscript and that they have approved the final version.

## References

- Mc Cann, R. L., Schwartz, L. B., & Pieper, K. S. (1991). Vascular complications of cardiac catheterization. *Journal of vascular surgery*, *14*(3), 375-381.
- Cope, C., & Zeit, R. (1986). Coagulation of aneurysms by direct percutaneous thrombin injection. *American Journal of Roentgenology*, *147*(2), 383-387.
- Franco, C. D., Goldsmith, J., Veith, F. J., Calligaro, K. D., Gupta, S. K., & Wengerter, K. R. (1993). Management of arterial injuries produced by percutaneous femoral procedures. *Surgery*, *113*(4), 419-425.
- Hirano, Y., Ikuta, S., Uehara, H., Nakamura, H., Taniguchi, M., Kimura, A., ... & Ishikawa, K. (2004). Diagnosis of vascular complications at the puncture site after cardiac catheterization. *Journal of Cardiology*, *43*(6), 259-265.
- Kim, H. H., Kim, K. W., Lee, C., Choi, Y. H., Kim, M. U., & Baba, Y. (2021). Percutaneous Thrombin Injection Based on Computational Fluid Dynamics of Femoral Artery Pseudoaneurysms. *Korean Journal of Radiology*, *22*(11), 1834.
- Kronzon, I. (1997). Diagnosis and treatment of iatrogenic femoral artery pseudoaneurysm: a review. *Journal of the American Society of Echocardiography*, *10*(3), 236-245.
- Krueger, K., Zaehring, M., Strohe, D., Stuetzer, H., Boecker, J., & Lackner, K. (2005). Postcatheterization pseudoaneurysm: results of US-guided percutaneous thrombin injection in 240 patients. *Radiology*, *236*(3), 1104-1110.
- Kurşun, B., Uğur, L., & Keskin, G. (2018). Hemodynamic effect of bypass geometry on intracranial aneurysm: A numerical investigation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *158*, 31-40.
- Lauder, B. E., & SD, B. (2013). MAN—ANSYS Fluent User's Guide Release 15.0. *Knowl. Creat. Diffus. Util*, *15317*, 724-746.
- Lumsden, A. B., Miller, J. M., Kosinski, A. S., Allen, R. C., Dodson, T. F., Salam, A. A., & Smith 3rd, R. B. (1994). A prospective evaluation of surgically treated groin complications following percutaneous cardiac procedures. *The American surgeon*, *60*(2), 132-137.
- Qiu, X. N., Fei, Z. M., Zhang, J., & Cao, Z. M. (2013). Influence of high-porosity mesh stent on hemodynamics of intracranial aneurysm: A computational study. *Journal of Hydrodynamics*, *25*(6), 848-855.
- Sheiman, R. G., & Brophy, D. P. (2001). Treatment of iatrogenic femoral pseudoaneurysms with percutaneous thrombin injection: experience in 54 patients. *Radiology*, *219*(1), 123-127.
- Shojima, M., Oshima, M., Takagi, K., Torii, R., Hayakawa, M., Katada, K., ... & Kirino, T. (2004). Magnitude and role of wall shear stress on cerebral aneurysm: computational fluid dynamic study of 20 middle cerebral artery aneurysms. *Stroke*, *35*(11), 2500-2505.
- Siebert, M. W., & Fodor, P. S. (2009). Newtonian and non-newtonian blood flow over a backward-facing step—a case study. In *Proceedings of the COMSOL Conference, Boston* (p. 27).
- Stone, P. A., Campbell, J. E., & AbuRahma, A. F. (2014). Femoral pseudoaneurysms after percutaneous access. *Journal of Vascular Surgery*, *60*(5), 1359-1366.
- Suh, S. H., Kim, H. H., Choi, Y. H., & Lee, J. S. (2012). Computational fluid dynamic modeling of femoral artery pseudoaneurysm. *Journal of mechanical science and technology*, *26*(12), 3865-3872.
- Yoo, T., Starr, J. E., Go, M. R., Vaccaro, P. S., Satiani, B., & Haurani, M. J. (2017). Ultrasound-guided thrombin injection is a safe and effective treatment for femoral artery pseudoaneurysm in the morbidly obese. *Vascular and endovascular surgery*, *51*(6), 3





# Effect of Levosimendan and Milrinone Combination in Chronic Kidney Disease Patients Who Underwent Cardiac Surgery

Gökhan Keskin<sup>1\*</sup>, Ahmet Feyzi Abacılar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Amasya University, Faculty of Medicine, Department of Cardiology, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1695-5624), [gokhan.keskin@amasya.edu.tr](mailto:gokhan.keskin@amasya.edu.tr)

<sup>2</sup> Izmir Özel Egepol Hospital, Department of Cardiovascular Surgery, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3816-7266), [afabacilar@hotmail.com](mailto:afabacilar@hotmail.com)

(First received 6 March 2022 and in final form 30 March 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083467)

**ATIF/REFERENCE:** Keskin, G., Abacılar, A.F. (2022). Effect of Levosimendan and Milrinone Combination in Chronic Kidney Disease Patients Who Underwent Cardiac Surgery. *European Journal of Science and Technology*, (34), 805-811.

## Abstract

**Background:** The effect of levosimendan use in chronic kidney disease (CKD) patients who underwent cardiac surgery has been investigated in a small number of subjects. Our purpose of this study was to investigate the hemodynamic effects of perioperative levosimendan in combination with milrinone administration in CKD patients underwent cardiac surgery and with poor left ventricle.

**Methods:** 164 CKD patients (the mean age = 56 yrs) with poor left ventricle and a high pulmonary artery hypertension were included in this study. Mean creatinine clearance was lower than 30-59 mL/min/1,73 m<sup>2</sup> (moderate to severe renal impairment). Levosimendan and milrinone were administered to 84 patients (study group; SG). The remaining 80 patients treated with placebo (placebo group; PG). We compared cardiac output (CO), cardiac index (CI), systemic vascular resistance (SVRI), pulmonary vascular resistance (PVR), myocardial enzymes, and tumor necrosis factor alpha (TNF-alpha) immediately after surgery and at 2 h, 6 h, 12 h, and 24 h after operation.

**Results:** No significant difference in operative mortality between groups was observed (6.3% vs. 7.7%, P=0.76). The SG showed lower rates of postoperative low-cardiac output syndrome (LCOS) (29.3% vs. 41.6%, P=0.001), and arrhythmia (26.8% vs. 44.6%) (P=0.01). CO and CI values were significantly higher in SG after the end of 6 h. PVR values were significantly low in SG (P=0.034). The amount of inotropic requirement was low in SG (P= 0.002). The laboratory analyses showed that c-TnI and TNF-alpha levels were low in SG (P= 0.0001). Compared to preoperative period, higher mean LVEF was found in both groups in the postoperative period, but the mean increase in LVEF in SG was higher than in the PG (11.70±2.39 vs. 6.2±1.30) (P<0.001).

**Conclusion:** The use of levosimendan plus milrinone significantly improved hemodynamics in CKD patients with poor left ventricle who underwent cardiac surgery. Duration of ICU and hospitalization were decreased significantly with inodilators treatment. Therefore, we suggest the use of levosimendan and milrinone combination in per- and postoperative period in cardiac surgery patients with CKD and poor left ventricle.

**Keywords:** Poor left ventricle, Chronic kidney disease, Levosimendan, Milrinone, Cardiac surgery.

## Kalp Cerrahisi Geçiren Kronik Böbrek Hastalığı Hastalarında Levosimendan ve Milrinon Kombinasyonunun Etkisi

### Öz

**Amaç:** Levosimendan kullanımının etkisi kalp ameliyatı geçirmiş kronik böbrek hastalığı (KBH) hastalarında az sayıda denekte araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı, kalp cerrahisi geçirmiş ve sol ventrikülü zayıf olan KBH hastalarında milrinon uygulaması ile kombinasyon halinde perioperatif levosimendan'ın hemodinamik etkilerini araştırmaktır.

**Method:** Bu çalışmaya, sol ventrikülü zayıf ve pulmoner arter hipertansiyonu yüksek olan 164 KBH hastası (ortalama yaş = 56 yıl) dahil edildi. Ortalama kreatinin klerensi 30-59 mL/dak/1,73 m<sup>2</sup>'den düşüktü (orta ila şiddetli böbrek yetmezliği). 84 hastaya (çalışma grubu; SG) levosimendan ve milrinon uygulandı. Kalan 80 hasta plasebo ile tedavi edildi (plasebo grubu; PG). Kardiyak output (CO), kardiyak indeks (CI), sistemik vasküler direnc (SVRI), pulmoner vasküler direnç (PVR), miyokardiyal enzimler ve tümör nekroz faktörü alfa (TNF-alfa) ameliyattan hemen sonra ve 2. , 6. , 12. ve 24. saatte karşılaştırdık.

**Bulgular:** Gruplar arasında operatif mortalite açısından anlamlı bir fark gözlenmedi (%6.3'e karşı %7.7, P=0.76). SG, daha düşük postoperatif düşük kalp debisi sendromu (LCOS) (%29.3'e karşı %41.6, P=0.001) ve aritmi (%26.8'e karşı %44.6) (P=0.01) gösterdi. CO ve CI değerleri 6 saatin sonunda SG'de anlamlı olarak daha yüksekti. SG'de PVR değerleri anlamlı derecede düşüktü (P=0.034). SG'de inotropik gereksinim miktarı düşüktü (P= 0.002). Laboratuvar analizleri SG'de c-TnI ve TNF-alfa düzeylerinin düşük olduğunu gösterdi (P= 0.0001). Ameliyat öncesi dönem ile karşılaştırıldığında, ameliyat sonrası dönemde her iki grupta da ortalama LVEF daha yüksek bulundu, ancak SG'de LVEF'deki ortalama artış PG'den daha yüksekti (11.70±2.39'a karşı 6.2±1.30) (P<0.001).

**Sonuç:** Kalp cerrahisi geçiren sol ventrikülü zayıf olan KBH hastalarında levosimendan ve milrinon kullanımı hemodinamiyi önemli ölçüde iyileştirdiği saptandı. İnodilatör tedavi ile yoğun bakım ve hastanede kalış süresi önemli ölçüde azaldı. Bu nedenle KBH ve ejeksiyon fraksiyonu düşük sol ventrikülü olan kalp cerrahisi hastalarında postoperatif ve peroperatif dönemde levosimendan ve milrinon kombinasyonunun kullanılmasının gerekliliği görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** düşük ejeksiyon fraksiyonlu sol ventrikül, Kronik böbrek hastalığı, Levosimendan, Milrinone, Kalp cerrahisi.

\* Corresponding Author: [gokhan.keskin@amasya.edu.tr](mailto:gokhan.keskin@amasya.edu.tr)

## 1. Introduction

A number of inotropic agents increases the intracellular cyclic adenylate monophosphate levels, which induces the increase in calcium release from the myocardium. Calcium accumulation gives rise to elevated myocardial oxygen consumption can result in myocardial deterioration during inotrope infusion (Hasenfuss et al., 1987) Several substrates are also utilized and have profound depression effects on myocardium due to high oxygen consumption during extracorporeal circulation (ECC). Substrate utilization is a key factor determining the oxygen consumption of the myocardial cells (Opie et al., 1991, Bersin et al., 1994, Eichhorn et al., 1994). Therefore, optimal myocardial function after cardiac surgery cannot provide in number of patients peroperatively. Observational data in chronic kidney disease (CKD) patients with poor left ventricle suggest that the use of epinephrine is associated with worse clinical outcomes such as serious ventricular arrhythmia (Heringlake et al., 2007). Despite to levosimendan use is contraindicated in CKD patients, there are limited number of investigations have been published, recently. Our previous research showed that levosimendan use increased significantly ventricular functions in hemodialyses patients (Atalay et al., 2016). Also, the authors suggested levosimendan use in ESRDs in case reports and clinical articles (Puttonen et al., 2007, Lobo Martínez et al., 2011, Papadopoulos et al., 2010). Lobo et colleagues reported a succesfull result using LS in ESRD patient with severe myocardial dysfunction resistant to inotropic support (Lobo et al., 2011). Marked clinical and echocardiographic improvement without any side effect has been detected by the authors (Atalay et al., 2016, Lobo et al., 2011, Papadopoulos et al., 2010). Papadopoulos et al. showed that successfull use of levosimendan/norepinephrine combination in 13 chronic kidney disease patients undergoing hemodialyses with impaired myocardial contractility.

Milrinone, as a phosphodiesterase (PDE) III inhibitor agent, is an alternative of traditional inotropic support (Atalay et al., 2016). Besides acting as positive inotropic drugs, PDE inhibitors also acts as vasodilator via inhibiting PDE in vascular smooth muscle cells (Puttonen et al., 2007). Previous studies reported no adverse metabolic effects when the patients were treated with PDE III inhibitors, and their pre-emptive use was indicated to be beneficial on renal tubular injury markers (Lobo Martínez et al., 2011). Compared to dopamine and adrenaline, milrinone use cause less increased myocardial oxygen consumption or heart rate (Papadopoulos et al., 2010). Moreover, studies including patients with impaired left ventricular function undergoing coronary artery bypass graft (CABG) surgery reported that milrinone may decrease the postoperative myocardial ischemia and infarction incidence (Kikura et al., 2003). On the other side, levosimendan, as a new calcium sensitizer agent that exerts its activities by binding to cardiac troponin-C (cTn) in a calcium dependent manner without affecting myofibrillar ATPase. According to a previous investigation, levosimendan and milrinone stabilize the calcium-induced conformational change of cTn. These agents do not impair relaxation of intact paced isolated failing human myocardium (Parissis et al., 2007 Haikala et al., 1995, Hasenfuss et al., 1995, Végh et al., 1995, Lilleberg et al., 1995). Milrinone was also suggested to be administered to patients with pulmonary artery hypertension combined with myocardial dysfunction after ECC (Öztekin et al., 2007).

Based on these properties, we hypothesized that combinatorial use of levosimendan and milrinone in CKD patients with left ventricular dysfunction would result in improved postoperative cardiac function after open heart surgery.

## 2. Material and Method

We randomly selected 164 CKD patients with pulmonary artery hypertension who underwent cardiac surgery. This research has been performed between December 2008 and July 2015 after obtaining local ethics committee approval. All patients gave their written informed consents before enrolling. All patients had coronary artery disease with severe mitral and/or aortic valve disease. The inclusion criteria were LVEF lower than 0.40, a systolic pulmonary artery pressure (sPAP) was more than 50 mmHg. On the other hand, exclusion criteria were known allergy to levosimendan or milrinone, redo operations, chronic obstructive pulmonary disease, severe hepatic, or end-organ disorders.

A nurse prepared the placebo, thereby ensuring that operation and ICU team were blinded to the group assignment. Study group (SG) patients were administered with a levosimendan (Simdax; Orion Pharma, Espo, Finland) bolus at a dose of 10 µg/kg for 30 minutes that was followed by a 24-h infusion at a rate of 0.05 µg/kg/min. Milrinone was administered as a half dose of bolus (25 µg/kg) immediately after weaning from ECC, and it continued at a dose of 0.5 µg/kg/min. for 24 hours later. Placebo group (PG), on the other hand, received the placebo drug, which was prepared to look-alike to levosimendan and milrinone combination and contained water-soluble vitamin concentrate (10 ml vitamin diluted in 500 ml 5% glucose solution).

### 2.1. Surgery

Anesthesia and cardiopulmonary bypass (CPB) procedures were performed according to our clinical practice. For hemodynamic monitoring in the operating room, a pulmonary artery catheter (Criticath; Becton-Dickinson, USA.) was inserted. On admission to the operating theatre and thereafter, the goals and means of hemodynamic support were to keep the pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) of 12–18 mm Hg with fluid administration and the mean arterial pressure between 50 and 70 mmHg. We carefully gave attention to provide the cardiac index > 1.8 - 2.2 L/min/m<sup>2</sup> with dobutamine administration.

Hemodynamic measurements including mean arterial pressure (MAP), CI, CO, PVR and systemic vascular resistance index (SVRI) were made before induction of anesthesia. These values were calculated immediately after weaning from ECC, and at postoperative 2 h, 6 h, 12 h, and 24 h in the ICU. Cardiac enzyme analyses were calculated preoperatively (T0), and immediately after the release of aortic cross-clamp, and at postoperative 1 h, 6 h, 12 h, 24 h and 48 h. Blood gas measurements including mixed venous saturation, and hematocrit were taken in ICU every 6 h. Echocardiography was performed at baseline and prior to discharged.

### 2.1. Statistical methods

Data were analyzed by using SPSS for Windows statistical software (version 13.0, Inc., Chicago, IL, USA). Timepoint-wise comparisons were conducted with the T-test. Mann-Whitney U-

test was employed to analyze the cumulative doses of vasoactive medication comparisons between the groups and data were presented as mean ± standard deviation (SD). Data for normally distributed continuous variables were presented as mean values ± SD. Demographic characteristics and peri-operative variables of the patients, as well as the calculated values from the analyses, were compared by using independent samples t-test for continuous variables while categorical variables were analyzed by using either Chi-square test or Fisher's exact test. Categorical variables were expressed as numbers and percentages. Differences within groups were evaluated by using paired-samples t-test. P values lower than 0.05 was considered statistically significant.

### 3. Results

The patients' demographics and preoperative medications are summarized in Table 1. The characteristics of the patients, preoperative medication, LVEF and PAP were comparable. No difference was found when compared to EuroSCORE. In patients with severe mitral or aortic valve stenosis, mechanical or bioprosthetic valve replacement was performed. We performed valvular plasty in patients with mitral and/or aortic valve insufficiency. The characteristics of surgical procedures in both groups have been summarized in Table 2. Intraoperative and postoperative properties including intraaortic balloon pump (IABP) use and inotropic infusion are indicated in Table 3. No differences were observed between groups when preoperative MAP, SVRI, CI, and heart rate (HR) were compared. Intraoperative and postoperative data including HR, CO, CI, cardiac enzyme, and TNF-alpha levels at various intervals have been shown in Table 4.

**Table 1.** Demographic data of the patients.

Characteristics	SG N=84	PG N=80	P-value
Age (years)	59,6±9,7	55,5±6,9	0,90
Male/Female	52/32	47/33	0,79
BSA (m <sup>2</sup> )	1,80±0,12	1,87±0,09	0,84
Functional Capacity (NYHA)	3,1±0,4	3,2±0,3	0,90
Pre-operative EF (%)	41,8±0,4	3,2±0,3	0,95
Pre-operative sPAP (mmHg)	41,2±14,2	42,8±12,1	0,90
Medication			
Calcium channel inhibitors	44	42	
Antiarrhythmicagents (N)	13	4	
Platelet aggregation inhibitors (N)	84	80	
Nitrates (N)	59	56	

BSA: body surface area, EF: ejection fraction, NYHA: New York Heart Association, PAP: Pulmonary arterial pressure.

**Table 2.** Surgical procedures in both groups.

Surgery type	SG	PG
CABG+MVR	27	25
CABG+AVR	24	28
CABG+AVR+MVR	8	10
CABG+ Mitral repair	18	10
CABG+ Aortic repair	9	5
CABG+ AVR+MP+TP	4	2

AVR: Aortic valve replacement, CABG: Coronary artery bypass grafting, MP: Mitral plasty, MVR: Mitral valve replacement, TP: Tricuspid plasty.

**Table 3.** Intraoperative and postoperative data.

Features	SG	PG	p-value
XC period (min)	88,7 ± 56,4	69,2 ± 26,8	0,779
CPB period (min)	115,4 ± 62,8	89,4 ± 33,2	0,884
Operation time (min)	219,5 ± 83,2	155,0 ± 49,4	0,424
Need for inotropic drug*	19 (55,8%)	24 (80%)	<b>0,012</b>
Need for IABP*	2 (5,8%)	6 (20%)	0,0021
Mortality	1 (2,8%)	2 (6%)	0,63
Postoperative exploration	1	2	0,084
Low cardiac output*	6 (10,7%)	15 (50%)	0,0001
Acute renal failure	2	4	0,078
Length of stay in ICU (h)	43,6 ± 2,1	57,5 ± 1,3	0,0001
Length of stay at hospital* (d)	13,2 ± 2,4	16,8 ± 1,5	0,0001
Arrhythmia*	6,5 ± 4,8	11 ± 3,4	0,036

CPB; Cardiopulmonary bypass, IABP; Intra-aortic balloon counterpulsation, ICU; Intensive care unit, XC: Cross-clamp;

**Table 4.** Heart rate, cardiac index and enzymes levels at various time intervals

Time	Group	HR	CI	CK-MB	c-Tro-I	CO (L/min)
Baseline	SG	77.13±5.4	2.09±0.20	17.4±8.2	0.90±1.09	2.11±0.20
	PG	69.83±7.4	2.03±0.18	16.26±6.1	0.87±1.05	2.06±0.22
After weaning from ECC	SG	95.41±3.8	3.19±0.22	34.12±11.20*	3.91±1.90*	2.54±0.20
	PG	89.61±2.7	2.43±0.27	56.10±9.08*	3.60±0.90*	2.36±0.24
1 hour	SG	98.33±6.0	3.29±0.2*	37.24±8.70*	5.90±1.73*	3.54±0.24*
	PG	96.2±8.2	2.32±0.2	55.12±10	4.64±0.19	2.66±0.54
6 hours	SG	93.23±5.9	3.22±0.3*	36.01±6.2*	6.70±1.01*	3.34±0.04*
	PG	91.47±6.0	2.46±0.1*	51.12±6.19	3.90±0.96	2.86±0.30
12 hours	SG	90.63±5.4	3.45±0.3*	28.07±7.20*	5.90±2.04*	3.88±0.12*
	PG	98.23±8.2	2.5±0.2	46.08±5.0	2.86±1.03	3.01±0.70
24 hours	SG	87.22±5.0	3.66±0.2*	19.08±3.77*	3.86±0.96*	3.64±0.20*
	PG	89.32±4.9	2.6±0.2	29.20±7.1	1.90±0.77	2.26±0.54

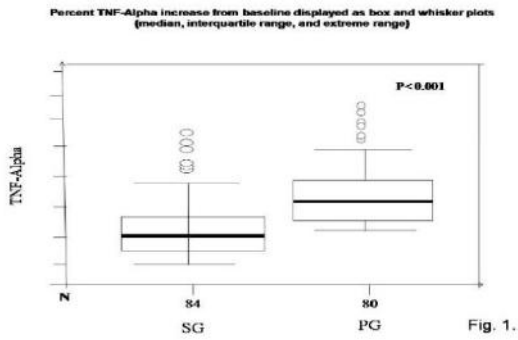
CI: cardiac index(L/min./m<sup>2</sup>), CK-MB: Creatin Kinase Myocardial Band, CO: Cardiac out-put (L/min.), ECC: Extracorporeal circulation, HR: heart rate. \*P<0.05

**Table 5.** MAP, CVP, and SVRI measurements at various time intervals

Time	Group	MAP	CVP	SVRI
Baseline	SG	66.93±7.0	9.2±1.1	1855±134
	PG	62.30±7.1	10.09±1.11	1796±145
After weaning from ECC	SG	58.93±5.5	8.3±2.1	<b>1558±139*</b>
	PG	56.93±3.2	7.9±3.1	1690±189
1 hours	SG	74.90±6.0	10.01±1.44	<b>1518±145*</b>
	PG	71.85±4.7	8.6±1.56	1499±145
6 hours	SG	71.93±8.2*	11.20±1.93	<b>1581±121*</b>
	PG	56.93±2.8	7.23±1.81	1673±111
12 hours	SG	78.93±5.4*	8.2±1.1	<b>1459±124*</b>
	PG	56.93±5.1	6.67±1.1	1666±111
24 hours	SG	70.43±9.3	9.2±1.1	<b>1399±136*</b>
	PG	65.93±7	7.2±1.1	1126±115

CVP: Central venous pressure, MAP: Mean arterial pressure, SVRI: systemic vascular resistance index (dyn/s/cm<sup>5</sup>). \*P<0.05

Preoperative TNF-alpha levels were similar in both SG and PG (1.90±2.03 pg/ml and 2.04±2.97 pg/ml, respectively) (P>0.05). In SG and PG at 2 h, the mean TNF-alpha levels were 21.23±7.10 pg/ml, and 38.1±9.1 pg/ml, respectively (P=0.001). In PG, at 6 h, 12 h, and 24 h after surgery, TNF-alpha levels were 44.22±13.3, 56.2±7.2, and 48.7±11.0 pg/ml, respectively. For the same time periods, in SG, the mean serum TNF-alpha levels were 33.10±12.1 pg/ml, 38.6±9.4 pg/ml, and 41.07±8.95 pg/ml. at 6, 12 and 24 hour after surgery. Comparisons of serum TNF-alpha levels for three timepoints revealed significant differences between the groups (P=0.01) (Fig. 1.).



**Figure 1.** exhibits that TNF-alpha blood levels in different times. The mean level of TNF- alpha increased significantly in placebo group.

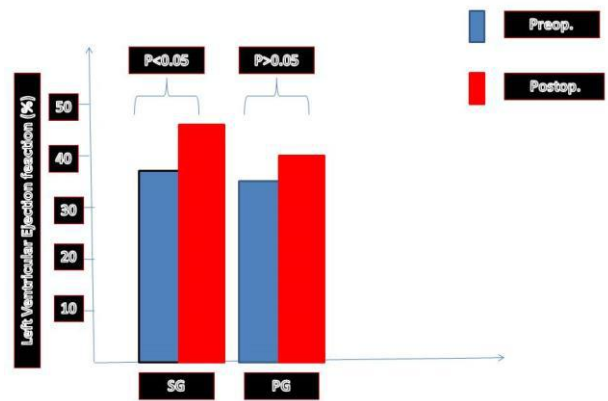
The SVRI was lower, CO and CI were higher in SG compared with PG ( $P<0.01$ ). A trend towards lower SVRI values in SG compared to the PG in the immediate postoperative period. In the early postoperative period, CI and LVEF did not change in placebo group. These levels were significantly higher in study group.

Intraoperative characteristics of both groups including duration of cross-clamp, CPB time, dose of inotropic administered to the patients, and the duration of ICU stay are documented in table III. Statistical differences were found for requirement of inotropic drugs and IABP insertion. The amount of inotropic drug use (dobutamine and/or noradrenaline) was higher in the PG ( $P=0.001$ ).

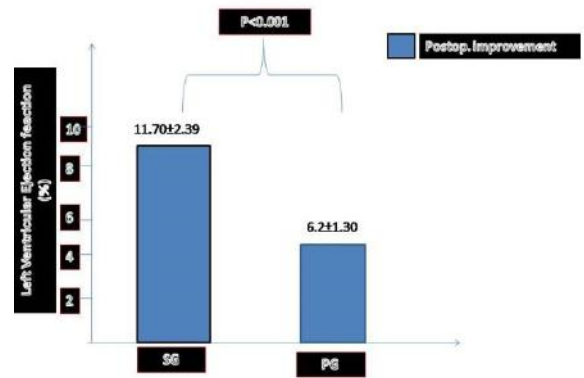
The intensive care unit stay and tracheal intubation time was statistically significant in PG (43.6 h vs 57.5 h) ( $P<0.01$ ). Total hospital stay was significantly low in SG (9.20 d vs 16.80 d) ( $P<0.001$ ). Significant differences that were in favor of SG were recorded for cardiac enzyme levels, CO and CI (intraoperative and postoperative data are summarized in table 3). Postoperative CI and CO values of SG at 1 h, 6 h, 12 h and 24 h were significantly high in SG.

Intragroup comparisons showed that CO and CI significantly increased regarding the baseline values in SG ( $P=0.001$ ). Statistically significant differences that were in favor of SG were recorded for preoperative values (table 4). The SG showed lower rates of low postoperative CO (26.3% vs. 63.3%,  $P=0.014$ ) and arrhythmia (16.3% vs. 44.6%,  $P=0.021$ ). The heart rate, CI and myocardial enzymes levels at various time intervals have been summarized in table 4.

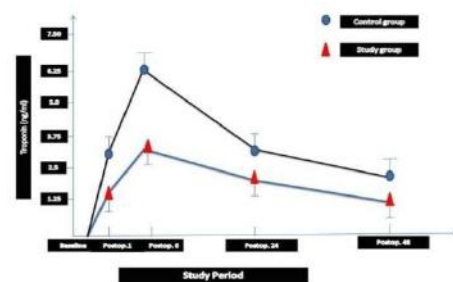
Compared to the preoperative period, both SG and PG had higher mean LVEF in the postoperative period, but the mean increase in LVEF was higher in SG than PG ( $8.88\pm 2.39$  vs.  $4.31\pm 1.23$ ) ( $P<0.001$ ). Moreover, no significant difference in operative mortality was observed between groups (6.3% vs. 7.7%,  $P=0.679$ ) (Fig. 2 and 3). cTp-I values in different times have been shown in Fig. 4.



**Figure 2.** shows that preoperative and postoperative comparison of LVEF in both groups. LVEF was found elevated significantly in SG.



**Figure 3.** demonstrates that significant postoperative improvement of LVEF in study group.



**Figure 4.** exhibits that blood c-TnI values in both groups during 48 h intervals. c-TnI concentrations among groups measured immediately after surgery, and at 1 h, 6 h, 24 h and 48 h following the surgical procedures. A significant difference was found when we compared between groups.

The mean basal PAP was  $41.2 \pm 16.2$  mmHg in SG and  $42.8 \pm 12.1$  mmHg in PG ( $P>0.05$ ). Postoperatively, PAP measurement was low in SG compared to that in PG ( $P= 0.0034$ ). PAP was more decreased in SG over time after operations. Immediately after surgery, the mean PAP value was calculated as  $26.40\pm 16.50$  mmHg and  $33.34\pm 6.40$  mmHg in SG

and PG, respectively ( $P < 0.05$ ). When we compared pulmonary vascular resistances after surgery, it was low in SG compared to those in PG. The decrease in PVR over time was marked in SG (PVR:  $432.4 \pm 340.4$  dyne/s/cm<sup>-5</sup> vs PVR:  $218.7 \pm 163.2$  dyne/s/cm<sup>-5</sup> ( $P < 0.05$ ). MAP, central venous pressure, and SVRI measurements at various time points are summarized in table V. In PG, SVRI was higher immediately after surgery than that in SG (Table V). Baseline and postoperative values were calculated as  $1681.2 \pm 422.6$  dyne/s/cm<sup>-5</sup> in SG and  $1039.2 \pm 354.2$  dyne/s/cm<sup>-5</sup> in PG ( $P = 0.001$ ).

#### 4. Discussion

To our knowledge, levosimendan in combination with milrinone use has not previously been investigated in CABG concomitant with valve surgery in patients with impaired left ventricle. Our study clearly demonstrated that utilization of levosimendan and milrinone in CABG patients who required heart valve surgery with myocardial impairment undergoing on-pump may reduce the level of cardiac troponin release, sPAP, and PVRI. Also, our investigation showed that levosimendan administration for preconditioning of left ventricle prior to surgery, and milrinone infusion increased myocardial performance including LVEF, CO and CI peroperatively. Combination of these drugs significantly decreased the duration of intubation, and improved post operative left ventricular stroke work index. In addition, our research revealed that bolus doses of levosimendan and milrinone followed by continuous maintenance administration for about 24 hours post-operatively, could reduce the serum level of c-TnI and TNF-alpha which have been evidences of myocardial ischemia and inflammatory effects of CPB in CABG operations.

To achieve adequate hemodynamic status, the incidence of inotropic drugs (two or more) use is proportionally higher in patients undergoing CABG concomitant with valve surgery when compared to CABG alone in patients with impaired left ventricle. Ischemia-reperfusion during surgery leads to depleted of high energy phosphates, overloaded intracellular calcium levels, and free radical generation (Papadopoulos et al., 2010, Kikura et al., 2003). Risk factors associated with need for inotropic support includes low ejection fraction, congestive heart failure, emergency operation, prolonged duration of CPB and aortic clamping. Therefore, prior to our research we hypothesised that to reduce postoperative mortality and morbidity we used milrinone and levosimendan as inodilator agents, in our risky patients.

Vegh and Lilleberg showed that in a dog model of model acute heart failure induced by ligation of the left anterior descending artery, levosimendan use improved coronary blood flow and myocardial contractility (Hasenfuss et al., 1995, Végh et al., 1995, Lilleberg et al., 1995). In general, recovery of myocardium after one hour after the termination of CPB and continues until 24 hours post-surgery (Oztekin et al., 2007). Our study results are parallel to Veghs' study.

To induce hemodynamic improvement 30-70% of patients have been required inotropic agent(s) peroperatively (Breisblatt et al., 1990). To provide this lethal condition levosimendan has been suggested in previous studies (Hernandez et al., 2009, Nijhawan et al., 1999, Labriola et al., 2004). Previous studies showed that levosimendan improved hemodynamics and

enhanced the right ventriculo-pulmonary vascular coupling due to increased contractility and reduced right ventricular afterload in models of acute RV dysfunction in animals (Hein et al., 2009, Missant et al., 2007). In contrast to previous investigation (Cavusoglu et al., 2009), our study showed that peroperative pulmonary artery pressure decreased significantly with the use of inodilators combination. We believe that right ventricular effects should be investigate in many cases with impaired bi-ventricular heart failure.

Pharmacokinetic properties of levosimendan's metabolites, especially the molecule known as OR-1896, are implicated in the prolonged effects of levosimendan (Cavusoglu et al., 2009). OR-1896 has the same pharmacodynamic profile of levosimendan, with a half-life and activity period of 80 hours and 2 weeks, respectively. Compared to PG, lower rates of postoperative low CO (26.3% vs. 46.9%) and arrhythmia (16.3% vs 24.6%) were found in SG. In both groups LVEF increased significantly in postoperative period, but the mean increase in LVEF in SG was higher than PG ( $8.88 \pm 2.39$  vs  $4.31 \pm 1.23$ ). To provide appropriate CI, 34 % of patients in SG and 56 % of patients in PG required additional inotropic, respectively These values were parallel to postoperative cardiac enzyme release in both groups. Additional inotrope and/or vasopressor administration requirement was more frequent in PG.

According to previous studies, phosphodiesterase inhibition causes increased cAMP levels, and thus elevated clearance of cytosolic calcium by endoplasmic reticulum ATPase pump, leading to accelerated myofilament relaxation (Hein et al., 2009, Missant et al., 2007). Previously, it was shown that levosimendan pretreatment enhanced microcirculation and coronary artery flow, as well as enhanced cardiac performance and neurohormonal activation, in patients with advanced heart failure outcomes in CABG operation (Hein et al., 2009, Missant et al., 2007).

The positive effects of levosimendan on ventricular function and arrhythmias and cyclic nucleotide levels during ischemia/reperfusion have shown in a pig model by Du Toit et al. (Álvarez et al., 2006). In our published study, we showed supraventricular antiarrhythmic effect of levosimendan in CABG surgery (Du Toit et al., 2001). Ericsson et colleagues previously showed that levosimendan facilitated weaning from cardiopulmonary bypass and decreased the mortality undergoing CABG with impaired left ventricular function (Eriksson et al., 2009).

European Milrinone Multicenter Trials Group exhibited that milrinone consumes myocardial oxygen (Eriksson et al., 2009). Karlsberg et colleagues suggested milrinone use for the management of the patients with heart failure and pulmonary congestion following myocardial infarction (Karlsberg et al., 1996). Feneck study demonstrated that phosphodiesterase III inhibition using milrinone has positive and vasodilator effects in patients with heart failure and open-heart surgery (Feneck et al., 2001). Thus, previous milrinone studies showed that it improved hemodynamic profile in off-pump-CABG operations.

De Hert et al. showed in their study that cardiac surgery patients with a low preoperative EF, stroke volume was better maintained when the patients were administered with dobutamine and levosimendan combination (De Hert et al.,

2007). Jörgensen et al. and Malliotakis study showed the positive effects of levosimendan on left ventricular relaxation and filling pressure in patients with left ventricular hypertrophy due to aortic stenosis (Malliotakis et al., 2007, Jörgensen et al., 2008). Cohen et al. demonstrated that natriuretic peptide in response to levosimendan treatment was in association with improved survival in patients with severe acutely decompensated heart failure (Cohen et al., 2009). In Lobato (Lobato et al., 2000) and Kikura study (Kikura et al., 1997) did show that milrinone improved left ventricular compliance after open heart surgery. In contrast to previous research, Hadadzadeh and colleagues did not detect any significant difference between their patients who were administered with milrinone in terms of inotropic drug support requirement, myocardial ischemia, duration of inotropic drug support, and morbidity rate (Hadadzadeh et al., 2013).

## 5. Conclusions

As we know that NYHA class III and IV condition, longer aortic cross clamp and CBP time are increased morbidity and mortality rate, and requirement the higher dose inotropic agents use after open heart surgery. According to our results, in CABG patients with impaired myocardium who required concomitant valv surgery, the use of preoperative LS and peroperative milrinone administration facilitated weaning from CPB in patients with impaired left ventricle. Peroperative treatments with drug combination shortened the dose of inotropic administration and IABP after surgery. The use drugs combination significantly decreased the duration of tracheal intubation, hospitalization, and postoperative LOS. Duration of inotropic use was significantly lower in our patients administered with levosimendan in combination with milrinone as alternative to other inotropic drugs.

## References

Álvarez, J., Bouzada, M., Fernández, Á. L., Caruezo, V., Taboada, M., Rodríguez, J., ... & González-Juanatey, J. R. (2006). Hemodynamic effects of levosimendan compared with dobutamine in patients with low cardiac output after cardiac surgery. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 59(4), 338-345.

Atalay, H., Temizturk, Z., Altinsoy, H. B., Azboy, D., Colak, S., Atalay, A., & Dogan, O. F. (2016, October). Levosimendan Use Increases Cardiac Performance after Coronary Artery Bypass Grafting in End-Stage Renal Disease Patients. In *The Heart Surgery Forum* (Vol. 19, No. 5, pp. E230-E236).

Bersin, R. M., Wolfe, C., Kwasman, M., Lau, D., Klinski, C., Tanaka, K., ... & Chatterjee, K. (1994). Improved hemodynamic function and mechanical efficiency in congestive heart failure with sodium dichloroacetate. *Journal of the American College of Cardiology*, 23(7), 1617-1624.

Breisblatt, W. M., Stein, K. L., Wolfe, C. J., Follansbee, W. P., Capozzi, J., Armitage, J. M., & Hardesty, R. L. (1990). Acute myocardial dysfunction and recovery: a common occurrence after coronary bypass surgery. *Journal of the American College of Cardiology*, 15(6), 1261-1269.

Cavusoglu, Y., Beyaztas, A., Birdane, A., & Ata, N. (2009). Levosimendan is not effective in reducing pulmonary pressures in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension: report of two cases. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 10(6), 503-507.

Cohen-Solal, A., Logeart, D., Huang, B., Cai, D., Nieminen, M. S., & Mebazaa, A. (2009). Lowered B-type natriuretic peptide in response to levosimendan or dobutamine treatment is associated with improved survival in patients with severe acutely decompensated heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, 53(25), 2343-2348.

De Hert, S. G., Lorsomradee, S., Cromheecke, S., & Van der Linden, P. J. (2007). The effects of levosimendan in cardiac surgery patients with poor left ventricular function. *Anesthesia & Analgesia*, 104(4), 766-773.

Du Toit, E., Hofmann, D., McCarthy, J., & Pineda, C. (2001). Effect of levosimendan on myocardial contractility, coronary and peripheral blood flow, and arrhythmias during coronary artery ligation and reperfusion in the in vivo pig model. *Heart*, 86(1), 81-87.

Eichhorn, E. J., Heesch, C. M., Barnett, J. H., Alvarez, L. G., Fass, S. M., Grayburn, P. A., ... & Malloy, C. R. (1994). Effect of metoprolol on myocardial function and energetics in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Journal of the American College of Cardiology*, 24(5), 1310-1320.

Eriksson, H. I., Jalonen, J. R., Heikkinen, L. O., Kivikko, M., Laine, M., Leino, K. A., ... & Salmenperä, M. T. (2009). Levosimendan facilitates weaning from cardiopulmonary bypass in patients undergoing coronary artery bypass grafting with impaired left ventricular function. *The Annals of thoracic surgery*, 87(2), 448-454.

Feneck, R. O., Sherry, K. M., Withington, P. S., Oduro-Dominah, A., & European Milrinone Multicenter Trial Group. (2001). Comparison of the hemodynamic effects of milrinone with dobutamine in patients after cardiac surgery. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*, 15(3), 306-315.

Hadadzadeh, M., Hosseini, S. H., Mostafavi-Pour-Manshadi, S. M. Y., Naderi, N., & Emami-Meybodi, M. (2013). Effect of milrinone on short term outcome of patients with myocardial dysfunction undergoing off-pump coronary artery bypass graft: a randomized clinical trial. *Acta Medica Iranica*.

Haikala, H., Kaivola, J., Nissinen, E., Wall, P., Levijoki, J., & Lindén, I. B. (1995). Cardiac troponin C as a target protein for a novel calcium sensitizing drug, levosimendan. *Journal of molecular and cellular cardiology*, 27(9), 1859-1866.

Hasenfuss, G., Holubarsch, C. H., Just, H., Blanchard, E., Mulieri, L. A., & Alpert, N. R. (1987). Energetic aspects of inotropic interventions in rat myocardium. In *Cardiac Energetics* (pp. 251-259). Steinkopff, Heidelberg.

Hasenfuss, G., Pieske, B., Kretschmann, B., Holubarsch, C., Alpert, N. R., & Just, H. (1995). Effects of calcium sensitizers on intracellular calcium handling and myocardial energetics. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 26, S45-51.

Hein, M., Roehl, A. B., Baumert, J. H., Scherer, K., Steendijk, P., & Rossaint, R. (2009). Anti-ischemic effects of inotropic agents in experimental right ventricular infarction. *Acta anaesthesiologica scandinavica*, 53(7), 941-948.

Heringlake, M., Wernerus, M., Grünefeld, J., Klaus, S., Heinze, H., Bechtel, M., ... & Schön, J. (2007). The metabolic and renal effects of adrenaline and milrinone in patients with myocardial dysfunction after coronary artery bypass grafting. *Critical Care*, 11(2), 1-10.

Hernandez, A. F., Li, S., Dokholyan, R. S., O'Brien, S. M., Ferguson, T. B., & Peterson, E. D. (2009). Variation in perioperative vasoactive therapy in cardiovascular surgical

- care: data from the Society of Thoracic Surgeons. *American heart journal*, 158(1), 47-52.
- Jørgensen, K., Bech-Hanssen, O., Houltz, E., & Ricksten, S. E. (2008). Effects of levosimendan on left ventricular relaxation and early filling at maintained preload and afterload conditions after aortic valve replacement for aortic stenosis. *Circulation*, 117(8), 1075-1081.
- Karlsberg, R. P., DeWood, M. A., DeMaria, A. N., Berk, M. R., Lasher, K. P., & Milrinone-Dobutamine Study Group. (1996). Comparative efficacy of short-term intravenous infusions of milrinone and dobutamine in acute congestive heart failure following acute myocardial infarction. *Clinical cardiology*, 19(1), 21-30.
- Kikura, M., & Sato, S. (2003). Effects of preemptive therapy with milrinone or amrinone on perioperative platelet function and haemostasis in patients undergoing coronary bypass grafting. *Platelets*, 14(5), 277-282.
- Kikura, M., Levy, J. H., Michelsen, L. G., Shanewise, J. S., Bailey, J. M., Sadel, S. M., & Szlam, F. (1997). The effect of milrinone on hemodynamics and left ventricular function after emergence from cardiopulmonary bypass. *Anesthesia & Analgesia*, 85(1), 16-22.
- Labriola, C., Siro-Brigiani, M., Carrata, F., Santangelo, E., & Amantea, B. (2004). Hemodynamic effects of levosimendan in patients with low-output heart failure after cardiac surgery. *International journal of clinical pharmacology and therapeutics*, 42(4), 204-211.
- Lilleberg, J., Sundberg, S., & Nieminen, M. S. (1995). Dose-range study of a new calcium sensitizer, levosimendan, in patients with left ventricular dysfunction. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 26, S63-9.
- Lobato, E. B., Gravenstein, N., & Martin, T. D. (2000). Milrinone, not epinephrine, improves left ventricular compliance after cardiopulmonary bypass. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*, 14(4), 374-377.
- Lobo Martínez, P., Oulego Erroz, I., Gautreux Minaya, S., & Rodríguez Fernández, L. M. (2011). Treatment of acute heart failure using levosimendan for a patient with dilated cardiomyopathy, chronic renal failure, and hypertension. *Pediatric cardiology*, 32(7), 1012-1016.
- Malliotakis, P. O. L. Y. C. H. R. O. N. I. S., Xenikakis, T. H. E. O. P. H. I. L. O. S., Linardakis, M., & Hassoulas, J. (2007). Haemodynamic effects of levosimendan for low cardiac output after cardiac surgery: a case series. *Hellenic J Cardiol*, 48(2), 80-88.
- Missant, C., Rex, S., Segers, P., & Wouters, P. F. (2007). Levosimendan improves right ventriculo-vascular coupling in a porcine model of right ventricular dysfunction. *Critical care medicine*, 35(3), 707-715.
- Nijhawan, N., Nicolosi, A. C., Montgomery, M. W., Aggarwal, A., Pagel, P. S., & Warltier, D. C. (1999). Levosimendan enhances cardiac performance after cardiopulmonary bypass: a prospective, randomized placebo-controlled trial. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 34(2), 219-228.
- Opie LH. Fuels: Carbohydrates and lipids. In: Opie LH. *The Heart, Physiology and Metabolism*. (1991). New York: Raven Press, 208-44.
- ÖZTEKİN, I., Yazıcı, S., ÖZTEKİN, D. S., Goksel, O., Issever, H., & Canik, S. (2007). Effects of low dose milrinone on weaning from cardiopulmonary bypass and after in patients with mitral stenosis and pulmonary hypertension. *Yakugaku Zasshi*, 127(2), 375-383.
- Papadopoulos, G., Baikoussis, N. G., Tzimas, P., Siminelakis, S. N., & Karanikolas, M. (2010). Intravenous levosimendan-norepinephrine combination during off-pump coronary artery bypass grafting in a hemodialysis patient with severe myocardial dysfunction. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, 5(1), 1-4.
- Parissis, J. T., Farmakis, D., & Nieminen, M. (2007). Classical inotropes and new cardiac enhancers. *Heart failure reviews*, 12(2), 149-156.
- Puttonen, J., Kantete, S., Kivikko, M., Häkkinen, S., Harjola, V. P., Koskinen, P., & Pentikäinen, P. J. (2007). Effect of severe renal failure and haemodialysis on the pharmacokinetics of levosimendan and its metabolites. *Clinical pharmacokinetics*, 46(3), 235-246.
- Végh, A., Papp, J. G., Udvary, E., & Kaszala, K. (1995). Hemodynamic effects of calcium-sensitizing agents. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 26, S20-31



# Metanolün Elektrokimyasal Yükseltgenmesi İçin Pt katalizör Destek Malzemesi Olarak Tiyofen Kullanımı

Sadaf Adhami<sup>1</sup>, Evrim Hür<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Elektrokimya ve Teknolojisi A.D. / Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1157-3114)

<sup>2</sup>Kimya Bölümü / Fen Edebiyat Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7489-1198)

\*evrimhur@ogu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083344)

**ATIF/REFERENCE:** Adhami, S. & Hür, E. (2022). Metanolün Elektrokimyasal Yükseltgenmesi İçin Pt katalizör Destek Malzemesi Olarak Tiyofen Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 812-818.

## Öz

Bu çalışma da, doğrudan metanol yakıt hücrelerinde kullanılmak üzere modifiye elektrot sistemleri hazırlanmıştır. Hazırlanan elektrot sistemlerinin metanol oksidasyonuna ait elektrokimyasal davranışlarını incelemek için dönüşümlü voltametri (CV), kronoamperometri (CHR), ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma elektrotu olarak kalem ucu grafit (KUG) kullanılmıştır. KUG elektrotun yüzeyinde tiyofenin (Th) susuz ortamda CV yöntemi ile elektropolimerizasyonu için gerilim aralığı, tarama hızı, döngü sayısı ve asit derişimi optimizasyonları yapılmıştır. Daha sonra katalizör olarak polimer filmin üzerine platin (Pt) 4 farklı derişimde (3, 3,25, 3,50 ve 3,75mM) katılmıştır. Hazırlanan modifiye elektrot sistemlerinin metanol oksidasyonuna ait elektrokimyasal davranışları araştırılıp yorumlanmıştır. Bununla birlikte çalışmada kullanılan modifiye elektrot sistemlerinin SEM-EDS analizleri yapılarak polimer filmlerin morfolojik yapıları hakkında ve filmlere katılan Pt miktarları ile ilgili bilgi edinilmiştir. İletken polimer filmi ve Pt metanol oksidasyonu için ayrı ayrı katalizör olarak kullanıldıklarında alınan cevaplar hemen hemen benzerdir. Ancak iletken polimer Pt için destek malzeme olarak kullanıldığında, oldukça yüksek metanol oksidasyon performansı göstermektedir. CV ve EIS yöntemleri kullanılarak yapılan analizler sonucu elde edilen verilerden yararlanılarak modifiye elektrotların elektrokimyasal aktif yüzey alan (ECSA) ve spesifik kapasitans ( $C_s$ ) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek ECSA ve  $C_s$  değerleri sırasıyla 1,17  $m^2/gr$  ve 0,21  $Fg^{-1}$  olup KUG/3,50mMPt@PTh elektroduna aittirler.

**Anahtar Kelimeler:** Metanol oksidasyonu, Pt, politiyofen, iletken polimer, elektrokimyasal oksidasyon, yakıt hücresi

## Use of Thiophene as Pt Catalyst Support Material for Electrochemical Oxidation of Methanol

### Abstract

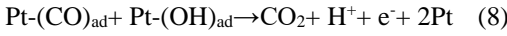
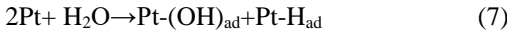
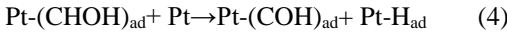
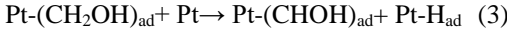
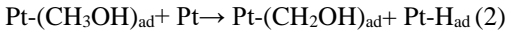
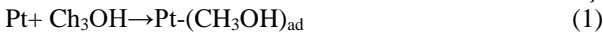
In this study, modified electrode systems were prepared to be used directly in methanol fuel cells. To examine the electrochemical behavior of the modified electrode systems for methanol oxidation, cyclic voltammetry (CV), chronoamperometry (CHR), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) methods were used. Pencil tip graphite (KUG) used as the working electrode. Optimizations of voltage range, scanning speed, number of cycles and acid concentration in anhydrous medium, were made for electropolymerization of thiophene (Th) on the surface of the KUG electrode by CV method. Then, platinum (Pt) as a catalyst, was doped on the polymer film at 4 different concentrations (3, 3.25, 3.50 and 3.75mM). The electrochemical behavior of the modified electrode systems for methanol oxidation was investigated and interpreted. In addition, SEM-EDS analyzes of the modified electrode systems which used in the study were performed to be informed about the morphological structures of the polymer films and the amount of Pt doped to the films. Based on the results; when the conductive polymer film and Pt are used as catalyst separately for methanol oxidation, the responses are almost similar. However, when conductive polymer used as a support material for Pt as catalyst, it exposes very high methanol oxidation performance. The electrochemical active surface area (ECSA) and specific capacitance ( $C_s$ ) values for the modified electrodes were calculated using the data obtained from the results of CV and EIS methods. The highest calculated ECSA and  $C_s$  values are 1.17  $m^2/gr$  and 0.21  $Fg^{-1}$ , respectively, and belonging to the KUG/3.50mMPt@PTh electrode.

**Keywords:** Methanol oxidation, Pt, Polythiophene, Conductive polymer, Electrochemical oxidation, Fuel cell.

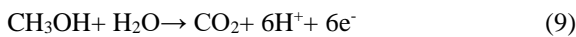


## 1. Giriş

Yüksek verimli, yenilenebilir ve çevre dostu alternatif enerji kaynakları hem ekonomik hem de temiz bir gelecek için önemli olup, araştırmaya değer bir alandır. Yakıt pilleri de, alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Bir yakıt hücresi türü olan doğrudan metanol yakıt hücreleri (DMFC'ler), modern yaşamda kolaylıkla uygulanabilen, taşınabilir ve temiz bir doğa için umut vericidir [1], [2], [3]. Ayrıca düşük çalışma sıcaklığı ve yüksek enerji dönüşüm verimliliğine sahiptirler. Enerji, yakıt pillerinde çalışma elektrodu yüzeyine kaplanmış aktif malzeme ile elektrolitin ara yüzeyindeki iyonların alış verişi ile üretilir. DMFC'lerin kapsamlı uygulaması, iletken, kararlı, yüksek yüzey alanlı bir substrat [4], [5] üzerinde dağılmış elektrokatalitik soy metallere (genel olarak platin veya Pt bazlı alaşımlar) dayanan elektrot malzemeleri gerektirir. Aktif karbon, karbon nanofiberler, karbon nanotüpler ve grafen gibi yüksek iletkenliğe ve yüzey alanına sahip karbon bazlı malzemeler DMFC'ler için yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Gözenekli yapısı, yüksek iyon iletkenliği, uygulamadaki pratikliği, hazırlama kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle bu araştırma için karbon bazlı malzeme olarak kalem ucu grafit (KUG) seçilmiştir [7], [8], [9]. Ayrıca, birçok iletken polimerin gözenekli yapısı ve yüksek yüzey alanı, yeni elektrokatalitik malzemelerin geliştirilmesinde destek malzemesi olarak kullanılmalarına etken olmuştur [10]- [19]. İletken polimerlerle elektrot modifikasyonunun hedefi, metanolün elektrokimyasal oksidasyonu sırasında akımın iletimini kolaylaştırmak, elektrot iletkenliğini ve seçiciliğini arttırmak, ayrıca elektrotun ara ürünlerle zehirlenmesini azaltmaktır. Metanol, CO veya HCOO<sup>-</sup> reaktif ara ürünleri yoluyla CO<sub>2</sub>'e yükseltgenebilir ve hızlı bir şekilde adsorbe edilmiş doğrusal olarak bağlı CO'nin oluşumu, Pt elektro-katalizörlerinin zehirlenmesine yol açar [20]. Bu durum yakıt pillerinin yaygın kullanımını sınırlayan en büyük etkenlerden biridir [21], [22], [23], [24]. Bazı polimerlerin yüksek elektrik iletkenliği sayesinde, metallerin iletkenliğini polimer zincirleri aracılığıyla elektrokatalitik reaksiyonun meydana geldiği elektrot/elektrolit ara yüzeyinde iletmek mümkündür. Elektrokimyasal biriktirme, metal parçacıkların hazırlanması için etkili bir yöntem olarak görülmektedir [25]. Bu çalışmada politiyofen (PTh), DMFC anodu olarak alternatif bir katalizör destek malzemesi olarak önerilmiştir. PTh iletken polimer olarak H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O'yu (Pt) nin polimer içerisine rahat dağılmasını ve taşınmasını sağlayan uygun bir ortam olduğundan , Pt, PTh ile modifiye edilmiş elektrot yüzeyine elektrokimyasal olarak biriktirildi. Sonra, destek malzemesi olarak kullanılan iletken polimer ile Pt'nin katalitik etkisini arttırmak ve daha ekonomik olması için Pt katalizör miktarının azaltılması araştırılmıştır.



Toplam reaksiyon:



Şema. 1. Pt-katalizör ve metanolün oksidasyon mekanizması

## 2. Materyal ve Yöntem

Deneyel çalışmalarda kullanılan maddeler saflaştırma işlemi yapılmadan firmalardan temin edildiği gibi kullanılmıştır. Elektrokimyasal deneyler üçlü elektrot sistemi kullanılarak

yapılmıştır. Her deneyden önce tüm elektrotlar sırasıyla saf aseton, saf etanol, son olarak da deneyde kullanılacak olan çözücüye daldırılarak "Bandelin Sonarex" marka ultrasonik banyo cihazı ile temizlenmişlerdir. Elektrokimyasal ölçümler "Gamry instruments reference 3000 potentiostat/galvanostat/ZRA system (Wilmington, USA)" cihazı ile yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar cihaza bağlı bilgisayarda kayıt edilerek "Gamry CMS-300 (version 5.50b) framework/analysis" programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tüm elektrokimyasal deneyler oda sıcaklığında, atmosfere açık ortamda yapılmıştır.

Çalışma elektrodu olarak KUG elektrot kullanılmıştır. Karşıt elektrot ve referans elektrot olarak ise sırasıyla Pt levha ve gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl) elektrotlar kullanılmıştır. Susuz ortam çalışmalarında ise referans elektrot olarak yalancı gümüş tel kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olan KUG, ticari olarak temin edilen 0,5mm Tombow kalem ucundan hazırlanmıştır. Kalem uçlarından 2,00cm'lik (0,48 cm<sup>2</sup>) yüzeyi çözelti ile temas edecek şekilde hücre içine yerleştirilmiştir.

### A. Elektrotların hazırlanması

KUG elektrot yüzeyini kaplama için aktive edilmesi için elektrokimyasal ön işlem uygulanmıştır; Monomer içermeyen çözeltide (10 ml asetonitril (ACN) + 0,50M perklorik asit (HClO<sub>4</sub>) + 0,10M tetrabutilamoniyum perklorat (TBAP)) dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi ile 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızıyla, 5 döngü olarak hazırlanmıştır.

### B. Th'in optimizasyon çalışmaları

Yakıt hücresi uygulamalarında katalizör desteği olarak kullanılacak Th monomerinin optimizasyonu dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi ile KUG yüzeyinde sentezlenmesi ile elde edilmişlerdir. En uygun polimer sentez koşullarını belirlemek için gerilim aralığı, döngü sayısı, tarama hızı ve asit miktarı optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

### Gerilim aralığı optimizasyonu

0,01M Th, 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisi içerisinde ilk olarak, +0,20 ile 1,50V gerilim aralığında 30mVs<sup>-1</sup> tarama hızı ile 10 döngülü kaplama yapılmıştır. Daha sonra başlangıç gerilimi +0,20V'da sabit tutularak son gerilimin her bir deneyde 0,10V arttırılmasıyla 2,30V'a kadar optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 1'de görülebilir.

### Tarama hızı optimizasyonu

0,01M Th, 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisi içerisinde +0,20 ile +2,20V gerilim aralığında 10, 30, 50, 100 ve 150mVs<sup>-1</sup> farklı tarama hızları uygulanarak art arda 10 döngülü kaplama ile optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 2'de görülebilir.

### Döngü sayısı optimizasyonu

0,01M Tiyofen, 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisi içerisinde +0,20 ile +2,10V gerilim aralığında, ilk olarak 50mV s-1 tarama hızı ile 10 döngülü kaplama yapılmıştır. Daha sonra döngü sayısı periyodik olarak onar onar arttırılarak 100

döngüye kadar optimizasyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 3'de görülebilir.

### Asit derişimi optimizasyonu

İlk olarak 0,01M Th, 0,10M TBAP ve 0,005M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisi içerisinde +0,20 ile +2,20V gerilim aralığında 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızı ile art arda 40 döngü kaplama yapılmıştır. Daha sonra, asit derişimi miktarı 0,01, 0,05, 0,10, 0,50 M şeklinde değiştirilerek en uygun asit derişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4'de görülebilir.

### KUG Elektrodu Üzerinde PTh filminin elektrokimyasal sentezi

Tiyofen KUG elektrot üzerinde CV yöntemi ile +0,20V ile +2,20V gerilim aralığında, 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızı uygulanarak, 40 döngülü olarak polimerleştirilmiştir. Elektropolimerizasyona ait çok döngülü voltammogram ile ilk ve son döngülere ait voltammogramlar sırasıyla Şekil 5.(a) ve 5.(b)'de verilmiştir.

### PTh Polimer Filminin elektrokimyasal karakterizasyonu

KUG, KUG/PTh elektrotların elektrokimyasal karakterizasyonu -0,30V ile +1,00V gerilim aralığında, 50 mVs<sup>-1</sup> tarama hızıyla tek döngülü olarak 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisi içerisinde CV yöntemi ile karşılaştırmalı olarak yapılmıştır (Şekil 6).

### Pt Katalizörü Optimizasyonu

Metanol oksidasyonu için destek polimer ile birlikte kullanılacak en uygun katalizör (Pt) miktarı belirlenmiştir. Bu amaçla; Th kaplı elektrotların yüzeyinde 3mM H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O, 10ml saf su+ 0,50M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızı ile 25 döngü alınarak Pt katkılanmıştır. H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>.6H<sub>2</sub>O miktarı 3,25, 3,50 ve 3,75mM şeklinde değiştirilerek, Pt katkılı farklı elektrotlar elde edilmiştir. KUG/3mMPt@PTh, KUG/3,25mMPt@PTh, KUG/3,50mMPt@PTh, KUG/3,75mMPt@PTh, elektrotlarının 10ml saf su+ 0,50M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+ 0,50M CH<sub>3</sub>OH çözeltisi içerisinde 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızı ile tek döngülü voltammogramları alınmıştır. Böylece elektrokimyasal karakterizasyon analizi yapılarak en uygun katalizör derişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla grafiksel olarak şekil 5.'de görülebilir.

### Modifiye elektrotların metanol oksidasyon performanslarının karşılaştırması

Modifiye edilen elektrotların, CH<sub>3</sub>OH içeren 0,05M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulu çözeltisi içerisindeki, elektrokimyasal davranışları üç farklı elektrokimyasal yöntemle araştırılmıştır.

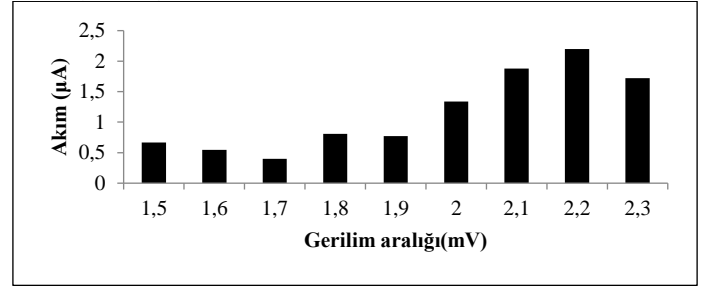
### Modifiye elektrotların SEM-EDS analizleri

İlgili mikrograflar x500 büyütmede, Hitachi Regulus 8230 FE-SEM taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiştir.

## Bulgular

### Gerilim aralığı optimizasyonu sonuçları

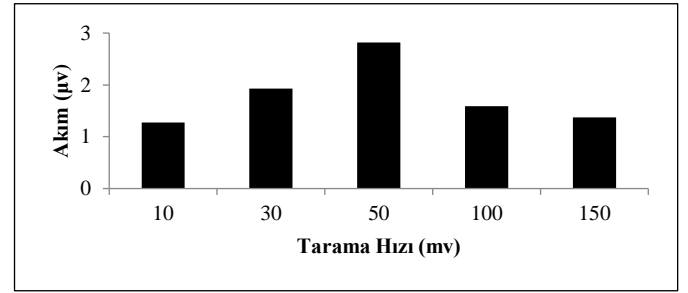
En uygun gerilim aralığı +0,20V ile +2,20V olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak şekil 1'de görülebilir.



Şekil 1. Politiyofen filmi oluşumuna gerilim aralığının etkisi

### Tarama hızı optimizasyonu sonuçları

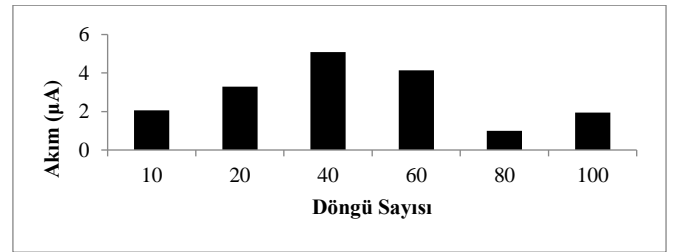
Farklı tarama hızları ile elde edilen KUG/PTh elektrotların 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisinde 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızında tek döngülü voltammogramları alınmıştır. En uygun tarama hızı 50 mVs<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak şekil 2'de görülebilir.



Şekil 2. Politiyofen filmi oluşumuna tarama hızının etkisi

### Döngü sayısı optimizasyonu sonuçları

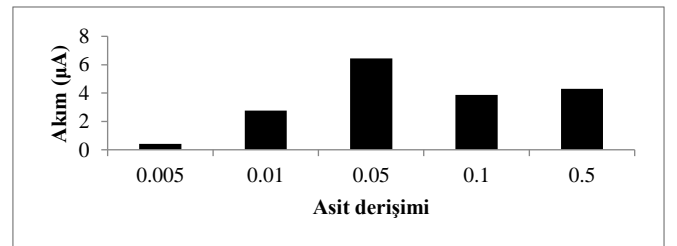
Farklı döngü sayıları (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) ile elde edilen KUG/PTh elektrotların 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisinde 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızında tek döngülü voltammogramları alınmıştır. En uygun döngü sayısı 40 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak şekil 3'de görülebilir.



Şekil 3. Politiyofen filmi oluşumuna döngü sayısı etkisi

### Asit derişimi optimizasyonu sonuçları

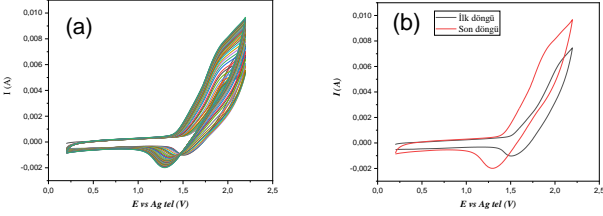
Farklı asit derişimleri ile elde edilen KUG/PTh elektrotların 0,10M TBAP ve 0,05M HClO<sub>4</sub> içeren 10 ml ACN çözeltisinde 50mVs<sup>-1</sup> tarama hızında tek döngülü voltammogramları alınmıştır. En uygun HClO<sub>4</sub> derişimi 0,05M olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4'de görülebilir.



Şekil 4. Politiyofen filmi oluşumuna asit derişimi etkisi

## KUG Elektrodu Üzerinde PTh filminin elektrokimyasal sentezi sonuçları

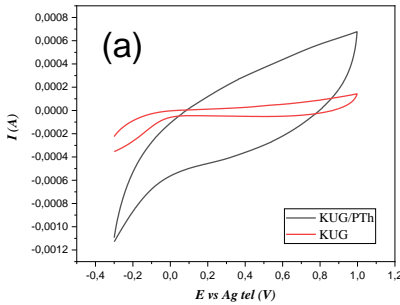
Th'ı KUG elektrot yüzeyinde optimum şartlar belirlendikten sonra polimer filmini 10 ml ACN çözeltisi içerisinde +0,20 ile +2,20V gerilim aralığında 50mVs-1 tarama hızı ile art arda 40 döngü kaplama yapılmıştır. Elektropolimerizasyona ait çok döngülü voltammogram ile ilk ve son döngülere ait voltammogramlar sırasıyla Şekil 5.(a) ve 5.(b)'de verilmiştir.



Şekil 5. Tiyofen polimer filminin elektrokimyasal sentezi (a) çok döngülü voltammogram , (b) polimerizasyon voltammogramının ilk ve son döngüsü

## PTh Polimer Filminin elektrokimyasal karakterizasyon sonucu

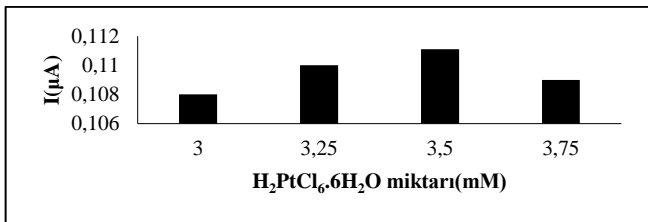
Voltammogramlar incelendiğinde, polimer filmi ile kaplı elektrotun, kaplanmasız elektroda göre daha yüksek akım değerine sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, KUG/PTh elektrodunun yüzey alanı kaplanmamış KUG elektrodun yüzey alanından, daha geniş yüzey alanına dolayısıyla daha yüksek elektriksel iletkenlik ve spesifik kapasitans değerlerinde sahip olduğu söylenebilir [13]. İlgili voltammogramlar Şekil 6'da görülebilmektedir.



Şekil 6. KUG/PTh elektrodun elektrokimyasal karakterizasyonuna ait tek döngülü voltammogramı

## Pt katalizörü optimizasyonu sonuçları

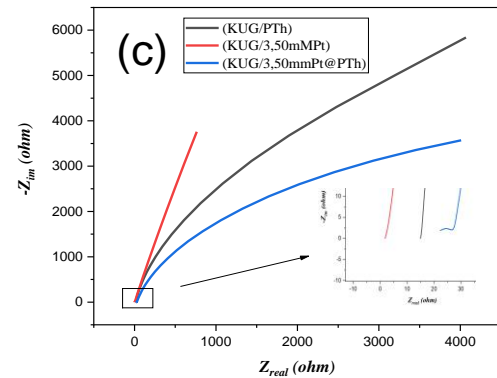
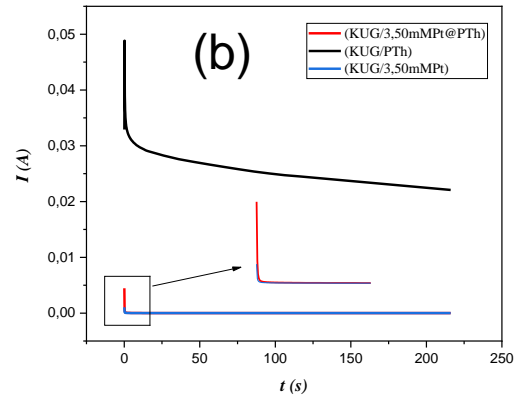
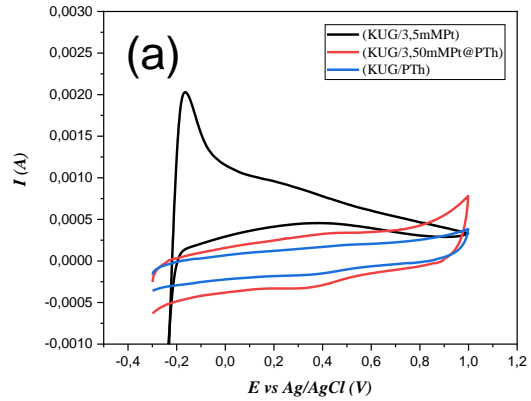
Elde edilen Pt katkılı elektrotların (KUG/3mMPt@PTh, KUG/3,25mMPt@PTh, KUG/3,50mMPt@PTh, KUG/3,75mMPt@PTh) tek döngülü voltammogramları 10ml saf su+ 0,50M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> içerisinde, 50mVs-1 tarama hızında alınmıştır. En uygun katalizör derişimi 3,50mM, olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. KUG/Pt@PTh modifiye elektrot üzerine katalizör derişiminin etkisi

## Modifiye elektrotların metanol oksidasyon performanslarının karşılaştırmasının sonuçları

Modifiye elektrotların metanol oksidasyon performanslarının, 0,50M CH<sub>3</sub>OH içeren 0,05M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulu çözeltisi içerisinde -0,30- 1,00V potansiyel aralığında, 50mVs-1 tarama hızı ile alınan tek döngülü voltammogramları Şekil 5.8a'da verilmiştir. Modifiye elektrotların metanol oksidasyon performanslarının, 0,50 M CH<sub>3</sub>OH içeren 0,05M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulu çözeltisi içerisinde 0,50 V sabit gerilimde, 300 sn süresince alınan kronoamperogramları Şekil 8b'de verilmiştir. Modifiye elektrotların metanol oksidasyon performansları 0,50M CH<sub>3</sub>OH içeren 0,05M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulu çözeltisi içerisinde 10-2- 104 Hz frekans aralığındaki EIS'larının "Nyquist" grafikleri Şekil 8c'de verilmiştir.



Şekil 8. 0,50 M CH<sub>3</sub>OH içeren 0,05 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulu çözeltisi içerisindeki modifiye elektrotların (a) voltammogramları, (b) kronoamperogramları, (c) Nyquist eğrileri

## Tartışma

Tiyofen KUG üzerinde CV yöntemiyle yükselttiğinde (Şekil 5) ilk döngüde iki adet yükseltgenme piki görülmektedir. İlk pik +1,60V civarında (+1,8mA akımında) ve ikincisi ise +2,00V civarındadır (+5,63mA akımında). İndirgenme piki ise +1,50V civarında (-1,023mA akımında) gözlenmiştir. Son döngüye doğru ilk yükseltgenme piki yayvanlaşıp sonunda kaybolurken, ikinci yükseltgenme piki +1,80V civarında(+7,26mA akımında) görülmektedir. İndirgenme piki de +1,30V'a kayarak (-1,90mA akımında) döngü sonlanmıştır. Yükseltgenme ve indirgenme piklerinde akımın artışı PTh filminin KUG yüzeyinde başarılı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir.

Voltammogramlar incelendiğinde, polimer filmi ile kaplı elektrodun, kaplamasız elektroda göre daha yüksek akım değerine sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, KUG/PTh elektrodun yüzey alanı kaplanmamış KUG elektrottan, daha geniş yüzey alanına dolayısıyla daha yüksek elektriksel iletkenlik ve spesifik kapasitans değerlerinde sahip olduğu söylenebilir [26].

Metanol oksidasyon performanslarına ait tek döngülü voltammogramlar (Şekil 8.(a)) incelendiğinde KUG/3,50mMPt@PTh sistemine ait voltammogramda CO<sub>2</sub>'e ait pik akımı en yüksektir. Diğer sistemlerde literatürde de belirtildiği üzere +0,60 ile +0,80V potansiyel aralığı civarında gözlenen CO<sub>2</sub>'e ait belirgin pike dahi rastlanmamaktadır.

Şekil 8.(b)'de kronoamperometri yöntemi sonucunda elde edilen, iletken polimer destekli katalizör sistem sadece Pt ve sadece iletken polimer ile modifiye edilmiş KUG elektrotların kronoamperogramları karşılaştırıldığında, akımın başlangıçta her üç elektrot için hızla düştüğü kısa bir süre sonra ise sabitlendiği görülmektedir. Ani akım düşüşü CO gibi ara ürünlerin oluşumu ile açıklanabilmektedir. KUG/PTh modifiye elektrodun daha yüksek akımda sabitlenmesi CO zehirlenmesine karşı daha yüksek tolerans sınırında olduğunu gösterir [27].

Modifiye edilmiş elektrot sistemlerinin EIS ölçümlerinden elde edilen Nyquist grafikleri (Şekil 8.(c)) incelendiğinde KUG/PTh, KUG/3,50mMPt sistemlerine ait Nyquist grafiklerinde yüksek frekans bölgesinde yarım daire gözlenmemektedir. Düşük frekans bölgesinde elde edilen cevap ise sistemin difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir. Fakat KUG/3,50mMPt@PTh grafiğinde yüksek frekans bölgesinde yarım daire gözlendiği için kinetik reaksiyonların da gerçekleştiğine işaret etmektedir.

Ayrıca modifiye edilen elektrotların 0,50M metanol içeren 0,50M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde alınan tek döngülü voltammogramların integrasyonundan elde edilen verilerin kullanılmasıyla teorik olarak elektrokimyasal aktif yüzey alanı (ECSA) değerleri hesaplanmıştır. Voltammogramlardan okunabilen hidrojenin atomik adsorpsiyonu, katalizörlerin yüzey alanını tahmin etmek için kullanılmıştır. Ag/AgCl'ye karşı -0,15V ve 0,20V gerilim aralığında görülen katodik ve anodik tepe noktaları, asidik ortamda H-adsorpsiyonundan ve H-desorpsiyonundan kaynaklanır. H-desorpsiyon QH için geçen yük kullanılarak, polimer destekli katalizörün ECSA değerleri hesaplanarak sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir [28].

$$ECSA = \frac{Q_H}{mc} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Bu formülde QH, hidrojen desorpsiyonunun yükü (mCcm<sup>-2</sup>), m, elektrottaki katalizör ağırlığı (mgcm<sup>-2</sup>) ve c, polimer destekli katalizörün üzerinde tek bir hidrojen tabakasını oksitlemek için gereken yüküdür.

Tablo 1. Modifiye elektrotlar için hesaplanan ECSA değerleri

Modifiye Elektrot sistemi	KUG elektrodu için hesaplanan ECSA değeri (m <sup>2</sup> /g)
3mMPt@PTh	0,030
3,25mMPt@PTh	0,692
3,50mMPt@PTh	1,170
3,75mMPt@PTh	0,170

Modifiye edilen elektrotların 0,50 M CH<sub>3</sub>OH içeren 0,50 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulu çözeltisi içerisinde elde edilen Nyquist grafiklerinden teorik olarak spesifik kapasitans (Cs) değerleri hesaplanmıştır. Bu grafiklerden elde edilen frekans değerinden hesaplanan 1/(2πf) değerine karşı çizilen Zim grafiğinden elde edilen eğimin tersi kapasitans değerini vermektedir [29]. Sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

$$C_s = -\frac{1}{2\pi f Z_{im} m} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Modifiye edilen elektrot	KUG elektrodu için hesaplanan C <sub>s</sub> değeri (F g <sup>-1</sup> )
KUG/PTh	0,366
KUG/3mMPt@PTh	0,439
KUG/3,25mMPt@PTh	2,115
KUG/3,50mMPt@PTh	3,277
KUG/3,75mMPt@PTh	1,258
KUG/3,50mMPt	0,475

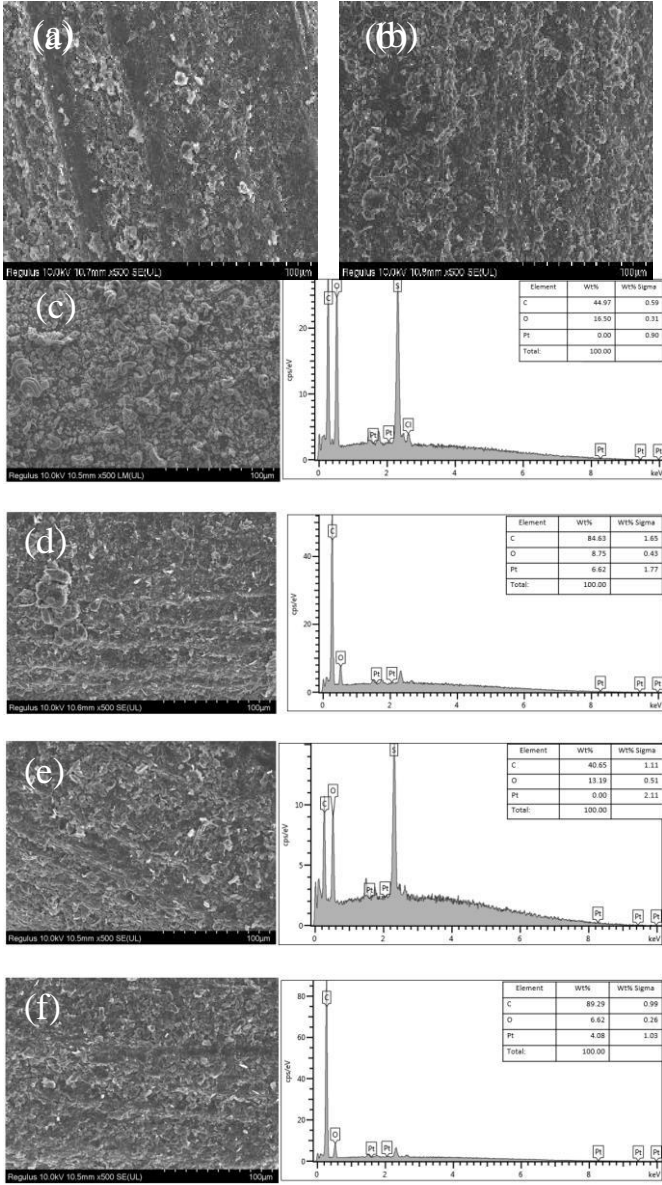
Tablo 1'de elde edilen ECSA değerleri karşılaştırıldığında, 3,50mM Pt katkılı Th ile modifiye edilmiş KUG elektrodun ECSA değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Metanol yakıt hücreleri enerji depolama sistemlerinden biri olarak şarj esansında ne kadar yük depolayabiliyorsa deşarj durumunda da o kadar yük aktarma gücüne sahip olacaktır. Dolayısıyla hücrenin kapasitansın yüksek olması enerji depolama sistemleri için bir avantajdır. Tablo 2 incelendiğinde elde edilen modifiye elektrotlardan

KUG/3,50mMPt@PTh spesifik kapasitansı en yüksektir. Hesaplanan sonuçlar, deneysel yöntemlerle elde edilen sonuçlarla uyumludur.

## Modifiye elektrotların SEM-EDS analiz sonuçları

Şekil 9, KUG, KUG/PTh, KUG/3mMPt@PTh, KUG/3,25mMPt@PTh, KUG/3,50mMPt@PTh, KUG/3,75mMPt@PTh elektrotlarının SEM mikrogramları ile EDS analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 9. (a) KUG, (b) KUG/PTh SEM mikrografları

(c) KUG/3mMPt@PTh

(d) KUG/3,25mMPt@PTh, (e) KUG/3,50mMPt@PTh

(f) KUG/3,75mMPt@PTh modifiye elektrot sistemlerinin SEM mikrografları ve EDS sonuçları

Şekil 9.(a) kaplanmamış KUG elektrotun SEM mikro rafi olup, KUG elektrot PTh ve farklı miktarlarda Pt katkılı PTh filmleri ile kaplandığında aynı büyütmede elde edilen EM mikrograf görüntüsü değişmektedir. PTh kaplandığında KUG elektrot yüzeyinin daha homojen bir görüntüye ulaştığı görülmektedir. SEM mikrogramlarında PTh filmi üzerine 3, 3,25, 3,50 ve 3,75mM Pt elektrokimyasal olarak katkılı olduğunda ise filimlerin gözeneklerinde birikmiş olan Pt'den kaynaklandığı düşünülen beyaz parlak partiküller görülmektedir. Yapılan EDS analiz sonuçları da bu görüşü desteklemektedir. Katkılanan derişim miktarlarına göre PTh'in gözenekleri içersindeki Pt yüzde miktarının da arttığı ancak 3,75mM katkılanan PTh filminde yüzde miktarının düşüşe geçtiği nitel olarak görülmektedir. EDS analizinden elde edilen sonuçlar, metanol elektro-oksidasyonu için elektrokimyasal olarak hesaplanan teorik sonuçlar ile paralel olup birbirini desteklemektedir.

## SONUÇLAR

Elektrokimyasal yöntem ile modifiye edilen elektrotların, metanol oksidasyon aktiviteleri karşılaştırılmıştır. İlk olarak politiyofen tek başına katalizör olarak kullanımı araştırılmıştır. Sonra bu iletken polimer metal bir katalizör (Pt) için destek malzemesi olarak kullanılıp, performansı incelenmiştir. Ayrıca, kapsamlı bir karşılaştırma yapabilmek için Pt'nin tek başına katalizör olarak metanol oksidasyon etkinliği de araştırılmıştır. Hazırlanan modifiye elektrot sistemlerinin metanolün oksidasyonu üzerine etkisi, CV, CHR ve EIS yöntemleri ile incelenmiştir. İletken polimer filimi ve Pt tek başlarına katalizör olarak kullanıldıklarında metanol oksidasyonu cevapları hemen hemen benzer olduğu halde, iletken polimer filimleri Pt için destek olarak kullanıldığında, oldukça yüksek metanol oksidasyon cevabı vermektedir.

CV ve EIS yöntemlerinden elde edilen verilere göre sırasıyla teorik olarak ECSA ve Cs değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek ECSA ve Cs değerleri sırasıyla 1,170cm<sup>2</sup>/gr ve 3,277Fg<sup>-1</sup>olup KUG/3,50mMPt@PTh elektroduna aittirler.

Modifiye elektrot sistemlerinin enerji depolama kapasitesi ile ilgili olan Cs değerinin ilk kez bu çalışmada EIS analiz sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, metanol yakıt pilleri üzerine gelecekte yapılacak araştırmalar için literatüre yeni bir öneri olarak kabul edilebilir.

## Teşekkür

Bu araştırma tez çalışması kapsamında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje birimi tarafından (2019-2990) desteklenmiştir. Araştırmaların yürütülebilmesinde gerekli olan kimyasal ve cam malzemelerin alınmasında sundukları maddi kaynak için BAP birimine teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

- [1]. Overview on the application of direct methanol fuel cell (DMFC) for portable electronic devices S.K. Kamarudina,b,\* , F. Achmada, W.R.W. Dauda). (Cacciola, G., V. Antonucci, and S. Freni. "Technology up date and new strategies on fuel cells." *Journal of power sources* 100.1-2 (2001): 67-79
- [2]. Andújar, José Manuel, and Francisca Segura. "Fuel cells: History and updating. A walk along two centuries." *Renewable and sustainable energy reviews* 13.9 (2009): 2309-2322
- [3]. Verma, L. K. "Studies on methanol fuel cell." *Journal of power sources* 86.1-2 (2000): 464-468
- [4]. Spătaru, Tanța, et al. "Platinum-polytyramine composite material with improved performances for methanol oxidation." *Journal of Solid State Electrochemistry* 15.6 (2011): 1149-1157.
- [5]. Zainoodin, A. M., S. K. Kamarudin, and W. R. W. Daud. "Electrode in direct methanol fuel cells." *International Journal of Hydrogen Energy* 35.10 (2010): 4606-4621
- [6]. Moussa, Mahmoud, et al. "Recent progress and performance evaluation for polyaniline/graphene nanocomposites as supercapacitor electrodes." *Nanotechnology* 27.44 (2016): 442001.
- [7]. Kiliç, Ramis, Evrim Hür, and Andaç Arslan. "Poly (1, 5-diaminonaphthalene) films for supercapacitor electrode materials: effect of electropolymerization technique on

- specific capacitance." *Chemical Papers* 71.7 (2017): 1311-1321
- [8]. Arslan, Andac, Deniz Hür, and Evrim Hür. "Novel poly (2-(6-(5-oxo-4-(thiophen-2-ylmethylene)-4, 5-dihydrooxazol-2-yl)naphthalen-2-yl)-4-(thiophen-2-ylmethylene) oxazol-5 (4H)-one): Synthesis, electrochemical polymerization and characterization of its super capacitive properties." *Synthetic Metals* 257 (2019): 116166
- [9]. Hür, Evrim, Görkem Ali Varol, and Andaç Arslan. "The study of polythiophene, poly (3-methylthiophene) and poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) on pencil graphite electrode as an electrode active material for supercapacitor applications." *Synthetic metals* 184 (2013): 16-22
- [10]. Arico, A. S., et al. "Investigation of direct methanol fuel cells based on unsupported Pt–Ru anode catalysts with different chemical properties." *Electrochimica Acta* 45.25-26 (2000): 4319-4328.
- [11]. Surampudi, S., et al. "Advances in direct oxidation methanol fuel cells." *Across Conventional Lines: Selected Papers of George A Olah Volume 2*. 2003. 1226-1234.
- [12]. Breiter, M. W. "On the nature of reduced carbon dioxide." *Electrochimica Acta* 12.9 (1967): 1213-1218.
- [13]. Lee, J. S., et al. "Performance and impedance under various catalyst layer thicknesses in DMFC." *Electrochimica acta* 50.2-3 (2004): 807-810.
- [14]. Raghuvver, V., and A. Manthiram. "Mesoporous carbons with controlled porosity as an electrocatalytic support for methanol oxidation." *Journal of the Electrochemical Society* 152.8 (2005): A1504.
- [15]. Weidlich, C., K-M. Mangold, and K. Jüttner. "EQCM study of the ion exchange behaviour of polypyrrole with different counterions in different electrolytes." *Electrochimica Acta* 50.7-8 (2005): 1547-1552.
- [16]. Kitani, Akira, et al. "Electrocatalytic oxidation of methanol on platinum modified polyaniline electrodes." *Synthetic metals* 121.1 (2001): 1301-1302.
- [17]. Liu, Feng-Jiin, et al. "Large-area network of polyaniline nanowires supported platinum nanocatalysts for methanol oxidation." *Synthetic Metals* 157.16-17 (2007): 651-658.
- [18]. Kost, Kent M., et al. "Electrodeposition of platinum microparticles into polyaniline films with electrocatalytic applications." *Analytical Chemistry* 60.21 (1988): 2379-2384.
- [19]. Rajesh, Bashyam, et al. "Conducting polymeric nanotubules as high performance methanol oxidation catalyst support." *Chemical communications* 16 (2003): 2022-2023.
- [20]. Baldauf, M., and W. Preidel. "Status of the development of a direct methanol fuel cell." *Journal of Power Sources* 84.2 (1999): 161-166.
- [21]. Y.X. Chen, A. Miki, S. Ye, H. Sakai, M. Osawa J. Am. Chem. Soc., 125 (2003), p. 3680
- [22]. Y. Zhu, H. Uchida, T. Yajima, M. Watanabe Langmuir, 17 (2001), p. 146
- [23]. E. Herrero, W. Chrzanowski, A. Wieckowski J. Phys. Chem. B, 99 (1995), p. 10423
- [24]. Wu, Gang, Li Li, and Bo-Qing Xu. "Effect of electrochemical polarization of PtRu/C catalysts on methanol electrooxidation." *Electrochimica Acta* 50.1 (2004): 1-10.
- [25]. Domínguez-Domínguez, Sonia, et al. "Electrochemical deposition of platinum nanoparticles on different carbon supports and conducting polymers." *Journal of Applied Electrochemistry* 38.2 (2008): 259-268.
- [26]. Li, S.M., Wang, Y.S., Yang, S.Y., Liu, C.H., Chang, K.H., Tien, H.W., Wen, N.T., Ma, C.C.M. and Hu, C.C., 2013. Electrochemical deposition of nanostructured manganese oxide on hierarchically porous graphene–carbon nanotube structure for ultrahigh-performance electrochemical capacitors. *Journal of power sources*, 225, pp.347-355.
- [27]. Prabakar, S.R., Kim, Y., Jeong, J., Jeong, S., Lah, M.S. and Pyo, M., 2016. Graphite oxide as an efficient and robust support for Pt nanoparticles in electrocatalytic methanol oxidation. *Electrochimica Acta*, 188, pp.472-479.
- Prater, Keith B. "Polymer electrolyte fuel cells: a review of recent developments." *Journal of Power Sources* 51.1-2 (1994):129-14
- [28]. Chen, Z., Xu, L., Li, W., Waje, M. and Yan, Y., 2006. Polyaniline nanofibre supported platinum nanoelectrocatalysts for direct methanol fuel cells. *Nanotechnology*, 17(20), p.5254.
- [29]. Snook, G. A., Kao, P., & Best, A. S. (2011). Conducting-polymer-based supercapacitor devices and electrodes. *Journal of power sources*, 196(1), 1-12.



# The Effect of Cylindrical Twisting Process on Material in Transition Cone Manufacturing Used in Aluminum Fuel Tankers

Furkan Salman<sup>1\*</sup>, Emin Emre Göktepe<sup>2</sup>, Erhan Duru<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2664-0383), [furkan.salman@kaessbohrer.com](mailto:furkan.salman@kaessbohrer.com)

<sup>2</sup> Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, ORCID: 0000-0003-0292-578X), [emre.goktepe@kaessbohrer.com](mailto:emre.goktepe@kaessbohrer.com)

<sup>3</sup> Sakarya University, Faculty of Engineering Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6205-6566), [erhanduru@sakarya.edu.tr](mailto:erhanduru@sakarya.edu.tr)

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1097338)

**ATIF/REFERENCE:** Salman, F., Göktepe, E.E. & Erdoğan, E.D. (2022). The Effect of Cylindrical Twisting Process on Material in Transition Cone Manufacturing Used in Aluminum Fuel Tankers. *European Journal of Science and Technology*, (34), 819-823.

## Abstract

While many materials are used in transportation, aluminum and its alloys have become one of the leading materials of the sector for fuel tankers. Thanks to the development of technology, the mechanical properties of aluminum materials have been greatly improved, and the use of aluminum in such applications has increased. Especially 5000 series aluminum alloys have a significant place in the sector. In this research, the effect of the cylindrical twisting process on the material in the transition cone manufacturing of fuel tankers was observed. 0°, 45° and 90° samples were taken to the rolling direction of the 5182 alloy used in the cylindrical bending process. Tensile and three-point bending tests, macro, micro hardness measurements and microstructure examinations of these samples were carried out. Microstructures before and after drawing were examined by scanning electron microscope (SEM). As a result of the tensile test, the highest tensile resistance of 286 MPa was observed for the materials in the 90° direction. In the three-point bending tests, the highest resistance with 358 MPa was observed in the materials in the 90° direction. The average Brinell hardnesses of three different materials were measured as 65.7, 64.8 and 65.1 HB, respectively, and the Vickers hardnesses were measured as 78.9, 79.04 and 79.1 HV.

**Keywords:** Aluminum, Rolling, Tensile Test, Three-Point Bending Test

## Alüminyum Akaryakıt Tankerlerinde Kullanılan Geçiş Konisi İmalatındaki Silindirik Büküm Prosesinin Malzeme Üzerine Etkisi

### Öz

Taşımacılıkta pek çok malzeme kullanılırken akaryakıt tankerleri için alüminyum ve alaşımları sektörün öncü malzemelerinden biri olmuştur. Teknolojinin gelişmesi sayesinde alüminyum malzemelerin mekanik özellikleri oldukça iyileştirildiğinden alüminyumlarında bu tip uygulamalarda kullanımın artmasını sağlamıştır. Özellikle 5000 serisi alüminyum alaşımları sektörde önemli bir yere sahiptir. Bu araştırmada akaryakıt tankerlerinin geçiş konisi imalatındaki silindirik büküm prosesinin malzeme üzerine etkisini gözlemlenmiştir. Silindirik büküm prosesinde kullanılan 5182 alaşımının hadde yönüne 0°, 45° ve 90° numuneler alınmıştır. Bu numunelerin çekme, ve üç nokta eğme testleri, makro, mikro sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Çekme öncesi ve sonrası mikro yapılar taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Çekme testi sonucunda 90 ° yönündeki malzemelerde 286 MPa ile en yüksek çekme mukavemeti görülmüştür. Üç noktalı eğme testlerinde 358 MPa ile en yüksek dayanım yine 90° yönündeki malzemelerde görülmüştür. Üç farklı malzemenin ortalama Brinell sertlikleri sırasıyla 65.7, 64.8 ve 65.1 HB, Vickers sertlikleri ise 78.9, 79.04 ve 79.1 HV olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Hadde, Çekme Testi, 3 Noktalı Eğme Testi

\* Corresponding Author: [furkan.salman@kaessbohrer.com](mailto:furkan.salman@kaessbohrer.com)

# 1. Introduction

With the Industrial Revolution, the need for oil is increasing day by day due to the development of the oil industry and oil-related production industries. At the same time, the need for the logistics of these products has increased. In the field of logistics, fuel tankers are used to transport such oil and its derivatives. Fuel tankers are considered as vehicles under ADR status due to the transportation of flammable and explosive products. ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road), is a directive designed to ensure the safe and orderly transport of dangerous goods on public roads without harming human health and the environment, and also determines the responsibilities, obligations and working conditions of the unloader. The documents and certificates obtained under this regulation for the packers, carriers, operators and drivers of various vehicles carrying hazardous goods are called ADR documents. These vehicles must be arranged in accordance with ADR legislation and must also be driven by drivers with ADR certificate.[1]

The global automotive industry faces challenges in several key areas, including energy, emissions, safety and affordability.[2] Many major decisions and practices are taken to handle these challenges. Particularly, in order to avoid these disadvantages, interest and research on material technologies has increased. Many disadvantages have been reduced to minor levels by improving the materials and developing more efficient materials that can replace existing materials. Steel and its derivatives were generally preferred for the first vehicles used in the automotive and transportation sectors. Although similar materials are used for fuel tankers, aluminum and its alloys have become one of the leading materials of the industry today. Aluminum alloy has started to be preferred as an alternative to steel, iron and other metals for the lightening of vehicles, due to its high specific strength, high hardness, low density, good energy absorption and strong corrosion resistance. 5xxx aluminum alloy is an emerging lightweight material and heat treatable reinforced alloy widely applied in the automotive manufacturing industry. [3,4] Some of the features that make this aluminum a pioneer in terms of fuel tankers; It provides a lower final weight of the structure since it has a low density, does not interact with fuel derivatives such as gasoline and diesel, does not create sparks during an accident and provides increased safety with its high impact absorbing capacity. At the same time, the fact that it is an environmentally friendly material with a 100% recycling rate increases the interest in the material.

Metal alloys formed into flat plates with thicknesses ranging from 0.1 mm to 25 mm are called 'sheet'. Sheet materials are products that have been made flat by hot or cold rolling method, which is one of the plastic forming processes from blocks called billets (ingots). The sheets, which are alloyed according to the final user's request and have thickness values, are presented for use in the form of rolls or sheets of certain sizes.

Aluminum sheet products are used in many areas in industry. Due to the increasing demand in aluminum sheets, especially in the mold and automotive sector, aluminum sheet material shaping studies have gained great significance. [5] Aluminum materials in industry are preferred because of their low carbon footprint, compliance with legal regulations, 1/3 weight gain compared to steel, high damping behavior against impacts, fuel savings and their contribution to cost improvements. The underlying reason

for their use in fuel tankers is their lightness and high strength, as well as the fact that they do not react with gasoline and diesel and do not create sparks.

# 2. Material and Method

## 2.1. Production Of Aluminum Alloys

In this study, the change of mechanical properties of 5182 series aluminum alloys used in the construction of fuel transport tankers, depending on the rolling direction, was examined. The transition cone which is present in fuel vehicles is demonstrated in Figure 1. The aluminum alloy used in this study was produced in 6 mm thick flat sheets by the Twin Roll Casting (TRC) method. The chemical composition of the alloy is given in Chart 1. Samples were taken from these plates from 0°, 45° and 90° directions to the rolling direction and their mechanical properties were examined comparatively. Figure 2 shows where the samples were taken from the plate.

Table 1. 5182 Chemical Composition of Aluminum Sample.

Chemical Composition (%)								
Mg	Mn	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Ni
3,80-4,80	0,2-0,5	Max. 0,4	Max. 0,4	Max. 0,25	Max. 0,15	Max. 0,4	Max. 0,15	Max. 0,4

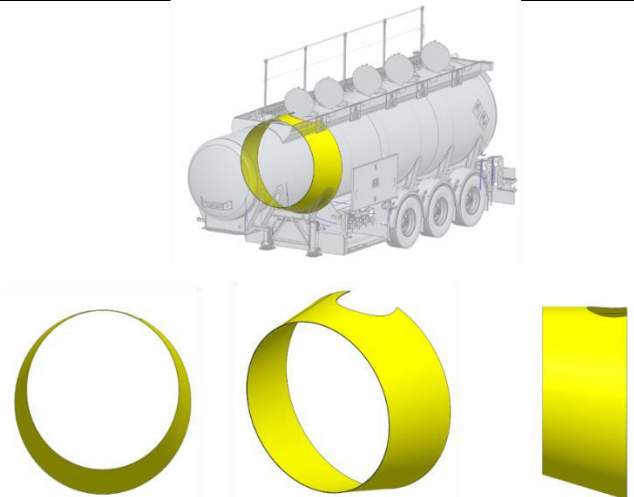


Figure 1. Transition Cone in Fuel Tankers

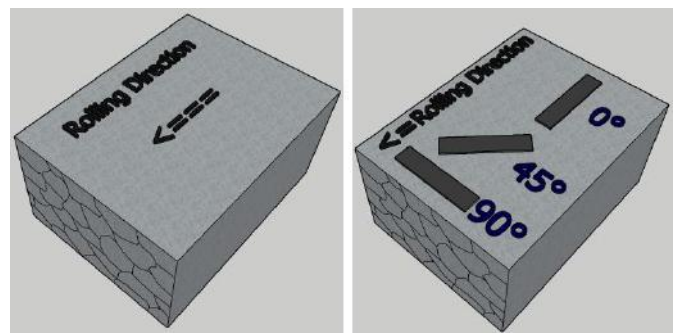


Figure 2. Rolling Direction of the Plate and Samples Extracted from 0°, 45° and 90° Directions According to the Rolling Direction.



When evaluating the mechanical properties of metals, it is assumed that they are not directional (isotropic). However, since the rolling method causes plastic deformation in flattened products, elongation is observed in the shapes of the grains along the rolling direction. For this reason, the material does not show the same features in all directions, this situation is called anisotropy. In this article, the effect of anisotropy originating from the rolling direction on the twisting process will be examined.

In fuel tankers, there are height differences between the tractor and the junction point and the axle. This structure, which is called the gooseneck in body/platform type trailers, is designed with a cone-shaped transition at the junction point of the cylindrical section and tank section at the rear and the high tractor at the front in order to achieve optimum volume in tankers. This part, which is called the intermediate cone, is in the form of an off-axis cone by design. As an intermediate cone manufacturing method, the sheet metal is cut with CNC plasma in a predetermined shape and bent with the three-point cylinder bending method.

## 2.2.Characterization Studies

Microstructures of the samples extracted from three different directions were visualized by JEOL brand scanning electron microscope (SEM). For microstructural studies, the samples were subjected to appropriate metallographic processes and etched with Keller's solution. Images of the samples were taken on the 3367 device according to ASTM-E8 standards. Three-point bending tests were also conducted on the Instron 3367 model device. Samples for tensile and three-point tests were prepared according to standards and 3 samples were used for each parameter. The hardness of the samples was measured from the cross section, the hardness of the core of the sample was measured. Brinell hardness measurements were made under a 67.5 kg load, by taking 5 as hardness value. Vickers hardness measurements were carried out by applying 50 grams of load for 10 seconds and making 5 measurements. Finally, the mean and standard deviations of 5 measurements in hardnesses were calculated.

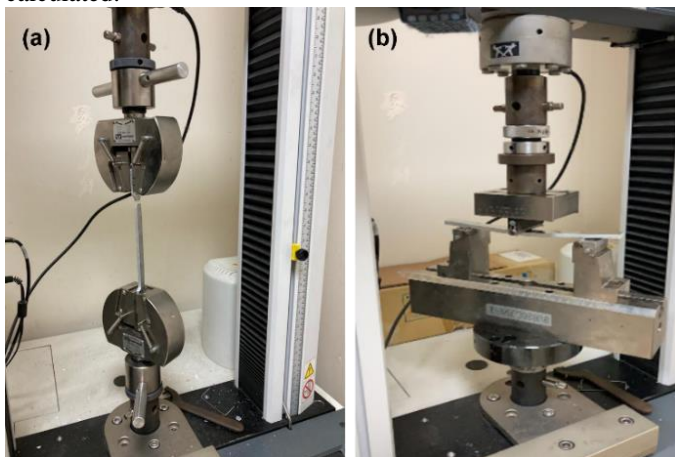


Figure 3. Tensile Test and 3-Point Bend Test

## 3. Results

The microstructure images taken by scanning electron microscope (SEM) of the samples taken from 0°, 45° and 90° directions with respect to the rolling direction are given in Figure 4. In Figure 4a, the microstructure image of the material in the 0° direction is given. In samples in the 0° direction, the grains are

usually large in size and the coarsest grain size is about 70 μm. The microstructure of the samples in the 45° direction is given in Figure 4b. The grain size of the samples in the 45° direction is smaller compared to the samples in the 0° direction. The microstructure images of the sample taken from the 90° direction with respect to the rolling direction are given in Figure 4c.

The average macro and micro hardness values of the samples taken from three different directions according to the rolling direction are given in Figure 5. Brinell (HB) method was preferred for macro hardness and Vickers (HV) method was chosen for micro hardness. The average macrohardness values of the samples taken from 0°, 45° and 90° directions were measured as 65.7, 64.8, 65.1 HB, and the average microhardness value as 78.9, 79.0 and 79.1 HV, respectively.

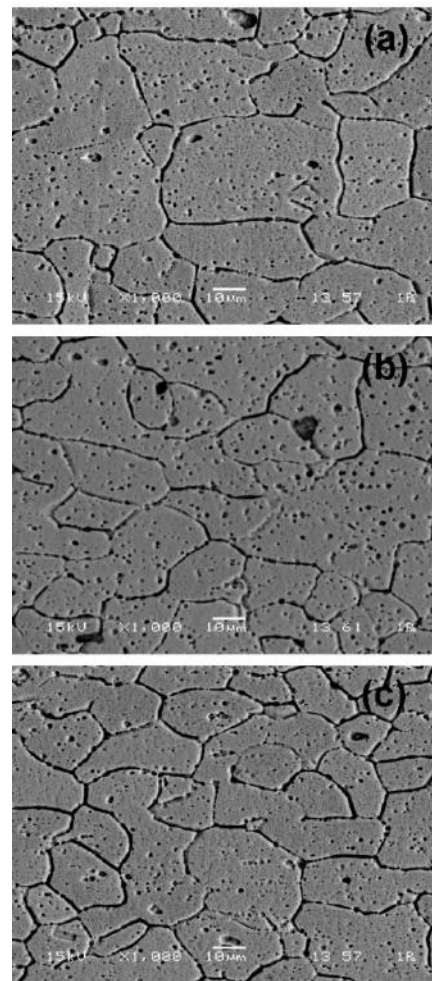


Figure 4. Test Sectional Microstructure View of Samples Cut from Three Different Angles; (a) 0°, (b) 45° and (c) 90°

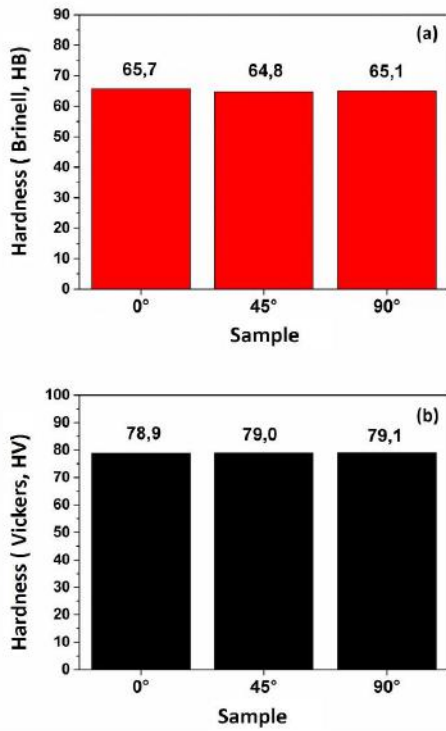


Figure 5. Macro Hardness and Micro Hardness Values Taken from the Samples

Tensile and three-point bending tests were carried out in order to compare the mechanical properties of the samples taken from different directions in accordance with the rolling direction. The images of the samples after the tensile and three-point bending tests are given in Figure 6. The stress-strain graphs obtained as a result of the tensile tests of the samples taken from 0°, 45° and 90° directions are given in Figure 7. The yield strength of the sample in the 0° direction is 165 MPa and its tensile strength is 272 MPa. The yield and tensile strengths of the sample in the 45° direction were 170 MPa and 278 MPa, respectively. The yield strength of the sample in the 90° direction was calculated as 180 MPa, and the tensile strength was calculated as 286 MPa. Among the samples taken from three different directions, the sample in the 90° direction has the highest yield and tensile strength. It was observed that the sample in the 0° direction had the lowest yield and tensile strength.

Table 2. Mechanical Results of 5182 Aluminum Sample

Sample	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Tensile Force (N)	% Elongation (mm/mm)
0°	165	272	16320	22
45°	170	278	16680	23
90°	180	286	17160	24

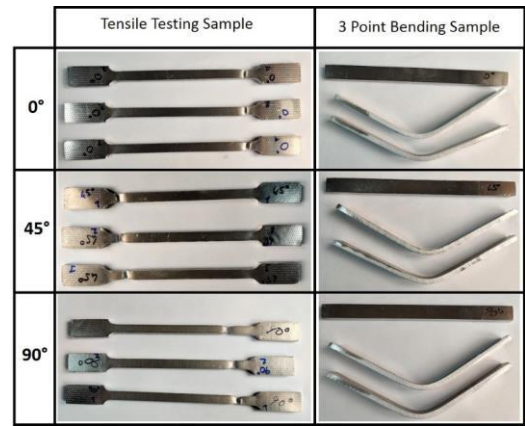


Figure 6. Images of test samples

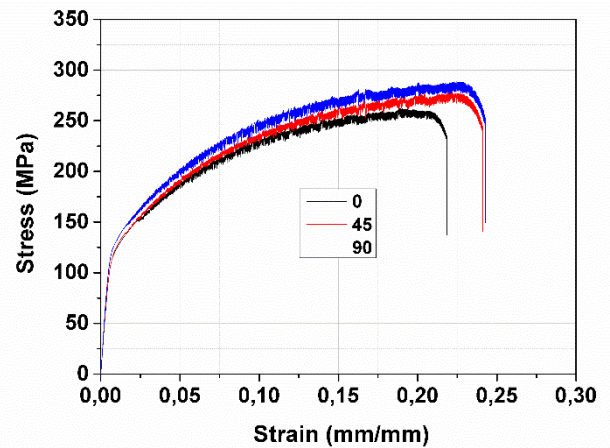


Figure 7. Engineering Stress-Strain Curves of 5182 Aluminum Alloys Made to Samples at 0°, 45° and 90°

3-point bending test results of the samples taken from three different angles are given in Figure 8. Among the three samples, the flexural strength of the sample in the 90° direction was the highest with 358 MPa, and the flexural strength of the sample in the 0° direction was the lowest with 340 MPa. The bending strength of the sample in the 45° direction was 348 MPa and a value between the values of the 0 and 90° samples. Three-point bending tests displayed parallelism with the tensile test results. The higher flexural strength in the 90° direction sample is due to its smaller grain size. As the grains in the material get coarser and the grain boundary decreases, a decrease in the stiffness and strength of the material is observed.

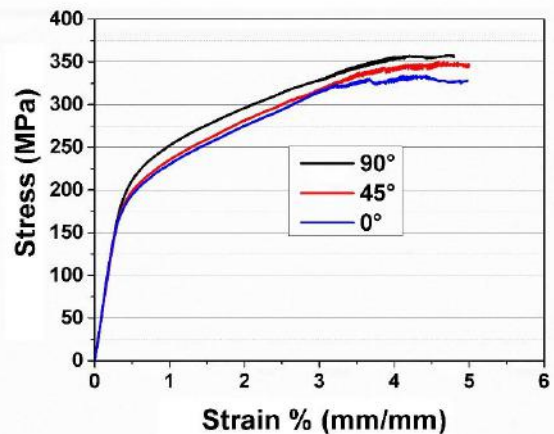


Figure 7. 3-Point Bend Test of Sample at 0°, 45° and 90°

## 4. Conclusions and Recommendations

When compared to 0° and 45°, the samples in the 90° direction have smaller grains and the grain size ranges from 8-30 µm. Depending on the rolling direction, the grain size of the samples and the grain boundaries they contain change. It was observed that the grain size was maximum in the samples in the 0° direction parallel to the rolling direction, while the grain size was minimum in the 90° samples perpendicular to the rolling direction. This stems from the rolling process. With the rolling process, the grains show elongation towards the rolling direction, and they become thinner and narrower from the directions perpendicular to the rolling direction.

When both macro hardness and micro hardness values of the samples taken from 0°, 45° and 90° directions are examined, it is seen that the average hardness values are the same. The hardness of the materials does not change depending on the direction.

Yield, tensile strength and tensile strength of the three materials are shown in Table 2 The hardness of the materials does not change depending on the direction. The higher yield and tensile strength in samples in the 90° direction can be explained by the Hall-Petch mechanism [7]. The samples in the 90° direction are the samples perpendicular to the rolling direction. It is clearly seen from the microstructure images taken by SEM that the samples in this direction have smaller grains and more grain boundaries compared to the samples in the other direction. As stated in the Hall-Petch mechanism, these grain boundaries prevent dislocation movement and lead to an increase in strength. Therefore, the smaller the grain of the material, the more grain boundaries there will be. The greater the grain boundary, the more restricted the dislocation movement will be [8-13].

In this study, samples were taken from 0, 45 and 90° directions depending on the rolling direction and their microstructure, hardness and mechanical properties were investigated. Obtained results are given below.

Microstructures and grain sizes of the samples extracted from three different directions were examined with SEM. As a result of the examinations, it was seen that the sample in the 0° direction had the largest grain, and the sample in the 90° direction had the smallest grain.

The macro and micro hardnesses of the samples in 0, 45 and 90° directions were measured, and the hardness values were found to be very close to each other.

The mechanical properties of the samples were investigated by tensile and 3-point bending tests. Tensile and 3-point bending tests were similar to each other. The tensile and three-point bending strengths of the 90° direction sample were of the highest value, while the tensile and flexural strengths of the 0° direction sample were of the lowest value.

## 5. Acknowledge

The authors give their thanks to Tırsan Trailer INC. for their support during the operations in this study.

## References

[1] [1 Resmi Gazete Websitesi. [Online]. Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/10/20131024-4.html>

- [2] Taub AI and Luo A A2015 Advanced lightweight materials and manufacturing processes for automotive applications MRSBull.
- [3] MillerWS et al 2000 Recent development in aluminium alloys for the automotive industry Materials Science and Engineering
- [4] Imbert J and WorswickM2011 Electromagnetic reduction of a pre-formed radius on AA 5754 sheet Journal of Materials Processing Tech
- [5] Başer, T. A., 2012. Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. Mühendis ve Makina,
- [6] R.A. Masumura, P.M. Hazzledine, C.S. Pande, Acta Mater. 46 (1998) 4527–4534.
- [7] E.O. Hall, Nature 173 (1954) 948–949.
- [8] R.W. Armstrong, I. Codd, R.M. Douthwaite, N.J. Petch, Philos. Mag. 7 (1962) 45–58.
- [9] R.W. Armstrong, Metall. Mater. Trans. 1 (1970) 1169–1176.
- [10]S. Tachibana, S. Kawachi, K. Yamada, T. Kunio, Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. A 54 (1988) 1956–1961.
- [11]M. Furukawa, Z. Horita, M. Nemoto, R.Z. Valiev, T.G. Langdon, Acta Mater. 44 (1996) 4619–4629.
- [12]M. Chapetti, H. Miyata, T. Tagawa, T. Miyata, M. Fujioka, Mater. Sci. Eng. A 381 (2004) 331–336.
- [13]N. Hansen, Scr. Mater. 51 (2004) 801–806