



**DÜZCE  
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ  
DERGİSİ**

Düzce University  
Journal of  
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

---

Cilt  
Volume

**12**

Sayı  
Issue

**3**

Temmuz / July  
**2024**

---

**Düzce Üniversitesi**  
**BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ**  
**DÜBİTED**

<http://dergipark.org.tr/dubited>



**Düzce University**  
**JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY**  
**DUBİTED**

<http://dergipark.org.tr/dubited>

**Sahibi**

*Owner*

Pınar GÜLTEKİN (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)  
(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)  
(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

**Editör**

*Editor*

Suat SARIDEMİR  
Erdem ELİBOL  
Ümit AĞBULUT

**Yardımcı Editörler**

*Assistant Editors*

Berfin ŞENİK  
Vesile YALÇIN  
Anıl DEMİRCAN  
Ahmet AYTEĞİN  
Nisa KAPLAN ERGÜL

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**

*Publishing Manager*

Pınar GÜLTEKİN

**Yayın Kurulu**

*Editorial Board*

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey  
Üniversitesi, Türkiye  
Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Alper ERGÜN, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Ali ÖZDEMİR, Muş Alparslan Üniversitesi, Türkiye  
Ali ÖZTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi,  
Türkiye  
Barış KARAKAYA, Fırat Üniversitesi, Türkiye  
Emre AVCI, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye  
Fikret POLAT, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye  
Gökhan YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hüseyin BAKIR, Doğu Üniversitesi, Türkiye  
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye  
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet SÖNMEZ, Osmaniye Korkut Ata  
Üniversitesi, Türkiye  
Melahat Sevgül BAKAY AĞBULUT, Düzce  
Üniversitesi, Türkiye  
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,  
Türkiye  
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye  
Muhammet Emin ŞAHİN, Yozgat Bozok Üniversitesi,  
Türkiye  
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Murat AYDEMİR, Erzurum Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi,  
Türkiye  
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Musa Çadırcı, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nihat Hakan AKYOL, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Osman DİKMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Osman KANDARA, Southern University,  
Özge Tüzün ÖZMEN, İzmir Bakırçay Üniversitesi,  
Türkiye  
Özlem ÖZKAN ÖNÜR, Nişantaşı Üniversitesi, Türkiye  
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Salih Tunç KAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye  
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,  
Türkiye  
Serdar BİROĞUL, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Serhat DUMAN, Bandırma Onyedil Eylül  
Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Taner YOLDAŞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Tarık GEDİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Tikendra Nath VERMA, Maulana Azad National  
Institute of Technology, Hindistan  
Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit AĞBULUT, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit ERGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Yasin ŞALE, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Yaşar Selman GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Zehra KARAPINAR ŞENTÜRK, Düzce Üniversitesi,  
Türkiye

---

**Ulusal Danışma Kurulu**  
*National Advisory Board*

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye  
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Devrim AKGÜN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye  
Elif UZ, Uludağ Üniversitesi, Türkiye  
Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Erol BURDURLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Ethem TOKLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Türkiye  
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
H.Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hakan AKTAŞ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye  
Hakan ALTINÇEKİÇ, İstanbul Üniversitesi, Türkiye  
Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye  
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Yasin KİŞİOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye  
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

**Uluslararası Danışma Kurulu**  
*International Advisory Board*

Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France  
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,  
USA  
A.S. El-Shafay, Prince Sattam bin Abdulaziz Üniversitesi,  
Suudi Arabistan  
Nicoleta BREAZ, University of Alba Lulia, Romania  
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering,  
Portugual  
Mohamed Saber Gad, Fayoum University, Egypt  
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State  
University, USA  
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA  
Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA  
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State  
University, USA

**Cilt**  
*Volume*

**12**

**Sayı**  
*Issue*

**3**

**Temmuz/July**  
**2024**

**Ürün Bilgisi**

*Product Information*

**Yayıncı**  
*Publisher*

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
*Düzce University Institute of Graduate Programs*

**Sahibi**

Pınar GÜLTEKİN (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)  
(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

*Owner*

*(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)*

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**  
*Publishing Manager*

Pınar GÜLTEKİN

**Web Sayfası**

<http://dergipark.org.tr/dubited>

*Web Page*

**Basım Tarihi**  
*Date of Publication*

Temmuz 2024  
*July 2024*

**Yayın Dili**  
*Language*

Türkçe / İngilizce  
*Turkish / English*

**Yayın Aralığı**  
*Frequency*

Yılda dört kez yayınlanır  
*Published four times in a year*

**Yayın Türü**  
*Type of Publication*

Sürelî yayın  
*Periodical*

**e-ISSN Numarası**  
*e-ISSN Number*

2148-2446

---

**Yazışma Adresi**

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim  
Enstitüsü Rektörlük Binası 3. Kat 81620  
Düzce/TÜRKİYE

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: [dubitedyayin@duzce.edu.tr](mailto:dubitedyayin@duzce.edu.tr)

<http://dergipark.org.tr/dubited>  
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve  
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

***Correspondence Address***

*Düzce University Institute of  
Graduate Programs Rectorship  
Building 3rd Floor 81620  
Düzce/TURKEY*

*Phone: +90 380 542 12 08*

*Fax: +90 380 542 12 38*

*E-mail: [dubitedyayin@duzce.edu.tr](mailto:dubitedyayin@duzce.edu.tr)*

*Instructions for authors and all  
articles in this journal can be  
reached at  
<http://dergipark.org.tr/dubited>*

---

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

## Makale

### *BİYOLOJİ/BİYOKİMYA/MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK/SU ÜRÜNLERİ*

#### *Derleme Makale / Review Article*

- 1358-1370 Upstream and Downstream Processes of rFVIII Recombinant Protein Manufacturing in Respect to Fluid Flow, Mixing, Heat and Mass Transfer  
rFVIII Rekombinant Protein Üretiminde Sıvı Akışı, Karıştırma, Isı ve Kütle Transferi: Yukarı Akış ve Aşağı Akış Süreçleri  
Tevfik GEMCİ

### *BİLGİSAYAR / BİYOMEDİKAL/ YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ/BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ*

#### *Araştırma Makalesi/ Research Article*

- 1279-1295 Forecasting of COVID-19 Cases Under Different Precaution Strategies in Turkey  
Türkiye’de COVID-19 Vakalarının Farklı Önlemler Altında Tahminlemesi  
Serdar ARSLAN
- 1334-1345 Biyolojik Protein Fonksiyon Tahmin İşleminde Orange Veri Analizi Aracının Kullanımıyla Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Performanslarının Değerlendirilmesi  
Evaluation of Performance of Machine Learning Algorithms Using Orange Data Analysis Tool in Protein Function Estimation Process  
Ceren AKMAN YAMAN, Volkan ALTUNTAŞ
- 1371-1388 A New Hybrid Classification Framework in Childhoods Allergies with Dataset Slicing Method  
Çocukluk Alerjilerinde Veri Kesme Yöntemiyle Yeni Bir Hibrit Sınıflandırma Çerçevesi  
Pınar KARADAYI ATAŞ
- 1410-1428 Detecting Turkish Cyberbullying Tweets Using Machine Learning  
Makine Öğrenimi Kullanarak Türkçe Siber Zorbalık Tweetlerini Tespit Etme  
Yavuz Selim BALCIOĞLU

- 1536-1556 A Comprehensive Survey On Machine Learning-Based Intrusion Detection System for Vehicular Area Network Architectures  
Araçsal Ağ Mimarisi İçin Makine Öğrenmesi Tabanlı Saldırı Tespit Sistemi Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma  
**Deniz BALTA, Ünal ÇAVUŞOĞLU, Musa BALTA**
- 1648-1663 Öznitelik Çıkarım Yöntemleri Kullanılarak Akciğer Tomografi Görüntülerinde Covid-19 Sınıflandırılması  
Classification of Covid-19 Using Different Feature Extraction Methods  
**Pelin GÖRGEL, Nurşah DİNCER**
- 1664-1674 Reddit Platformu Üzerinden Bilimle İlgili Gönderilerden İlişkili Konu Modelleme Analizi ile Bilim Dünyasının Haritasının Çıkarılması  
Mapping the Science World with Correlated Topic Modeling Analysis from Science-Related Posts on the Reddit Platform  
**Merve YALÇIN, Semanur GÜRSOY, Özcan ÖZYURT**
- 1675-1691 Modeling, Simulation and Call Performance Analysis of a TDMA-Based Cognitive Radio Network with Different Slot Allocation Strategies  
TDMA Tabanlı Bilişsel Radyo Ağının Farklı Zaman Dilimi Tahsis Stratejileri için Modellenmesi, Simülasyonu ve Çağrı Performans Analizi  
**Sedat ATMACA**
- 1723-1738 Dengesiz Veri Kümelerinde İnce Tahmini İçin Özel Seçimli Hibrit Dengeleme Yöntemi Tasarımı ve Uygulaması  
Design and Implementation of a Specialized Selective Hybrid Balancing Method for Stroke Prediction in Imbalanced Datasets  
**Şerife Çelikbaş, Zeynep ORMAN, Türker Togay Aksoy, Derya Yılmaz Baysoy**

### **ÇEVRE / ZİRAAT / JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**

#### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 1447-1460 Avrupa Ülkelerinde Çamur Bertaraf Stratejilerine Etki Eden Faktörler  
Factors Affecting Sludge Disposal Strategies in European Countries  
**Ayşe Elif ATEŞ, Sinan ATEŞ, M.İberya AYDIN, Serdar AYDIN, Hüseyin SELÇUK**

### **ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ MEKATRONİK/ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ**

#### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 1233-1249 Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemlerinin PVsyst ve Simulink'te İncelenmesi



Review of Grid Connected Solar Energy Systems in PVsyst and Simulink

**Doğukan DERE**

1640-1647 Majority Rule-based Vibrational Signal Analysis Method for the Fault Diagnosis of Rolling-Element Bearing of Vehicle Brake Tester  
Test Cihazının Döner Elemanlı Rulmanın Arıza Teşhisi için Çoğunluk Kuralına Dayalı Titreşimsel Sinyal Analizi Yöntemi  
**Selman KULAÇ**

1739-1751 Pilot Assignment for Cell Free Massive MIMO Systems: A Successive Interference Cancellation Approach  
Hüresiz Büyük MIMO Sistemleri için Pilot Atama: Ardışık Girişim İptali Yaklaşımı  
**Osman DİKMEN**

### **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ / ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

#### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

1250-1266 Çok Boyutlu Yaklaşım ile Ürün Performans Ölçümü: Deneysel Bir Çalışma  
Product Performance Measurement with a Multidimensional Approach: An Empirical Study  
**Muhammet Enis BULAK, Fatma Serra ÇİFTÇİ, Tuğba Yasemin KARAGÖZ, Selin TAŞER, Adeeb A. KUTTY**

1296-1314 Asenkron Motor Eş Zamanlı Çoklu Arızalarının Titreşim Sinyalleri ile Çok Etiketli Sınıflandırılması  
Multi-Label Classification of Simultaneous Faults of Induction Motors by Vibration Signals  
**Mustafa ERCİRE, Abdurrahman ÜNSAL**

1429-1446 Tekstil Sektöründe Sürdürülebilirliğin Düzce İli Özelinde İncelenmesi  
An Investigation of Sustainability in the Textile Industry in Düzce Province  
**Filiz DURSUN**

### **İNŞAAT / MİMARLIK / METALURJİ ve MALZEME / ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

#### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

1217-1232 Characteristics of Düzce Traditional Housing Architecture; The Case of Düzce Konuralp  
Geleneksel Konut Mimarisi Özellikleri; Düzce Konuralp Örneği  
**Elif BESLİ, Özlem SALLI BİDECİ**

1752-1761 A HRTEM-EDS-SAED Study of Precipitates in Mg-Zn-Zr Alloy

Mg-Zn-Zr Alaşımında ökeltilerin HRTEM-EDS-SAED alışması  
Özgür DUYGULU

- 1771-1788 Bibliometric Analysis of Occupational Health and Safety Research in the Construction Industry: Worldwide Trends and Key Focal Points (1990-2023)  
İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırmalarının Bibliyometrik Analizi: Dünya Genelindeki Trendler ve Önemli Odak Noktaları (1990-2023)  
Elif Derya YAMANER KUZEYLİ, Okan ÖZBAKIR

**KİMYA / FİZİK/ MATEMATİK**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 1267-1278 Cr(VI) Metal Katyonunun Elektromembran Ekstraksiyonu ile Uzaklaştırılması ve Kinetik Olarak İncelenmesi  
Removal of Cr(VI) Metal Cation by Electromembrane Extraction and Kinetic Analysis  
Gizem ARGUN, Gamze ALIK, Hamza Korkmaz ALPOğUZ
- 1389-1397 Synthesis and *in vitro* Biological Assessments of Novel Thiazole Based Thiosemicarbazone Complexes  
Yeni Tiyazol Bazlı Tiyosemikarbazon Komplekslerinin Sentezi ve *in vitro* Biyolojik Değerlendirmeleri  
Dilek NARTOP, Elvan HASANOğLU ÖZKAN, Hatice ÖğÜTCÜ, Nurdan KURNAZ YETİM
- 1572-1580 Periods of Leonardo Sequences and Bivariate Gaussian Leonardo Polynomials  
Leonardo Dizisinin Periyotları ve İki değişkenli Gauss Leonardo Polinomları  
Selime Beyza ÖZÇEVİK, Abdullah DERTLİ
- 1614-1626 Green Preparation of Stachys Eudenia-Derived Carbon Quantum Dots and Their Photocatalytic Applications  
Stachys Eudenia'dan Türetilmiş Karbon Kuantum Noktalarının Yeşil Sentezi ve Fotokatalitik Uygulamaları  
Canan BAşLAK, Gülşah ÖZTÜRK, Merve TURęUT, Teoman ÖZTÜRK, Murat YILDIRIM
- 1702-1708 Analysis of dielectric properties of Fe and Co coated thin films on PbZrTiO<sub>3</sub>  
PbZrTiO<sub>3</sub> üzerine Fe ve Co kaplanmış İnce Filmlerin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi  
Aliye KAHYAOğLU, Ahmet DEMİRKAYA, Dilek KAFKAS

- 1762-1770 Evaluation of Industrial Poly(tert-butyl acrylate)-(PtBA) as Insulator Layer in p-Channel Organic Field Effect Transistor-(p-OFET): Fabrication and Electrical Characterization of PtBA-p-OFET  
Endüstriyel Poli(tert-butil akrilat)-(PtBA)'nın p-Kanal Organik Alan Etkili Transistör-(p-OFET)'de Yalıtkan Katman Olarak Değerlendirilmesi: PtBA-p-OFET'in Üretimi ve Elektriksel Karakterizasyonu  
**Ahmet DEMİR, Ahmad Badreddin MUSATAT**

**MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT / OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 1346-1357 Dokuma Kumaşta Atkı ve Çözümlü Doğrultusundaki Hataların Kaynakları ve Çözüm Önerilerinin Etkileri  
Sources of Defect in Weft and Warp Direction in Woven Fabric and Effects of Solution Suggestions  
**Berkay BARIŞ**
- 1398-1409 Traktörlerde Kullanılan Elektro-Hidrolik Kaldırıcılar İçin Tasarlanan Alternatif Bir Çeki Algılama Sistemi  
An Alternative Draft Sensing System Designed for Electro-Hydraulic Lifts Used on Tractors  
**Gökay UYMAZ, Bahar UYMAZ**
- 1479-1488 Galvaniz Kaplı Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Kaynak Bölgesinin İncelenmesi  
Joining Galvanized Steel Sheets by Resistance Spot Welding and Inspection of the Welding Zone  
**Arzu ALTINPINAR, Hakan ERDEM, Mustafa Burak TELLİ**
- 1489-1505 Statistical Assessment of Counterflow Ranque-Hilsch Vortex Tube Performance  
Karşıt Akışlı Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü Performansının İstatistiksel Değerlendirmesi  
**Selen Yılmaz IŞIKHAN, Murat KORKMAZ, Volkan KIRMACI**
- 1506-1517 Tool Wear in GGG50 Cast Iron Milling Environments  
GGG50 Dökme Demir Frezeleme Ortamlarında Takım Aşınması  
**Abdulkadir ORAK, Ali KALYON**
- 1581-1593 An Investigation of the Effect of Waste Glass Additive on Strength and Microstructure Properties of Mortars  
Cam Atıkların Harçların Dayanım ve Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması  
**Kadir GÜÇLÜER, İzzeddin DÖNMEZ**
- 1627-1639 Fruit Sorting Automation; Cartesian Robot and Conveyor Design

Meyve Ayırıştırma Otomasyonu; Kartezyen Robot ve Konveyör Tasarımı

**Mustafa AYYILDIZ, Yusuf Kenan ÇİFTÇİ, Kubilay KİLEÇİOĞLU, Ömer Faruk ARSLAN**

1692-1701 Active Vibration Control of the Landing Gear System  
İniş Takımı Sisteminin Aktif Titreşim Kontrolü  
**Ufuk DEMİRCİOĞLU, Sefa Burhan EKER, Ali Suat YILDIZ**

**Derleme Makale / Review Article**

1315-1333 A Short Review: The Use and Application of Matrix Resins Formed with Some Plant-Based Oils in Bio-Composite Materials  
Kısa Bir İnceleme: Biyo-Kompozit Malzemelerde Bazı Bitki Bazlı Yağlarla Oluşturulan Matris Reçinelerin Kullanımı ve Uygulaması  
**Berkay KARAÇOR, Mustafa ÖZCANLI**

1709-1722 A Review on Galling of Aluminum in Cold Forming Processes  
Soğuk Şekillendirme Proseslerinde Alüminyumun Yapışma Aşınması Üzerine Bir İnceleme  
**Hatice SANDALLI YILDIZ, Mert ÖZDOĞAN**

**ORMAN/ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ/PEYZAJ MİMARLIĞI/ZİRAAT MÜHENDİSLİĞİ/ GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

1461-1478 Antimicrobial Photodynamic Therapy: Novel Concept for Foodborne Pathogens  
Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi: Gıda Kaynaklı Patojenler için Yeni Konsept  
**Gökçe GÜRÜN, Funda KARBANCIOĞLU GÜLER**

1518-1535 Bazı Pamuk (Gossypium sp.) Genotiplerinde Meyve ve Odun Dallarından Alınan Pamuk Liflerine Ait Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi  
Determination of Yield, Yield Components of Fibers Taken from Sympodial and Monopodial Branches of Various Cotton (Gossypium sp.) Genotypes  
**Ali Rahmi KAYA, Halil KARAYAĞLI**

1557-1571 Bibliometric Analysis: An Example of Journal Publishing on Furniture and Wood Materials  
Bibliyometrik Analiz: Mobilya ve Ahşap Malzemeler Üzerine Yayın Yapan dergi Örneği  
**Nadir ERSEN, İlker AKYÜZ, Kadri Cemil AKYÜZ**

1594-1613

The Role and Functions of City Parks in the Adaptation Process of Refugees to the City: The Case of Ulubey Şehit Ömer Karasmanoğlu Park

Mültecilerin Kente Uyum Sürecinde Kent Parklarının Rolü ve İşlevleri: Ulubey Şehit Ömer Karasmanoğlu Park Örneği

**Seynan GÜLER, Dicle OĞUZ, Başak YURTSEVEN**



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Characteristics of Düzce Traditional Housing Architecture; The Case of Düzce Konuralp

 Elif BESLİ<sup>a</sup>,  Özlem SALLI BİDECI<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil Engineering, Institute of Science, Düzce University, Ankara, TURKİYE

<sup>b</sup> Department of Architecture, Faculty of Art Design and Architecture, Düzce University, Düzce, TURKİYE

\* Corresponding author's e-mail address: ozlembideci@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1503177

### ABSTRACT

The traditional Turkish house is a type of house that can be described as a cultural heritage, having developed since the moment the Turks appeared on the stage of history and has survived to the present day. Traditional houses are civil architectural works that are built according to the physical conditions and cultural characteristics of the environment they belong to, have become historical, and have become a national symbol. The main idea behind the creation of houses is directly related to the traditional construction rules and building materials of the period to which they belong. In the Western Black Sea Region, where the study was carried out, studies were made on the architecture of traditional houses in the Konuralp District of Düzce province. Konuralp District, a settlement where many historical layers from ancient times to the present day can be seen together, was built on the ancient Roman city of Prusias ad Hypium. In the study, six registered traditional houses, which have survived to the present day with many civil architectural works while preserving their historical texture, were evaluated in terms of building-street relationship, plan typology, facade features, materials, and construction techniques in order to determine their similarity with the architectural features of traditional Turkish houses. It was determined that the traditional houses examined were similar to the concept of Turkish house.

**Keywords:** Traditional architecture, Prusias ad Hypium, Konuralp neighborhood

## Geleneksel Konut Mimarisi Özellikleri; Düzce Konuralp Örneği

### ÖZ

Geleneksel Türk evi, Türklerin tarih sahnesine çıktığı andan itibaren gelişerek günümüze kadar ulaşan, kültür mirası olarak nitelendirilebilecek bir ev tipidir. Geleneksel evler, ait olduğu çevrenin fiziki şartlarına ve kültürel özelliklerine göre inşa edilen, tarihselleşmiş ve ulusal bir simgeye dönüşmüş sivil mimari eserlerdir. Evlerin meydana gelişindeki ana fikir, ait olduğu dönemin geleneksel yapım kuralları ve yapı malzemeleri ile doğrudan ilişkilidir. Çalışmanın yürütüldüğü Batı Karadeniz Bölgesinde, Düzce iline bağlı Konuralp Mahallesiindeki geleneksel evlerin mimarisi üzerine incelemeler yapılmıştır. Antik dönemden günümüze kadar birçok tarihsel katmanın bir arada görülebildiği yerleşim yeri olan Konuralp Mahallesi, antik Roma kenti olan Prusias ad Hypium antik kenti üzerine kurulmuştur. Çalışmada tarihi dokusunu koruyarak birçok sivil mimari eserler ile günümüze kadar ulaşan tescilli 6 geleneksel evin, geleneksel Türk evi mimari özellikleri ile benzerliğinin tespiti amacıyla bina-sokak ilişkisi, plan tipolojisi, cephe özellikleri, malzeme ve yapım teknikleri bakımından değerlendirilmiştir. İncelenen geleneksel evlerin Türk evi kavramıyla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Geleneksel mimari, Prusias ad Hypium, Konuralp mahallesi

# **I. INTRODUCTION**

The Turkish house has evolved through the synthesis of architectural features carried from various geographical regions where Turks have lived over centuries, integrated with their lifestyle and culture to form unique characteristics. As a result, the Turkish house reflects a specific culture and way of life through its distinctive materials, design elements, and decorations. Particularly in regions under Ottoman rule from the 17th century onwards, it facilitated the development of common spatial configurations and became widespread with characteristic facades [1]. The transition of Turks to settled life is among the most significant factors in the formation of the Turkish house type. This transition led to evolving needs and initiated changes in both lifestyle culture and architectural understanding. Differentiating itself from the tents symbolizing nomadic life, Turkish houses vary in design criteria such as spatial layout, massing, and construction techniques influenced primarily by climate conditions, terrain, available building materials, and craftsmanship. These factors have contributed to the diversity in the formation of houses. Turkey boasts a rich geography and history, making it crucial to study traditional architectural artifacts to preserve their uniqueness and pass them on as cultural heritage to future generations.

Historical buildings, which are a significant reflection of our cultural heritage, form a link between past civilizations and the present. Through these structures, it is possible to understand and interpret civilizations. Therefore, the periodic restoration and preservation of these buildings are of great importance for their permanence and transmission to future generations [2, 3].

Located in the Western Black Sea region and historically accommodating people of diverse origins, the Konuralp neighborhood in Düzce province is the heir to ancient civilizations dating back to around 1300 BC, including periods of Bithynia, Roman, Byzantine, and Ottoman civilizations. It encompasses significant tangible cultural assets such as an ancient theater, archaeological sites, Roman Bridge, Konuralp western fortress walls, aqueducts, necropolises, architectural remains, an Ottoman-era cemetery, historical mosques, and examples of civilian architecture like traditional houses.

This study evaluates and compares the preserved historical fabric of the Konuralp neighborhood, situated 8 km north of Düzce, established in the ancient city of Prusias ad Hypium. The focus is on six registered traditional houses, examining their similarity to traditional Turkish house architectural features through analysis of building-street relationships, plan typologies, facade characteristics, materials, and construction techniques.

## **II. TRADITIONAL TURKISH HOUSES**

### **A. DEFINITION OF THE TURKISH HOUSE**

The word "ev" (house) originates from the old Turkish word "eb," meaning a dwelling place built for people to reside in [4]. It is also used to describe a dwelling constructed in a size and manner suitable for housing a single family [5]. According to Celal Esad Arseven, a house in architecture refers to a substantial or wooden structure larger and more carefully constructed than a hut or shack [6]. According to Soykan, a house is feminine, it nurtures, supports, and protects. It provides comfort and facilitates an easy way of life [7]. The traditional Turkish house, on the other hand, directly reflects Turkish culture and traditions [8]. According to D. Kuban, the Turkish house is recognized and defined as a type of residence that has served the needs of Turkish people for centuries, displaying shape and plan features aligned with the living culture and customs of the traditional Turkish family [9]. Integrating harmoniously with its environment and inhabitants, the traditional Turkish house presents itself with a specific internal and external spatial organization. It serves as a mirror reflecting the physical-functional needs of its residents, their cultural-social structure, family dynamics, lifestyle, and the geographical

and topographical characteristics of its surroundings. These features have evolved over centuries in certain settlements without losing their integrity, maintaining their essence until present times [10].

## **B. FACTORS INFLUENCING THE FORMATION OF THE TURKISH HOUSE**

The factors influencing the formation of the Turkish house can be categorized into three main headings: geographical factors, historical factors, and social factors.

### **B. 1. Geographical Factors**

The influence of geographical factors on the formation of houses is divided into two main categories: climatic effects and topographic effects. Regions where Turkish houses are found generally lie within the temperate zone, but exhibit significant variations in terms of climate, heat, and precipitation between the north and south, coastal and inland areas, and due to local topography [11]. For instance, traditional houses in Erzurum, under the strong continental climatic influence, feature small windows placed high above ground and thick walls to minimize heat loss, with reduced-size "sofalar" (rooms adjacent to the main living area) [12].

The choice of plan types also reflects climatic and socio-economic influences. In Northern Anatolia, closed sofas are prevalent, contrasting with the preference for open sofas along the Aegean and Mediterranean coasts. Meanwhile, courtyard-based plan types are commonly found in Diyarbakır and Mardin [13]. These variations stemming from both topographic and climatic characteristics have significantly influenced the overall structure and materials of Turkish houses.

Different climatic conditions in geographic regions have led to variations in the materials used for construction, the positioning of structures on the terrain, and construction techniques. For example, regions with abundant rainfall in Northern Anatolia utilize wood from forested areas, whereas in dry regions like Central Anatolia, stone and adobe predominated [8,14]. One of the most notable features in the design of these houses is their distinct separation from the external environment, influenced by the rugged terrain of Anatolia. Houses in organic, naturally integrated neighborhoods often sit on sloped terrain to maximize natural light intake [14]. While the spatial and functional characteristics of houses remain consistent across different geographical regions, their external forms vary significantly [15].

The typology of Turkish houses is evaluated across seven main regions: The Black Sea coast, Istanbul and the Marmara region, the Aegean region, the Mediterranean region, the Central Anatolian region, the Eastern Anatolian region, and the Southeastern Anatolian region [16]. Turks traditionally sourced construction materials from local environments, and the varied geography and climate of Anatolia have profoundly influenced the formation and relationships of Turkish houses with their surroundings.

### **B. 2. Social Factors**

Social factors that influence the formation of the Turkish house can be categorized into two main headings: community and family structure. The formation, transformation, and development of architectural environments are profoundly influenced by family structure and lifestyle culture [17]. Parameters such as family size, lifestyle, religious beliefs, patterns of dwelling use, social relationships, economic status, production-consumption relationships, and customs and traditions within the family play a significant role in shaping the architecture of residences, influencing spatial organization and the relationship between structure and environment directly [18].

The planning of the Turkish house has been influenced by family lifestyle and cultural values. Each room in the house is designed to cater to all the users' needs [19]. Respect shown towards human beings, nature, and the immediate environment is considered one of the fundamental principles in the construction of traditional Turkish houses [20]. Following the acceptance of Islam, a more distinct division of labor between men and women emerged among Turks. The concept of privacy inherent in



religious belief influenced the inward-oriented design of Turkish houses significantly. As a result of the patriarchal family structure, the most important room became the men's quarters, often referred to as "Başoda" or "selamlık," where guests were entertained and servant relationships were structured accordingly. Over time, the "sofa" took over this functional role. Rooms used by women in Turkish homes were typically less ostentatious compared to those used by men. The relationship between the exterior environment and the house, the relationships between rooms, and the shaping of the house according to the daily life of the housewife are also evident [21]. In ancient Turkish houses, to protect family privacy, bath areas known as "kehriz" were created. These were constructed by raising and removing the floorboards within the cupboards located on either side of the hearth [22].

### **B. 3. Historical Factors**

The Turks lived a nomadic life in Central Asia due to climatic and geographical conditions, where portable dwellings symbolized by tents influenced the formation of Turkish houses. The concept of the Turkish house attained its true identity with the transition to settled life in Anatolia. There are significant similarities in terms of usage areas, functionality, and relationships between sections between the rooms that differentiated the Turkish house and the interior arrangement of tents. It can be observed that the Turkish house sofa, where tents gathered around a square, formed the source of rooms [23]. Some Turks settled into a sedentary lifestyle in Anatolia, while others remained nomadic, constantly moving to find pasture for their animals and living in tents known as "yurt" or "ak-öy." The tower houses, known as "kule ev" in Central Asia and characterized by high walls with an open perimeter, reflected in the Turkish house as the main floor being above the upper floor [21]. However, Kuban (1993) noted that the tower house was associated with defense considerations, mostly seen in noble buildings, and was foreign to the concept of the Turkish house [24]. The types of houses encountered and emulated by the Turks in Anatolia after their arrival can also be considered as origins of the Turkish house. In prehistoric times, the entrance of the crescent-shaped plan in mudbrick architecture prevalent in Central Anatolia resembled an open exterior sofa with its roof and three sides closed. The "iwan" seen today in Bukhara and Khiva is identical to this crescent. The antechamber in front of the megarons that appeared in Troy, Beycesultan, and Kültepe resembled an open exterior sofa. In later periods, the colonnades of Greek and Roman temples and courtyard buildings also had similar effects on the formation of houses. The continuity observed in elements like flat earth roofs and hearths, ovens, and other building components persists in the same regions today, indicative of a mudbrick architectural tradition. The post-and-beam method of wooden construction was also applied in Anatolia during prehistoric times and continued in Central Asia using the same technique within this geographical range. In the Byzantine period, the upper floor was the primary living space, demonstrating its equal importance in the Byzantine and Ottoman periods. It is unclear whether there was a widespread tradition of timber-framed construction in Anatolia during the Byzantine period, but this technique was frequently used in forested areas [25].

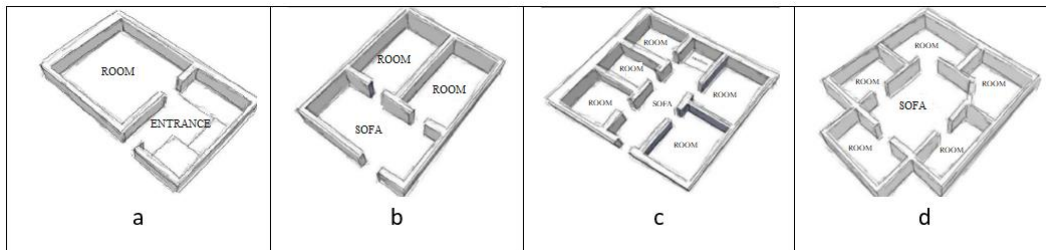
## **C. ARCHITECTURAL FEATURES OF THE TURKISH HOUSE**

The Turkish house has been examined under the headings of plan features, facade features, materials, and construction techniques.

### **C. 1. Plan Features**

Several factors have played a role in shaping the plan type of the Turkish house. Cultural and geographical factors are the most influential factors directly affecting the formation of these plans. The main elements that constitute the plan type are rooms, sofas, passages, and stairs. Studies indicate significant similarities between the Turkish nomadic dwelling, the tent, and the rooms of the Turkish house [15, 24, 26]. Following the single-roomed dwellings such as tents, the increase in the number of rooms diversified the plan types and led to the emergence of the sofa unit as a common area between rooms. The sofa is one of the most characteristic plan elements of Turkish houses, serving as a circulation space for sitting and gathering activities. Sofas are known by various names in different regions such as sergâh, sergi, sayvan, çardak, and divanhane in Turkish expression. While rooms separated by sofa extensions represent a less variable living unit, the sofa itself is a variable unit.

Therefore, the sofa determines the house plan [27]. S.H. Eldem scientifically classified the arrangement of sofas and rooms that define the plan type of the Turkish house. The sofa is a communal space where inter-room relationships are maintained, and all functions are gathered and dispersed. The eyvan at the end of the sofa contains sedirs (low seating platforms) and seki (raised platforms). Iwan is a place covered with carpets and furnished with cushions, used for daily activities where women can sit, perform household chores, socialize with friends, and chat [28]. Additionally, it is noted that eyvan's form originated in early Islamic architecture, known as “beyt” in Arabic and “talar” in Persian [24]. According to S.H. Eldem's classification, sofa types include type without sofa, outer sofa type, inner sofa type, and central sofa type (Figure 1).



**Figure 1.** Plan types *a) Without sofa b) Outer sofa c) Inner sofa d) Central sofa*

Without sofa plan; the first and most primitive plan type developed after the tent. This plan type is commonly found in hot southern regions. In houses with multiple floors, connections between lower floors are facilitated by courtyards, pavements, and sidewalks, while balconies are the most important spatial element for connecting upper floors [27, 29].

Outer sofa plan is the second stage of the Turkish house plan type. It consists of a simple row of rooms with a sofa in front. The sofa unit, which facilitates relationships between rooms, emerged with this plan type. Symmetry is not emphasized in these plan types, and the plans are flexible. Depending on the location of the sofa within the plan, it is referred to by various names such as open-front sofa (ön açık sofa), corner-open sofa (köşe açık sofa), lively sofa (hayatlı sofa), and exhibition sofa (sergahlı sofa). "I", "L", and "U" shaped variations of the dış sofalı plan schemes are more commonly preferred in rural areas [29]. Eyvans and mansions add richness to this plan type. Eyvans are created by leaving gaps between rooms to expand the sofa [23, 30].

Inner sofa plan is the most preferred plan type. The sofa is located between rooms arranged opposite each other, typically in a square or rectangular shape. Inner sofa plan type plan tipi is also known as "stuffed eggplant". The sofa is oriented towards the view, street, or light. Special spaces such as corners or sitting areas are arranged at one or both ends of the sofa to enrich the plan [23].

The central sofa plan is the most developed phase of Turkish house plan types. The sofa is located at the center of the house, surrounded by rooms on all four sides. Eyvans between rooms are used to illuminate the sofa. Besides eyvans, service spaces such as stairs, pantry, and kitchen may also be found between rooms. Initially square-shaped, the sofa has evolved to become elliptical, polygonal, or oval. Due to its sheltered nature, this plan type is preferred in regions with cold climates [27].

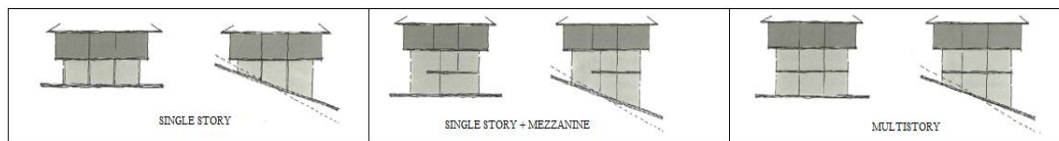
## C. 2. Facade Features

Traditional houses, reflecting the characteristics of their era, are crucial tangible assets that demonstrate the economic, sociological, and cultural aspects of their society. The facades of traditional houses are elements that contribute to the uniqueness of urban texture and reflect the culture they belong to in the urban environment. Turkish houses exhibit very simple lines in terms of general design principles, while parameters such as projections, bay windows, doors, windows, decorations, and eaves shape the facade, enhancing the aesthetic value of the street perspective [6, 31]. Due to the sense of privacy, which has

led to an inward-facing lifestyle, cantilever that were initially made in main rooms later began to be applied to other rooms on the street side [20].

### C. 3. Floor Features

Turkish houses are generally single-story or two-story, although the number of floors has increased over time. The fundamental characteristics of Turkish houses were initially observed on a single floor. To maximize light, sun, air, and views, the actual living floor, elevated 1.5-2 m above the ground on wooden posts, has been the subject of studies determining the typologies of traditional Turkish houses. In multi-story houses, the ground floor serves as a transitional floor arranged according to needs. Therefore, the ground floor, facilitating the establishment of relationships between the actual living floor and the natural environment, has been constructed with a casual approach (Figure 2) [15, 30].



*Figure 2. Upper floors and the relationship of the structure with nature in Turkish houses [15].*

The ground floor consists of garden walls and wooden columns supporting the house; it is not used for sitting. Over time, the purpose of the ground floor has changed; it has been closed with walls and used as storage, barn, hayloft, and stable. Later, an intermediate floor was added between the ground floor and the main floor, not covering the entire building area. The ceiling height is less than that of other floors. Rooms on the intermediate floor are typically used as winter rooms, hence they are more sheltered, with fewer and smaller windows. Although the importance of intermediate floors has increased over time, the upper floor has always determined the interior layout and facade appearance [19, 30].

### C. 4. Materials and Construction Techniques

Wood, stone, and adobe are the primary construction materials of traditional Turkish houses, with adobe commonly used as infill material. The availability of construction materials, influenced by the region's climate and topography, is the most important factor determining material selection. For example, wood is used in forested areas with heavy rainfall, while stone and adobe are preferred in arid regions. Thus, the materials used in construction systems and elements are sourced locally [11].

Adobe, made by mixing straw, clay, and water, has been used as a building material since ancient times. Due to its low cost and porous structure, adobe is a healthy and easily obtainable material. In traditional Turkish houses, adobe is widely used in load-bearing walls, occasionally in foundations, and as infill material in walls, as well as in floors, plaster, and mortar [32, 33, 34]. In traditional timber-framed constructions, accessibility is the most critical factor in selecting infill materials. Adobe, stone, brick, and wood are commonly encountered types of infill in traditional Turkish houses. In timber-framed constructions, the infill and wooden structure act together against earthquake forces. Since earthquake forces increase with the mass of the structure, the lightweight skeleton system of timber-framed constructions is advantageous. Especially when lightweight infill materials are used, timber-framed systems withstand earthquakes with minimal damage.

Various construction systems have been used in traditional Turkish houses, including timber frame or timber infill systems. While lower floors use timber with stone lintels, upper floors use timber framing filled with adobe or brick. The choice of material for elements such as windows, doors, roofs, floors, and stairs depends on whether the structure's load-bearing system is a natural stone and adobe or timber-based [7, 35, 36]:

-Timber Infill System: In this system, logs are placed horizontally on top of each other, either in their natural state or processing, and joined at the corners using the lap joint technique. Walls also serve as load-bearing elements.

-Timber Frame System: This system involves placing timber on stone wall foundations to a certain height to insulate from moisture. Depending on the technique used to create the wall surface, this system is divided into subgroups:

-Filling between timber frames with adobe, brick, stone, or wood.

-Uneven filling between timber frames with brick, stone, or adobe, finished with mud plaster or wooden cladding.

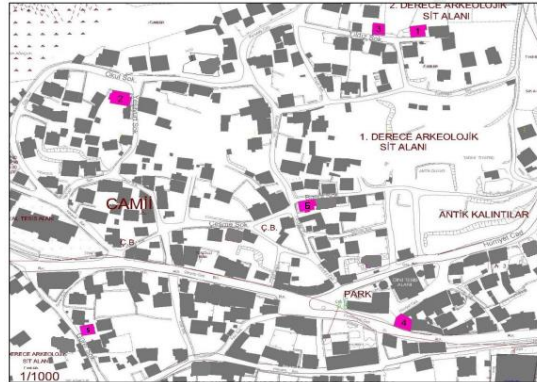
-Constructing the timber frame system using a distinct modular (panel) construction, filled with wood or stone.

-Leaving the space between timber frames empty, cladding the exterior with wood, and plastering the interior with mud using the mud plaster technique.

-Mixed System: This involves using different construction systems together.

### **III. TRADITIONAL KONURALP HOUSES**

The study area includes houses located in the Konuralp neighborhood: House No. 1 within the archaeological site limits on Topçu Street, House No. 2 on Yeşilyurt Street, House No. 3 on Yıldız Street, House No. 4 on Cumhuriyet Avenue, House No. 5 on Başol Street, and House No. 6 on Hamam Street. These houses will be referred to by their respective numbers in the explanations provided. Figure 3 shows the settlement plan of the Konuralp neighborhood with houses numbered 1 through 6.

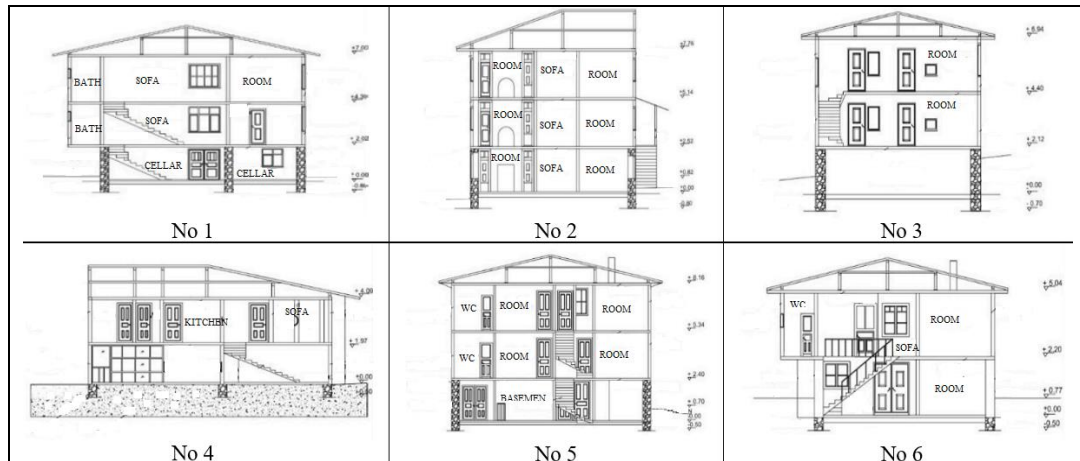


*Figure 3. Settlement Plan of Konuralp Neighborhood*

#### **A. ARCHITECTURAL PLAN FEATURES**

The fact that Konuralp houses are two or three stories tall can be associated with the evolution from single-story or two-story ancient Turkish houses, known as winter floors, which later became more common and eventually transformed into standard floors, thereby increasing the number of floors. The floor heights of the examined houses in normal floors range approximately from 240 cm to 290 cm. The arrangement of spaces on upper floors as living areas in Konuralp houses is similar to multi-story ancient Turkish houses where each floor caters to different needs, while ground floors serve functions such as storage, stable, and hayloft when there is no basement. House No. 5 has a basement, while Houses No. 3, 4, and 6 consist of ground and first floors, and Houses No. 1 and 2 consist of ground, first, and second floors. House No. 6 does not exhibit the ground floor usage characteristics typical of traditional Konuralp houses. Both the ground and first floors are suitable for performing vital functions. Section of

Houses No. 2, 3, 4, 7, and 6 are provided in Figure 4. The section plan drawings of the houses mentioned are depicted in Figure 4.



**Figure 4.** Section Plans of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6

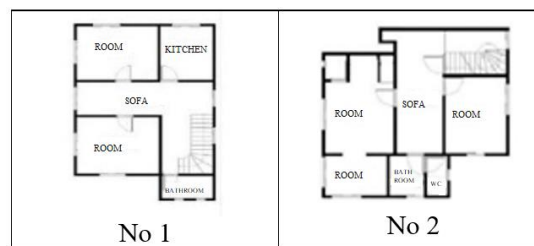
In the examined houses, the predominant plan type is the inner sofa type. The inner sofa plan type, commonly found in traditional Turkish houses, reflects an inward-oriented lifestyle. According to the typology of traditional Turkish house plans, House No. 3 has an outer sofa plan type, while Houses No. 1, 2, 4, and 6 exhibit inner sofa plan types. Among the examined Konuralp houses without sofa plan types, House No. 3 has a Type of I outer sofa, and House No. 5 has a corner-open sofa. On the other hand, it was observed that Houses No. 1, 3, and 6, which have a sofa with a double-armed staircase, have staircases consisting of wooden steps and railings, whereas Houses No. 4 and 5, which have an external entrance, have staircases with single-armed and reinforced concrete structures. Figure 5 shows the ground floor plans of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6, Figure 6 displays the first-floor plans of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6, and Figure 7 presents the second-floor plans of Houses No. 1 and 2.



**Figure 5.** Ground Floor Plans of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6

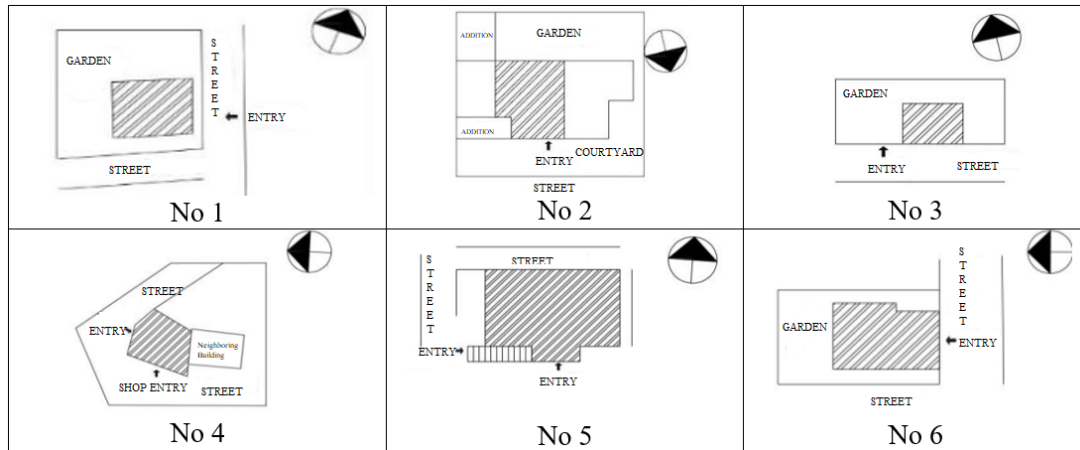


**Figure 6.** First Floor Plans of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6



**Figure 7.** Second Floor Plans of Houses No. 1 and 2

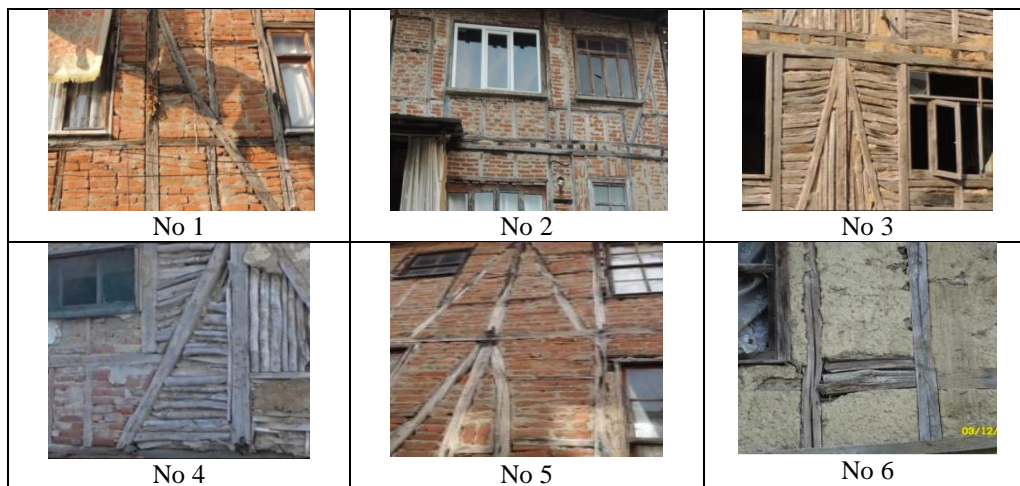
The houses are situated on sloping terrain, resulting in varying numbers of floors on different facades of some houses. It was determined that entry to the houses is either directly from the road facade or through a garden or courtyard. Houses No. 2, 3, 4, and 5 have entries from the north facade, while Houses No. 1 and 6 have entries from the south facade. Considering the positions of the examined houses on their plots, it was observed that House No. 4 faces the street directly, while the other houses have gardens and face the Street. The widths of the roads between the streets range from 3.00 m to 4.00 m, and it was found that the widths exceed 4.00 m at the intersections in Konuralp Square. Garden entrance gates are metal, while house entrance doors are wooden. The gardens associated with the houses are generally located at the rear facades and are surrounded by wire fences. There are also independent extensions used as storage in these gardens. Figure 8 provides the building-street relationships and entry directions for Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6. Some streets surrounding the examined houses have a northward slope, and it was observed that some houses' gardens are separated from the street by high walls, similar to the privacy concept seen in traditional Turkish houses. The number of windows on the street-facing facades of the houses is less than on the other facades, which coincides with this concept. It was observed that the number of windows on the south-facing facades of the rooms was higher than on the other facades, in order to benefit more from sunlight and view.



*Figure 8. Building-Street Relationships and Entry Directions of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6*

### A.1. Construction System and Material Characteristics

The most significant factor in shaping the unique identity of Turkish houses is their spread across a diverse Anatolian geography characterized by various climates and topographic features. These climatic and topographic characteristics have influenced the form of traditional Turkish houses, spatial relationships, the choice of construction materials, and building techniques. Accessibility to materials indicates that Konuralp houses exhibit characteristic Turkish house features when considering their construction system and materials. Most of the examined houses feature a timber frame system. Houses No. 1, 2, and 5 employ timber frames with brick infill, while Houses No. 4 employ timber frames with brick infill and a timber frame with a wooden infill construction system and No. 6 use employ timber frames with mud infill. House No. 3 utilizes a timber frame with a wooden infill construction system (Figure 9). The description provides an overview of the construction systems and materials used in the examined houses, highlighting the diversity influenced by local accessibility and traditional Turkish house characteristics.



*Figure 9. Construction Systems of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6*

Rubble stones are mostly used in foundations, while wood is used in floors, posts, and braces placed on stone blocks, and roof constructions. Figure 10 provides visuals related to the ground floor, foundation construction system, and materials used in Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6.



*Figure 10. Construction Systems and Materials Used in Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6*

## **A.2. Architectural Elements and Decorations**

### ***A.2.1. Ceiling Features***

Ceilings in most houses vary according to the floor they belong to. While applications where wooden ceiling beams are clearly visible are preferred on the basement and ground floors, there are flat wooden ceilings on the upper floors. Ceilings are typically devoid of ornamentation. Decorations in the form of ceiling centers and corner joints were observed only in House No. 6. Figure 11 provides ceiling visuals of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6. This section describes the characteristics of ceilings in the examined houses, detailing their construction techniques and decorative elements, if any, with specific reference to Figure 11.



*Figure 11. Ceiling Images of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6*



### A.2.2. Stairs

Wooden stairs between floors are supported by stringers, unlike traditional Turkish houses where the bottoms of stairs are mostly closed. Figure 12 shows staircase visuals of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6. The stairs of houses 1 2 3 4 and 6 are wooden semi-revolving stairs. It can be seen that the staircase of house no. 5 has a single arm. The stair railings of houses no. 2 and 5 are circular in section and carved.



**Figure 12.** Staircase Images of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6

### A.2.3. Door Features

In the examined houses, main entrance doors are typically double-leafed and made of wood. Ornamentation is generally absent from the metal handles and other components of these doors. It was observed that house no. 1 had a two-winged wooden door measuring 200\*190 cm without any decoration. It was found that the outer door of house no. 2 was made of 85\*200 cm and 90\*190 cm in size and was made entirely of wooden boards and nailing techniques. It was determined that house no. 3 could be entered with a wooden single-leaf door measuring 80\*190 cm and the inner surface of the door was connected with three wooden belts. It was determined that the room doors of house no. 4 were wooden single-winged and the entrance door of house no. 5 measured 230\*210 cm and was made with the nailing technique. In addition, house number 5 is located in the door niche that has survived to this day, preserving its originality. In this way, the façade is given a sense of depth and the entrance is made more protected against external influences. The glass-paned, wooden, double-winged door also has two bright windows. There is no decoration on the door and its handles are made of metal. It was determined that house number 6 measures 160\*220 cm and has a wooden double-winged door. Figure 13 provides the main entrance door visuals of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6.



*Figure 13. Main Entrance Doors of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6*

#### **A.2.4. Window Features**

On the south-facing facades of rooms, it has been observed that there are more windows compared to other facades to maximize sunlight and views. Figure 14 provides window visuals of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6. Considering the types of windows, it was determined that upper floors often feature vertically opening single-leafed wooden sash windows, commonly found in traditional Turkish houses (Figure 14. 1., 4., 5., and 6.). In basement floors and ground floors not serving vital functions, single or double-leafed windows are used instead of sash windows (Figure 14.2.). In this context, the careful designs applied to the upper floors in traditional Turkish houses can be seen reflected in Konuralp houses.

In some houses, wooden interior windows are arranged on walls facing the living space to allow light into rooms (Figure 14.3.). The frequent occurrence of interior windows in Konuralp houses is another similarity they share with traditional Turkish houses. Figure 14 provides window visuals of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6.



*Figure 14. Windows of Houses No. 1, 2, 3, 4, 5, and 6*

### ***A.2.5. Hearthstone and Cupboards***

In the rooms arranged on both sides of the sofa, at least one hearthstone, locally referred to as "ocak," and cupboards designed to meet various needs have been found on both sides of the hearth. The hearths are circular in shape and undecorated. Due to changing living conditions, the hearths originally used for heating purposes have now lost their function. Attempts were made to address heating needs by connecting stove pipes to the hole on top of the hearth. The cupboards adjacent to the hearth serve functions such as bathrooms, wardrobes, pantries, and kitchens. However, cupboards designed as bathrooms have lost their function over time. This situation can be associated with bathrooms being solved in different parts of the plan. The wall where the hearth and cupboards are located is positioned in the direction of the room door opening. This connection of the wall with the wall where the room entrance door is located is reminiscent of traditional Turkish houses. Figure 15 shows images of traditional hearths and cupboards found in houses numbered 2, 3, 5, and 6.



**Figure 15.** *Traditional Hearthstones and Cupboards in Houses No. 2, 3, 5, and 6*

## **IV. CONCLUSION**

Preserving the historical texture and immovable cultural assets while maintaining its traditional identity is crucial for the Konuralp neighborhood, which has survived to the present day. Military, religious, and civilian architectural structures in Konuralp, which are at risk of disappearing, should be preserved and sustained. Registered houses in Konuralp, which are increasingly endangered, should undergo restoration efforts that do not disrupt the historical fabric, taking into account the needs of the region.

As a result of the study, according to the information obtained from the houses examined, it was determined that the building-street relationship, plan type, facade features and building material selection, which are affected by geographical, social and historical factors, are similar to the traditional Turkish house concept.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This study was derived from the thesis titled "Examination of Traditional Turkish House Architecture: The Example of Konuralp, Düzce," which was accepted by the Düzce University Institute of Natural and Applied Sciences in 2019.

## **V. REFERENCES**

- [1] H. Karpuz, "Türk evi," *Türk Yurdu Journal*, vol. 31, no. 290, pp. 55-63, 2011.
- [2] Ş. Gürsoy, Y. Turcan, K. Şık., "Comparison of designs according to different codes under earthquake loads of wooden structures," *Sakarya International Symposium of Earthquake Engineering*

“The Learning Outcomes of Marmara Earthquake in the First Decade”, 1-3 October, Kocaeli, Türkiye, 2009, 8-18.

- [3] M. Saatci, Ş. Gürsoy, Y. Turcan, “Investigation of the effects of different types of traditional timber loadbearing systems used in Turkey on building behaviour,” *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, 10 (1), 2022, pp. 179-202.
- [4] M. Larousse, “Ev” maddesi 4 C., Meydan Publisher, İstanbul, Türkiye, 1990.
- [5] D. Hasol, *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü*, Yem Publisher, İstanbul, Türkiye, no.184, 1990.
- [6] C. E. Arseven, *Türk sanatı tarihi*, Maarif Publisher, VII. Fascicule, İstanbul, Türkiye, p. 535.
- [7] Ö. N. Soykan, “Ev üstüne felsefece bir deneme,” *Cogito Journal*, no. 18, pp. 101-112, 1999.
- [8] Y. Gögebakan, “Factors that determine the formation of traditional Turkish house having characteristics value and general features of these houses,” *İnönü University Journal of Culture and Art*, vol. 1, no.1, pp. 41-55, 2015.
- [9] D. Kuban, *Sanat tarihimizin sorunları*, Çağdaş Publisher, İstanbul, 1975.
- [10] M. M. Önal, S. Çellek, “Traditional Turkish houses in Anatolia, their structural properties, case study; Yozgat and Kırşehir,” *International Bozok Symposium*, Yozgat, Türkiye, 2016, pp. 315-331.
- [11] S. Başlılar Altun, “Traditional Turkish houses, used construction materials, construction elements and construction techniques,” M.S. thesis, Architecture, Institute of Natural and Applied Sciences, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye, 2008.
- [12] Y. Gök, A. Kayserili, “The investigation of the Erzurum traditional houses from the perspective of cultural geography,” *Eastern Geographical Review*, vol.18, no.30, pp. 175-216, 2014.
- [13] C. Karagülle, “The evaluation of local data in house design process: Mardin example,” Ph.D. dissertation, Architecture, Institute of Natural and Applied Sciences, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [14] M. Baran, M. Yıldırım, “The traditional Turkish house and the use of color,” *Electronic Journal of Social Sciences*, vol. 7, Issue 26, pp. 223-234, 2008.
- [15] Ö. Küçükerman, “*Turkish house in search of spatial identity*,” Türkiye Turing ve Otomobil Institution, 2nd edition, İstanbul, Türkiye, 1985.
- [16] Y. Arat, “Analysis of traditional Turkish house indoor components based on anthropometric data; Konya houses,” Ph.D. dissertation, Architecture, Institute of Natural and Applied Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye, 2011.
- [17] M. Davulcu, “The folk architecture in the rural settlements of Bartın,” *TURUK International Language, Literature and Folklore Researches Journal*, year.4, no.8, pp. 93-144, 2016.
- [18] G. Yeler, “Analysis of ecological and social-cultural factors in dwelling architecture,” M.S. thesis, Architecture, Institute of Science and Technology, Trakya University, Edirne, Türkiye, 2004.
- [19] E. B. Burkut, “Reading Ottoman / Turkish house space installation in modern residential housing architecture (Houses of Wright, Corbusier, Eldem and Cansever),” M.S. thesis, Institute of Architecture, Engineering and Science, Fatih Sultan Mehmet Foundation University, İstanbul, 2014.


- [20] K.H. Yıldırım, M. Lütfi, "Türk yaşam kültürünün geleneksel türk evlerindeki yansımaları," *4th International Turkish culture and art congress/art activity*, Egypt, 2009, pp. 114-120.
- [21] M. E. Coşkun, "Construction materials and techniques in Turkish houses," M.S. thesis, Architecture, Institute of Natural and Applied Sciences, Haliç University, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [22] S. Oymael, H. K. Çakır, Ö. Sallı Bideci, "Interpration of traditional architectural applications," *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye, 2011, pp. 75-80.
- [23] S. G. Bozkurt, "Investigation at instance of Safranbolu houses of indoor montage in Ottoman domestic architecture in 19 th century," *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*, vol. 62, no. 2, pp. 37-70, 2013.
- [24] D. Kuban, "*Türk "Hayat"lı Evi*," Eren Publisher, İstanbul, Türkiye, 1995.
- [25] H. Yürekli ve F. Yürekli, *The Turkish house: A concise re-evaluation*, Yapı-Endüstri Merkezi Publisher, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [26] E. Aksoy, "Orta mekân: Türk sivil mimarisinde temel kuruluş prensibi," *Mimarlık ve Sanat Journal*, vol. 20, pp. 39-92, 1963.
- [27] D. Özakbaş, "Development process of Istanbul domestic architecture between the years of 1923-1940," *The Journal of Academic Social Science Studies International Journal of Social Science*, vol. 40, pp. 283-309, 2015.
- [28] N. Bayazıt, "Safranbolu evlerinin plan tipolojisi ve kullanıcı ihtiyaçları hiyerarşisi," *Tasarım+Kuram Journal*, vol. 10, no. 17, pp. 1-15, 2014.
- [29] H. Ürer, "Façade systems of traditional Turkish house in Eskigediz," *Sanat Tarihi Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 189-230, 2013.
- [30] S.H., Eldem, *Türk evi plan tipleri*, ITU Faculty of Architecture Publisher, 2. Print, İstanbul, Türkiye, p. 10, 1968.
- [31] Y. Çetin, "Geleneksel Türk evinde cumba," *Sanat Tarihi Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 18-27, 2006.
- [32] B. Kahraman, "Wooden interior architectural flements in the traditional Turkish house," M.S. thesis, Institute of Science and Technology, Mimar Sinan University, İstanbul, 1997.
- [33] R. Naumann, *Eski Anadolu mimarlığı*, Türk Tarih Kurumu Publisher, Ankara, 1991.
- [34] H. Tayla, "*Geleneksel Türk mimarisinde yapı sistem ve elemanları*," Foundation for the Protection of Monuments, Environment and Tourism Values, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [35] T. Çobancaoğlu, "Türkiye'de ahşap evin bölgelere göre yapısal olarak incelenmesi ve restorasyonlarında yöntem," Ph.D. dissertation, Architecture, Institute of Science and Technology, Mimar Sinan University, İstanbul, Türkiye, 1998.
- [36] K. Güler, A. C. Bilge, "Timber frame building tradition and conservation problems of Eastern Black Sea Region," *Symposium on Restoration and Conservation of Traditional Timber Structures*, İstanbul, Türkiye, pp. 178-193, 2013.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemlerinin PVsyst ve Simulink'te İncelenmesi

 Doğukan DERE<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: dogukan.dere1@ogr.sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1206700

### ÖZ

Bu çalışma kapsamında şebekeye bağlı güneş enerjisi santrallerinde üretilen güce etki eden faktörler incelenmiştir. Kurulu gücü 500 kW olan hayali bir güneş enerjisi sistemi için gerekli panel ve evirici sayıları hesaplanmıştır. 1184 adet güneş paneli ve 10 adet eviriciyle kurulması planlanan güneş enerjisi sisteminin konumu Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi olarak seçilmiştir. Güneş enerjisi sistemi için aylık ve yıllık optimum panel açısı değerleri seçili konumun enlem değeri ve güneşin deklinasyon açıları dikkate alınarak hesaplanmıştır. 40,82° kuzey enleminde yer alan seçili konum için yıllık optimum panel açısı 31,88° olarak bulunmuştur. Güneş enerjisi sistemi PVsyst ve MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. PVsyst'de yapılan uygulamanın kapsamında çift yüzü güneş panellerinin ve albedo değerlerinin üretilen güce etkisi incelenmiştir. Albedo değerinin 0,3'ten 0,73'e çıkması durumunda üretilen yıllık enerji miktarında %10,22 artış elde edilmiştir. Aynı özelliklere sahip güneş enerjisi sistemi için PVsyst ve Simulink'te elde edilmiş yıllık üretilen enerji değerleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, Güneş paneli açısı optimizasyonu, Çift yüzü güneş paneli

## Review of Grid Connected Solar Energy Systems in PVsyst and Simulink

### ABSTRACT

In this study, the factors affecting the power produced in grid-connected solar power plants were examined. The number of panels and inverters required for the imaginary solar energy system with an installed power of 500 kW has been calculated. The location of the solar energy system, which is planned to be installed with 1184 solar panels and 10 inverters, was chosen as Kocaeli University Umuttepe campus. The monthly and annual optimum panel angle values for the solar energy system are calculated by considering the latitude value of the selected location and the sun's declination angles. The annual optimum panel angle was found to be 31.88° for the selected location located at 40.82° north latitude. The solar energy system was created in PVsyst and MATLAB/Simulink. Within the scope of the application made in PVsyst, the effect of bifacial solar panels and albedo values on the generated power was examined. If the albedo value increased from 0.3 to 0.73, an increase of 10.22% was obtained in the annual amount of energy produced. The annual produced energy values obtained in PVsyst and Simulink for the solar energy system with the same features were compared.

**Keywords:** Solar energy, Solar panel angle optimization, Bifacial solar panel

# I. GİRİŞ

Geçtiğimiz on yıl boyunca dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisinden üretilen elektriğin büyük ölçüde arttığı görülmektedir. Elektrik enerjisi üretimi aşamasında karbon salınımı sıfır olan güneş enerjisinin sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle çevresel açıdan dünyanın geleceği için büyük önem taşımaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörler arasından güneş ışınımı, sıcaklık, gölgeleme etkisi ve panel açısının optimizasyonu öne çıkmaktadır. Çift yüzlü panellerin kullanıldığı bir sistemde ise bu faktörlere ek olarak bir yüzeyin yansıtma gücünü ifade eden albedo etkisi de önem kazanmaktadır.

Ortam sıcaklığı üretilen güce etki eden en önemli parametrelerden biridir. Ortam sıcaklığına bağlı olarak panel sıcaklığının artması panel akımını düşük bir miktarda artırmakta ve panelin çıkış gerilimini doğrusal olarak azaltmaktadır [1]. Teorik olarak panel sıcaklığını bulmak için birçok model geliştirilmiştir. Bu modelleri rüzgârın dikkate alınıp alınmamasına göre incelemek mümkündür. Rüzgârın dikkate alınmadığı modeller NOCT, Lasnier, PVsyst, Akhsassi-1 ve rüzgâr etkisinin hesaba katıldığı modeller Sandia, Akhsassi-2, Mattei, Faiman modelleridir. Rüzgârın hesaba katılmadığı modeller arasında Lasnier ve PVsyst modelleri, rüzgâr etkisinin hesaba katıldığı modeller arasında Akhsassi-2 ve Sandia modelleri en iyi sonucu vermektedir [2].

Sıcak havalarda güneş panelleri aşırı ısınma sorunuyla karşılaşmaktadır. Paneller tarafından emilen enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşmektedir. PV modül verimliliği, modül sıcaklığında bir derecelik artışla yaklaşık %0,40–0,65 oranında azalmaktadır. Panel sıcaklığının 65 °C civarlarında olduğu durumda yaklaşık %17,2 ila %28 arasında kayıplar yaşanmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkların panel ömrünü kalıcı olarak kısalttığı bilinmektedir [3]. Panel sıcaklığını azaltmak için soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Literatürde yer alan birçok çalışmada sıvı soğutmalı sistemlerin hava soğutmalı sistemlere kıyasla önemli ölçüde verimi arttırdığı görülmektedir.

Seri bir dizideki her bir panel aralarındaki en düşük performanslı panelin verimliliğinde çalışmaktadır. Bir panel üzerine düşen gölge sonucu oluşacak güç kaybı seri bağlantıdaki bütün panelleri etkilemektedir [4]. Fotovoltaik sistemlerde gölgeleme etkisi sonucu çıkış gücü, akım ve verim doğrusal olarak azalmaktadır. Düzensiz biçimdeki gölgeler sistemin verimliliğini daha çok etkilemektedir. Tüm dizinin verimliliğinin etkilenmemesi için gölgelenen belirli hücrelerde baypas diyotları kullanılmaktadır [5].

Güneş panelinin eğim açısı, bir yerin enleminin ve güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açının bir fonksiyonudur. Hareketli sistemlerde güneş paneli açısını optimum hale getirmek için kuzey yarım kürede aralık ayından haziran ayına kadar panel açısı azalmakta, haziran ayından aralık ayına kadar ise panelin açısı artmaktadır [6]. Güneş paneli açısının optimize edilmesiyle hem sabit hem de hareketli sistemlerde panel üzerine düşen güneş ışınımı miktarı artmakta ve buna bağlı olarak da üretilen güç değeri artış göstermektedir.

Çift yüzlü güneş panelleri, güneş ışınımını ön ve arka yüzlerinden kullanabilmektedir. Böylelikle %35’e varan verim artışı gözlenmekte ve alan tasarrufu sağlanmaktadır. Çift yüzlü panellerde bir yüzeyin yansıtma gücünü ifade eden albedo etkisi dikkate alınmaktadır. Yüksek albedo’ya sahip zeminden yansıyan difüz ışınım, panellerin her iki tarafına da ulaşmaktadır. Sonuç olarak çift yüzlü panellerin yerleştirildiği zeminin yansıtma katsayısı büyük önem taşımaktadır [7]. Çift yüzlü güneş panellerinin yer aldığı sistemde üretilen güç değeri kısa devre akımıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Kısa devre akımını artıran temel faktörlerden birinin de yüksek albedo değeri olduğu ortaya konulmuştur [8]. Çift yüzlü güneş enerjisi sistemlerinde yüksek albedo değerlerine sahip kar ve beyaz kum kaplı zeminlerde üretilen güç değerinin %4 ila %7,5 arasında değiştiği gözlemlenmiştir [9].

Bu çalışmada güneş enerjisi sistemlerinde maksimum güç çıkışını elde edebilmek için aylık ve yıllık olmak üzere optimum güneş paneli açısı hesaplanmıştır. Aynı kurulu güç değerine sahip güneş enerjisi sistemi PVsyst ve Simulink üzerinde kurulmuş ve üretilen yıllık enerji miktarlarının birbirlerine yakın

değerler olduğu elde edilmiştir. Son olarak da PVsyst ve Simulink'te kısmi gölgeleme etkisi incelenerek üretilen güç değerinde yaşanan kayıp gözlemlenmiştir.

## II. UYGULAMA

### A. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNDE PANEL VE EVİRİCİNİN SEÇİLMESİ

Bu çalışmada Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde 500 kW'lık kurulu güce sahip çift yüzlü güneş panellerinin yer aldığı hayali bir güneş enerjisi sistemi incelenmiştir. Bu sistemde GTC photovoltaic solar systems markasına ait 425 Watt çift yüzlü mono perc güneş panelleri kullanılmıştır. %20,59 verimliliğe sahip güneş panelinin temel parametreleri Şekil 1'de yer almaktadır.

#### ÖN YÜZ ELEKTRİKSEL DEĞERLERİ

Maks. Güç $P_{max}$ (W)	410	415	420	425
Maks. Güç Voltajı $V_{MPP}$ (V)	40.65	40.74	40.82	41.08
Maks. Güç Akımı $I_{MPP}$ (A)	10.09	10.19	10.29	10.35
Açık Devre Voltajı $V_{oc}$ (V)	48.80	48.95	49.10	49.45
Kısa Devre Akımı $I_{sc}$ (A)	10.29	10.60	10.90	11.15
Modül Verimi (%)	19.80	20.10	20.34	20.59

Standart Test Koşulları (STK); 1000 W/m<sup>2</sup>, AM1.5, 25 °C, Çıkış gücü toleransı (w) +/- 3%

#### ÇİFT YÜZ İÇİN ELEKTRİKSEL DEĞERLER

+7%	Çıkış Gücü- $P_{max}$ (W)	439	444	449	455
	Modül Verimliliği (%)	21.20	21.51	21.77	22.03
+15%	Çıkış Gücü- $P_{max}$ (W)	472	477	483	489
	Modül Verimliliği (%)	22.84	23.12	23.40	23.77

#### ÇALIŞMA ŞARTLARI

Çalışma Sıcaklığı	-40°C/+85°C
Maksimum Sistem Voltajı	1500V
Maksimum Seri Sigorta Değeri	20A
Rüzgar Yüğü	2400 Pa
Kar Yüğü	5400 Pa

#### SICAKLIK KARAKTERİSTİĞİ

Sıcaklık Katsayısı ( $P_{max}$ )	-0.38%/K
Sıcaklık Katsayısı ( $V_{oc}$ )	-0.29%/K
Sıcaklık Katsayısı ( $I_{sc}$ )	0.04%/K
Normal Çalışma Sıcaklığı (NOCT)	46°C

Şekil 1. Çift yüzlü güneş panelinin temel parametre değerleri. [10]

Evirici olarak ise Huawei Technologies'e ait 55 kW'lık SUN2000-50KTL-M0 seçilmiştir. Evirici %98,7 verime ve 6 MPPT girişine sahiptir. Eviricinin girişine uygulanabilecek gerilim değeri 200 Volt ila 1000 Volt arasında değişmektedir. Eviricinin nominal giriş gerilim değeri ise 600 Volt'tur [11].

Seri bağlantı sonucu oluşacak gerilim değerini elde ederken evirici girişine uygulanacak nominal gerilim değerine yakın bir değer olması dikkate alınmaktadır. Sistemde oluşabilecek verim kayıpları da dikkate alınarak seri bağlanması gereken panel sayısı hesaplanmıştır. Standart koşullarda panellerin 16 tanesinin seri olarak bağlanması sonucunda 657,28 Volt gerilim oluşmaktadır. Bu gerilim değerinin eviricinin nominal gerilim değerine yakın olduğu görülmektedir. Bu değer Eş. 1'de elde edilmiştir.

$$16 \times \text{Panelin Maksimum Güç Voltajı} = 16 \times 41,08 = 657,28 \text{ Volt} \quad (1)$$



Eviricinin toplam güç değerinin güneş enerjisi sisteminin kurulu güç değerine yakın bir değer olması gerekmektedir. 10 adet 55 kW'lık evirici kullanılması durumunda toplamda 550 kW'lık evirici gücü oluşmakta ve bu değer kurulu güce yakın olduğu görülmektedir.

## B. AYLIK VE YILLIK OPTİMUM GÜNEŞ PANELİ AÇISININ HESAPLANMASI

Panel yüzeylerine düşen güneş ışınımı miktarının maksimum olabilmesi için güneş panellerinin açısının optimum olarak hesaplanması gerekmektedir. Aylık optimum panel açısının belirlenmesi için seçilen konumun enlem değeri ve güneşin sapma açısı değeri gerekmektedir. Güneşin sapma açısı Eş. 2 ile bulunmaktadır.

$$\delta = 23,5 \sin\left(\frac{360}{365}(J + 284)\right) \quad (2)$$

J değeri 1 ile 365 arasında değer olarak yılın günlerini ifade etmektedir. Aylık optimum panel açısı Eş. 3 ile bulunmaktadır [12].

$$\beta_{optimum} = \phi - \delta \quad (3)$$

$\phi$  enlem derecesini ve  $\delta$  güneşin sapma açısını ifade etmektedir.  $\delta$  açısının hesaplanmasında kullanılan J değeri her ayın 15. günü dikkate alınarak oluşturulmuştur. Tablo 1'de J değerine karşılık gelen güneşin sapma açısı değerleri derece cinsinden aylık olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Güneşin sapma açısı değerlerinin aylık olarak bulunması.

Aylar	Gün Sayısı (J)	$\delta$
Ocak	15	-21,62
Şubat	45	-14,33
Mart	75	-3,34
Nisan	105	8,5
Mayıs	135	18,16
Haziran	165	23,14
Temmuz	195	22,16
Ağustos	225	15,47
Eylül	255	4,79
Ekim	285	-7,11
Kasım	315	-17,19
Aralık	345	-22,84

Konum olarak 40,82° kuzey enleminde yer alan Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi seçilmiştir. Eş. 3'de yer alan  $\phi$  değeri 40,82° ve  $\delta$  değerleri Tablo 1'deki gibi alındığında Tablo 2'de yer alan aylık optimum panel açıları elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi için elde edilmiş aylık optimum panel açıları.

Aylar	Denklem	Optimum Panel Açısı
Ocak	$\beta = 40,82 - (-21,62)$	62,44°
Şubat	$\beta = 40,82 - (-14,33)$	55,15°
Mart	$\beta = 40,82 - (-3,34)$	44,16°
Nisan	$\beta = 40,82 - 8,5$	32,32°
Mayıs	$\beta = 40,82 - 18,16$	22,66°
Haziran	$\beta = 40,82 - 23,14$	17,68°
Temmuz	$\beta = 40,82 - 22,16$	18,66°
Ağustos	$\beta = 40,82 - 15,47$	25,35°
Eylül	$\beta = 40,82 - 4,79$	36,03°
Ekim	$\beta = 40,82 - (-7,11)$	47,93°
Kasım	$\beta = 40,82 - (-17,19)$	58,01°
Aralık	$\beta = 40,82 - (-22,84)$	63,66°

Hareketli bir güneş enerjisi sisteminde aylık olarak belirlenmiş optimum panel açılarını kullanmak üretilen güç değerinde artış sağlamaktadır. Güneş paneli açıları her ay belirlenen değere göre değiştirilerek güneş ışımından maksimum fayda elde edilmektedir.

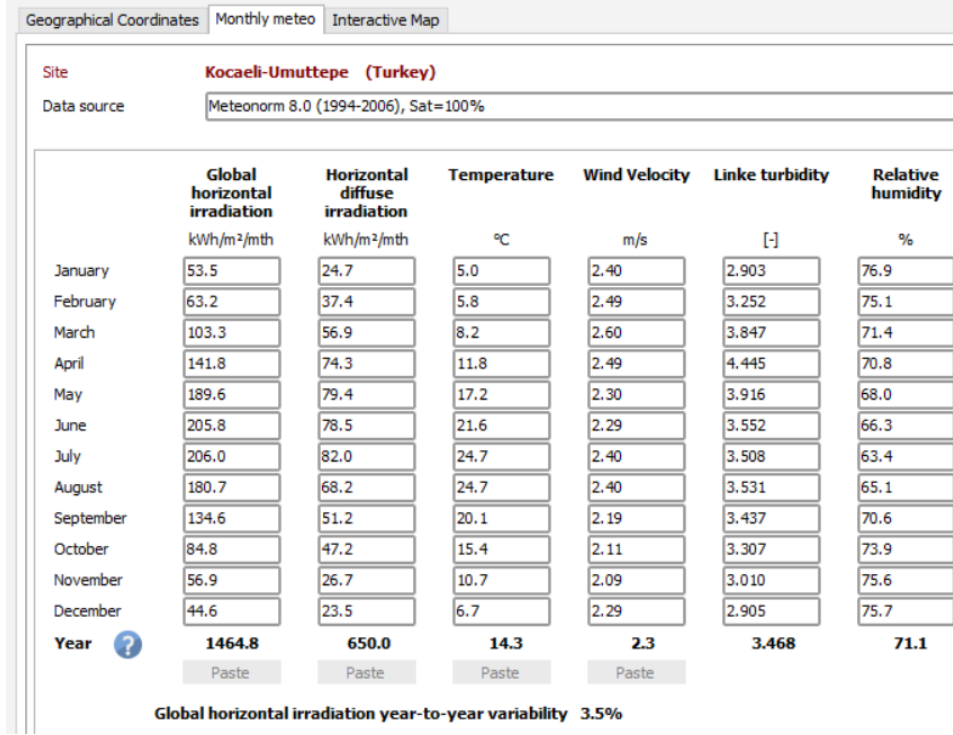
Sabit güneş panellerinin yer aldığı bir sistemde ise panel açılarını yıllık optimum panel açısına göre belirlemek gerekmektedir. Yıllık olarak optimum panel açısının belirlenmesi için Jacobson ve ark. oluşturduğu Eş. 4 kullanılmıştır [13].

$$\beta = 1,3793 + \emptyset(1,2011 + \emptyset(-0,014404 + \emptyset(0,000080509))) \quad (4)$$

$\emptyset$  enlem derecesi 40,82° olarak yerine yazıldığında yıllık optimum güneş paneli açısı Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesi için 31,88° elde edilmektedir.

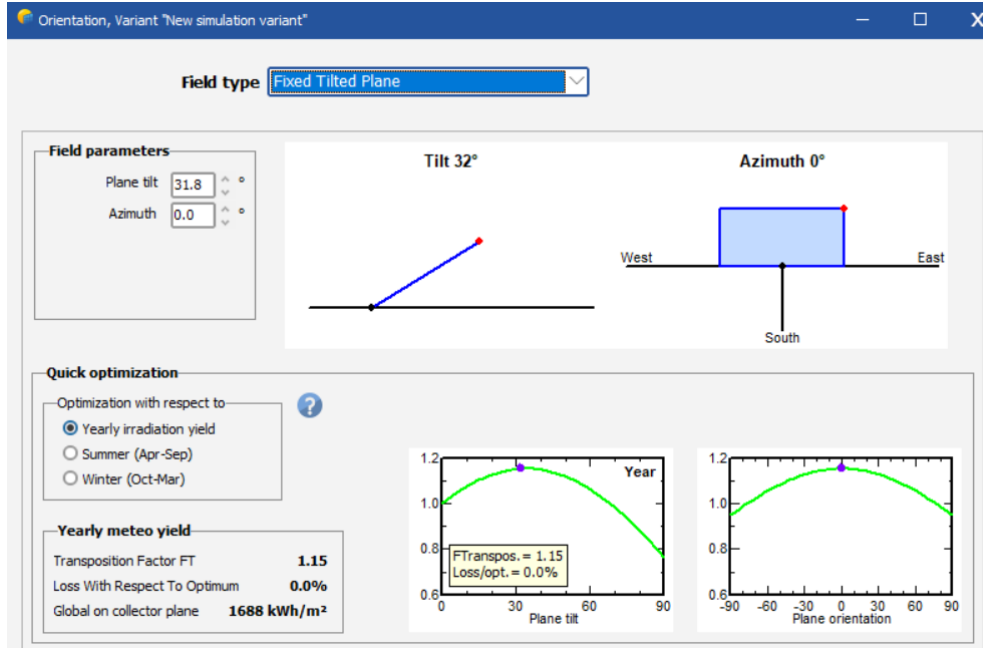
### C. PVSYSY'TE ÇİFT YÜZLÜ PANELLERLE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN KURULMASI

PVsyst, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinin simülasyonunu gerçekleştirmeyi sağlayan bir programdır. İçerdiği meteorolojik veri tabanı ve fotovoltaik sistemlerde kullanılan bileşenlerin veri tabanı sayesinde doğruluk oranı yüksek sonuçlar elde etmek mümkündür. Kurulması planlanan güneş enerjisi sisteminin harita üzerinden koordinatlarının seçilmesiyle aylık ve günlük global ışınım değerleri, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem değerleri PVsyst'de otomatik olarak oluşturulmaktadır. Şekil 2'de koordinatların seçilmesi sonrasında oluşan değerler yer almaktadır.



Şekil 2. PVsyst’de aylık güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerlerinin oluşturulması.

Koordinatların seçilmesi sonrası meteorolojik verilerin oluşturulmasının ardından Eş. 4’de hesaplanan  $31,88^\circ$  değeri yıllık optimum panel açısı olarak Şekil 3’de kaydedilmiştir.



Şekil 3. Yıllık optimum panel açısının PVsyst’e kaydedilmesi.

Çift yüzü panellerde albedo etkisi üretilen güç değerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bifacial system butonu altında albedo değeri değiştirilebilmektedir. Zeminin çimen olduğu varsayılarak albedo değeri 0,3 olarak seçilmiştir. Seri ve paralel bağlantı sayıları eviricinin girişine uygulanabilecek gerilim değerine göre belirlenmiştir. 16 panelin seri bağlanmasıyla birlikte toplamda 74 dizinin yer

aldığı 500 kW'lık bu sistemde 1184 panel 2461 m<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Kurulu güç değeri, panel tipi ve eviricinin seçilmesi Şekil 4'de yer almaktadır.

**Sub-array name and Orientation**

Name: PV Array  
Orient.: Fixed Tilted Plane  
Tilt: 31°  
Azimuth: 0°

**Pre-sizing Help**

No sizing  
 Enter planned power: 500.0 kWp  
 ... or available area(modules): 2445 m<sup>2</sup>

**Select the PV module**

Available Now: [v]  
Filter: All PV modules  
Bifacial module:  Bifacial system

GTC Solar Turkey: 425 Wp 35V SI-mono GG1H-425 Bifacial PERC 72 ce Since 2020 Manufacturer 2021

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 34.9 V  
Voc (-10°C) 54.7 V

**Select the inverter**

Available Now: [v]  
Output voltage 480 V Tri 50Hz

Huawei Technologies: 55 kW 200 - 1000 V TL 50 Hz SUN2000 50KTL Since 2016

Nb. of inverters: 10  
 Use multi-MPPT feature

Operating voltage: 200-1000 V Global Inverter's power: 550 kWac  
Input maximum voltage: 1100 V inverter with 4 MPPT

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Mod. in series: 16 (between 6 and 20)  
Nb. strings: 74 (only possibility 81)

Overload loss: 0.0 %  
Pnom ratio: 0.91

**Operating conditions**

Vmpp (60°C)	559 V
Vmpp (20°C)	660 V
Voc (-10°C)	875 V

Plane irradiance: 1000 W/m<sup>2</sup>

Impp (STC): 780 A  
Isc (STC): 827 A  
Isc (at STC): 827 A

Max. in data  
 STC

Max. operating power (at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C): 456 kW

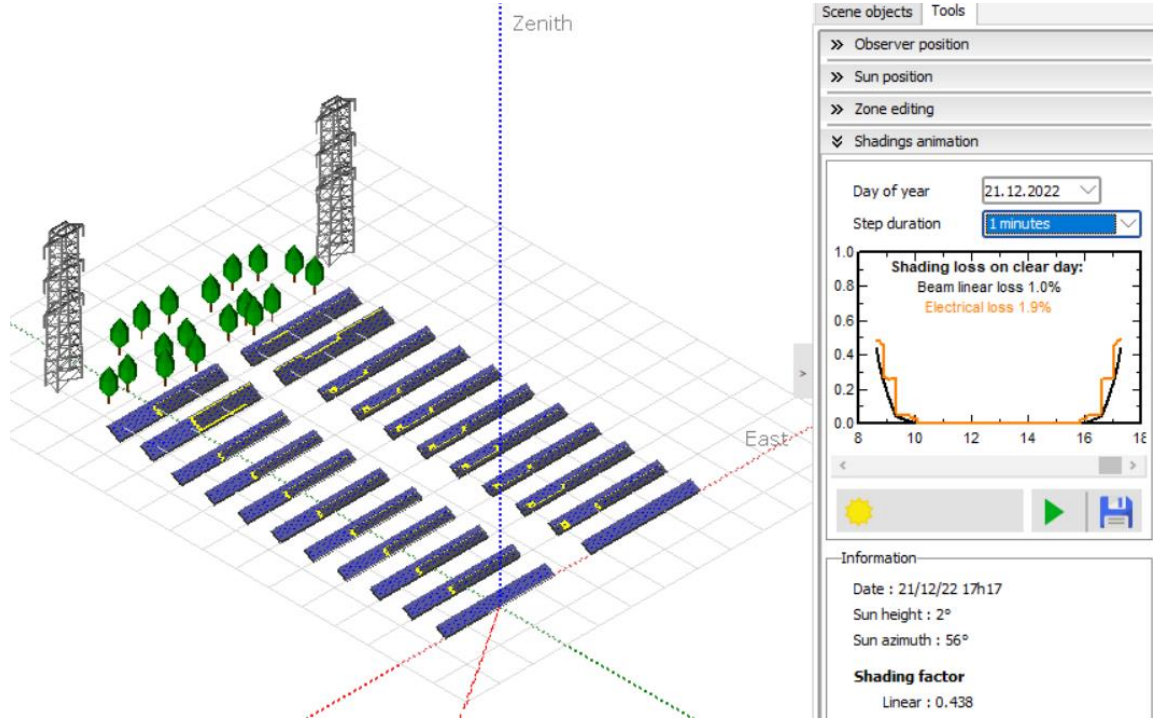
Array nom. Power (STC): 503 kWp

The inverter power is slightly oversized.

**Nb. modules: 1184 Area: 2461 m<sup>2</sup>**

Şekil 4. PVsyst'de temel bileşenlerin seçilmesi.

Gölgeleme etkisinin incelenmesi için PVsyst'de Near Shadings bölümünden sistemin 3 boyutlu simülasyonu oluşturulmuştur. Kuzey-güney doğrultusuna yerleştirilmiş paneller arasındaki mesafe, gölgeleme etkisini en aza indirmek amacıyla bir panelin dikey uzunluğunun 2 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Bir panel dizisinin x ekseninde 16 panel ve y ekseninde 3 panel olacak şekilde tasarlanmıştır. Bir panelin dikey uzunluğunun 2 metre olduğu bilindiğinden dolayı bir dizi içerisinde yer alan panellerin dikey uzunluğu 6 metre olarak hesaplanmaktadır. Kuzey-güney doğrultusundaki diziler arasındaki mesafeyi bulabilmek için bu değer 2 katı alındığında her bir dizi arasındaki mesafe 12 metre olmaktadır. Şekil 5'de gölgeleme etkisini incelemek için oluşturulan 3 boyutlu model yer almaktadır.



Şekil 5. PVsyst’de 3 boyutlu olarak gölgeleme etkisinin incelenmesi.

Simülasyon sonucunda yıllık 753 MWh enerji üretimi gerçekleşmiştir. PVsyst’de çalıştırılan simülasyon sonucu üretilen enerjiye etki eden faktörler arasında güneş ışınımı, albedo değeri, gölgeleme etkisi, sıcaklık, uyumsuzluk kayıpları, omik kablo kayıpları ve evirici kayıpları yer almaktadır.

Yerden yansıyan güneş ışınımı, toplam ışınım miktarı içerisinde yaklaşık %10’luk bir paya sahiptir. Zeminin albedo değeri güneşin yüksekliği, yağmur ve bulut gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Albedo değeri ayrıca zeminin yıpranmasına bağlı olarak zamanla da değişebilmektedir.

Mehreen Gul ve ark. yapmış olduğu ölçümlerde alüminyumun albedo değeri 0,70 ila 0,76 arasında değişmektedir [14]. PVsyst’te çift yüzlü güneş enerjisi sisteminin alüminyum kaplı bir zeminde kurulduğu varsayılarak albedo değeri 0,73 olarak alındığında üretilen yıllık enerji değeri 830 MWh olmaktadır. Yalnızca albedo değerinin değişimine bağlı olarak yıllık enerji üretiminde 77 MWh ile %10,22 artış elde edilmiştir.

#### D. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN MATLAB/SİMULİNK’TE İNCELENMESİ

MATLAB/Simulink ile kod yazmaya gereksinim duymadan birçok sistemin simülasyonu yapılabilmektedir. Simulink kütüphanesi içerisinde yer alan araç kutularıyla elektrik devreleri kurulabilmekte ve güneş enerjisi sistemleri incelenebilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin temel elemanı olan güneş panelleri PV Array bloğuyla simülasyona eklenmektedir. PV Array bloğunda güneş ışınımı ( $W/m^2$ ) ve panel sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) olmak üzere 2 giriş parametresi yer almaktadır. Modül içerisindeki elektriksel parametreleri kullanıcı değiştirebildiği gibi var olan paneller arasından seçim yapılarak da elektriksel parametreler doğrudan eklenebilmektedir. 16 seri bağlantılı panel ve 74 paralel dizi Şekil 6’daki gibi modül içerisine kaydedilmiştir.

Block Parameters: PV Array

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series. Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m2, and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters Advanced

Array data

Parallel strings 74

Series-connected modules per string 16

Module data

Module: User-defined

Maximum Power (W) 425.178

Cells per module (Ncell) 144

Open circuit voltage Voc (V) 49.05

Short-circuit current Isc (A) 11.15

Voltage at maximum power point Vmp (V) 41.08

Current at maximum power point Imp (A) 10.35

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C) -0.29

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C) 0.04

Display I-V and P-V characteristics of ...

array @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T\_cell (deg. C) [ 45 25 ]

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A) 11.1694

Diode saturation current I0 (A) 2.4038e-11

Diode ideality factor 0.49417

Shunt resistance Rsh (ohms) 124.9932

Series resistance Rs (ohms) 0.21775

OK Cancel Help Apply

**Şekil 6.** Modülün elektriksel parametrelerinin belirlenmesi ve bağlantı sayılarının girilmesi.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe yerleşkesinde deneysel olarak ölçülen 2014 yılına ait aylık ortalama ışınım ve ortam sıcaklığı değerleri Tablo 3’de yer almaktadır [15].

**Tablo 3.** Kocaeli üniversitesi Umuttepe yerleşkesine ait aylık ortalama ışınım ve sıcaklık değerleri [15].

Aylar	Ortalama günlük ışınım ( $W/m^2$ )	Ortalama ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
Ocak	111,44	9
Şubat	140,13	9,71
Mart	176,27	11,87
Nisan	204,01	16,12
Mayıs	212,6	19,7
Haziran	243,58	23,6
Temmuz	267,19	26,8
Ağustos	265,34	27,1
Eylül	200,24	21,26
Ekim	133,44	16,26
Kasım	95,18	11,41
Aralık	74,27	8,76

Simulink'te PV array bloğunda sıcaklık değeri olarak panel sıcaklığı değeri dikkate alındığından dolayı deneysel olarak elde edilmiş ortam sıcaklığı değerlerinden teorik panel sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri Lasnier yaklaşımıyla bulunmuştur. Monokristal panellerin sıcaklığının teorik olarak elde edilmesinde Lasnier yaklaşımı doğruya en yakın sonucu veren matematiksel modeller arasında yer almaktadır [16]. Lasnier yaklaşımı Eş. 5 ile ifade edilmektedir.

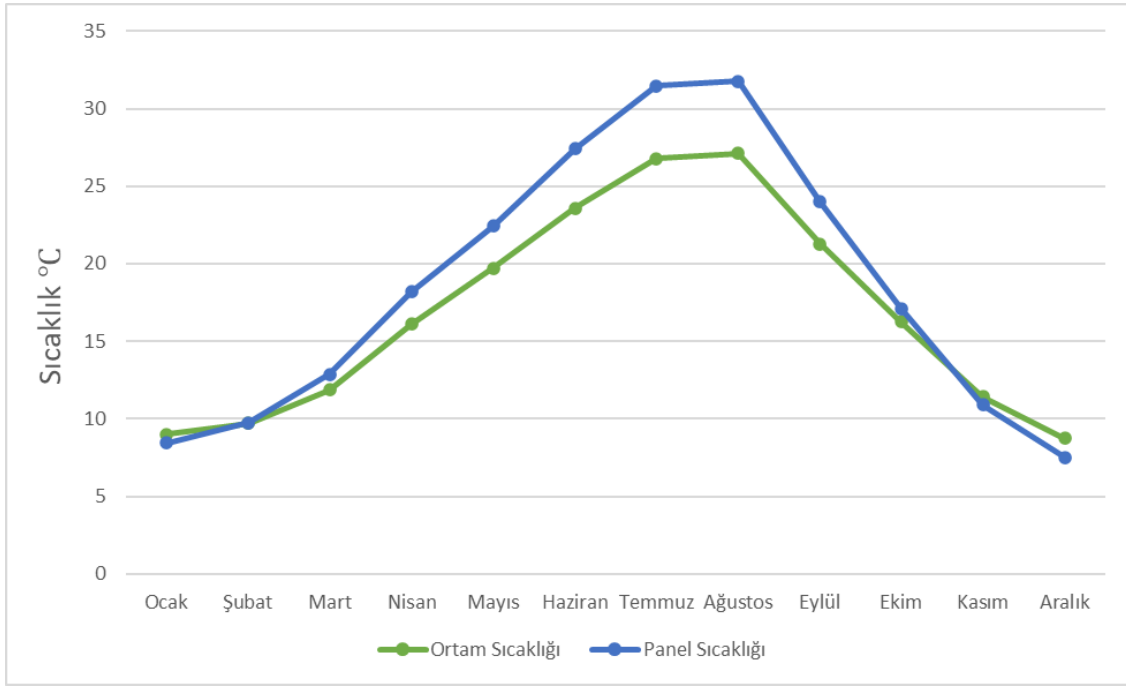
$$T_c = 30 + 0,0175(G_g - 300) + 1,14(T_a - 25) \quad (5)$$

$T_c$  panel sıcaklığını,  $G_g$  modül ışınımını ve  $T_a$  ortam sıcaklığını ifade etmektedir. Tablo 3'deki ışınım ve ortam sıcaklık değerleri Eş. 5'de yerine yazıldığında Tablo 4'deki aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri elde edilmektedir.

**Tablo 4.** Aylık ortalama panel sıcaklığı değerlerinin Lasnier yaklaşımıyla bulunması.

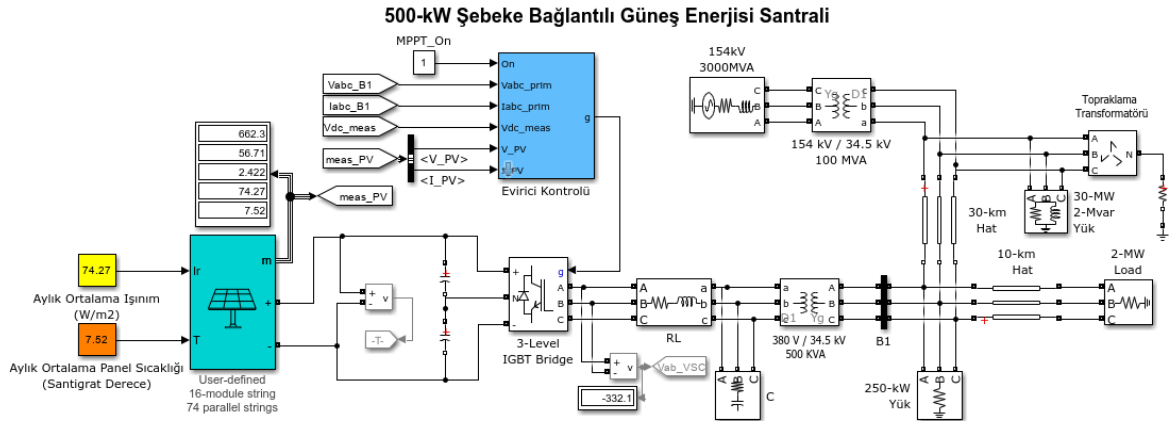
Aylar	Ortalama panel sıcaklığı (°C)
Ocak	8,46
Şubat	9,76
Mart	12,86
Nisan	18,19
Mayıs	22,42
Haziran	27,41
Temmuz	31,47
Ağustos	31,78
Eylül	23,98
Ekim	17,11
Kasım	10,91
Aralık	7,52

Şekil 7'de aylık ortalama ortam sıcaklığı verileri ile teorik olarak elde edilen panel sıcaklığı verileri yer almaktadır. Yaz aylarında sıcaklık farkının arttığı görülmektedir.



Şekil 7. Aylık ortalama ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı değerleri.

Simulink'te oluşturulan Şekil 8'deki güneş enerjisi sisteminde Tablo 3'de yer alan aylık ortalama ışınım ve Tablo 4'de yer alan aylık ortalama panel sıcaklığı değerleri giriş parametreleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 8. Simulink'te Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sisteminin Oluşturulması.

Farklı aylar için simülasyon çalıştırıldığında Tablo 5'de yer alan panel gerilimi, panel akımı, diyot akımı ve panellerde üretilen toplam güç değerleri elde edilmektedir.



**Tablo 5.** Farklı aylarda panellerde oluşan gerilim, akım, diyot akımı ve güç değerleri.

Aylar	Aylık ortalama panel sıcaklığı (°C)	Aylık ortalama ışınım ( $W/m^2$ )	Panel gerilimi (V)	Panel akımı (A)	Diyot akımı (A)	Panellerde Üretilen Toplam Güç (kW)
Ocak	8,46	111,44	669,3	85,11	3,61	56,96
Şubat	9,76	140,13	671	107,1	4,54	71,86
Mart	12,86	176,27	668	134,8	5,8	90,04
Nisan	18,19	204,01	657,2	156,2	6,91	102,65
Mayıs	22,42	212,6	647,8	162,8	7,53	105,46
Haziran	27,41	243,58	637,8	186,8	8,88	119,14
Temmuz	31,47	267,19	629,8	205	10,1	129,1
Ağustos	31,78	265,34	628,7	203,6	10	128
Eylül	23,98	200,24	642,5	153,5	7,15	98,62
Ekim	17,11	133,44	651,1	102,1	4,59	66,47
Kasım	10,91	95,18	658,9	72,78	3,11	47,95
Aralık	7,52	74,27	662,3	56,71	2,42	37,57

## E. PVSYST VE SİMULİNK'TE ELDE EDİLEN ENERJİ DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

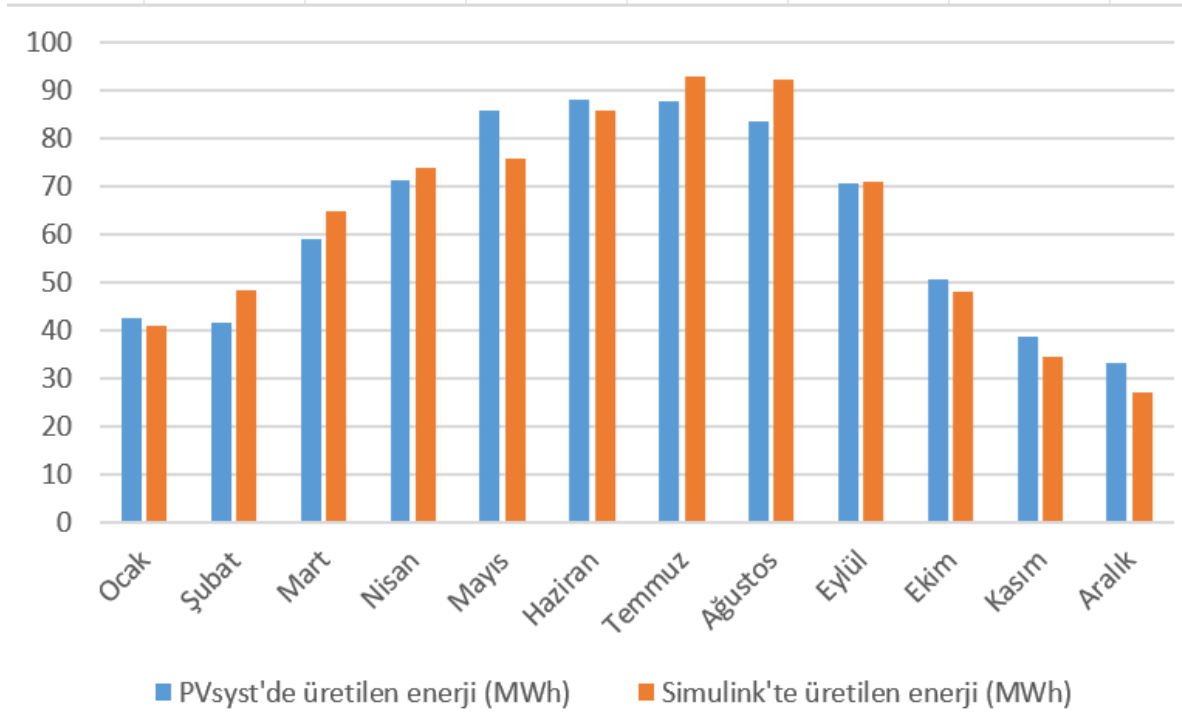
Elektriksel özellikleri ve kurulu gücü aynı olan güneş enerjisi sistemleri PVsyst ve Simulink'te oluşturulmuştur. PVsyst'de üretilen gücün belirlenmesinde panel açısı, gölgelenme etkisi, albedo etkisi, uyumsuzluk kayıpları, kablolama kayıpları vb. faktörler hesaba katılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri Simulink'te oluşturulduğunda giriş parametreleri olarak panel sıcaklığı ve ışınım değerleri kullanılmaktadır. Simulink'te farklı MPPT metotları kullanılabilen ve panellerde oluşan akım, gerilim ve diyot akımı değerleri gözlenebilmektedir. Tablo 5'de yer alan panellerde üretilen toplam güç değerleri kullanılarak Simulink'te enerji değerleri elde edilmiştir. Aylık olarak Simulink'te üretilen enerji değeri, panellerde üretilen toplam güç değerinin bir ay içerisindeki toplam saat sayısı ile çarpımı sonucu bulunmuştur.

PVsyst ve Simulink'te oluşturulan kurulu gücü 500 kW olan tek yüzlü güneş enerjisi sisteminde panellerde oluşan enerji miktarları Tablo 6'da yer almaktadır.

**Tablo 6.** PVsyst ve Simulink'te aylara göre panellerde oluşan enerji miktarı (MWh).

Aylar	PVsyst'de üretilen enerji (MWh)	Simulink'te üretilen enerji (MWh)
Ocak	42,51	41,01
Şubat	41,61	48,28
Mart	58,96	64,82
Nisan	71,38	73,90
Mayıs	85,88	75,93
Haziran	87,90	85,78
Temmuz	87,87	92,95
Ağustos	83,64	92,16
Eylül	70,66	71
Ekim	50,57	47,85
Kasım	38,69	34,52
Aralık	33,14	27,05

Şekil 9'da PVsyst ve Simulink'te üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

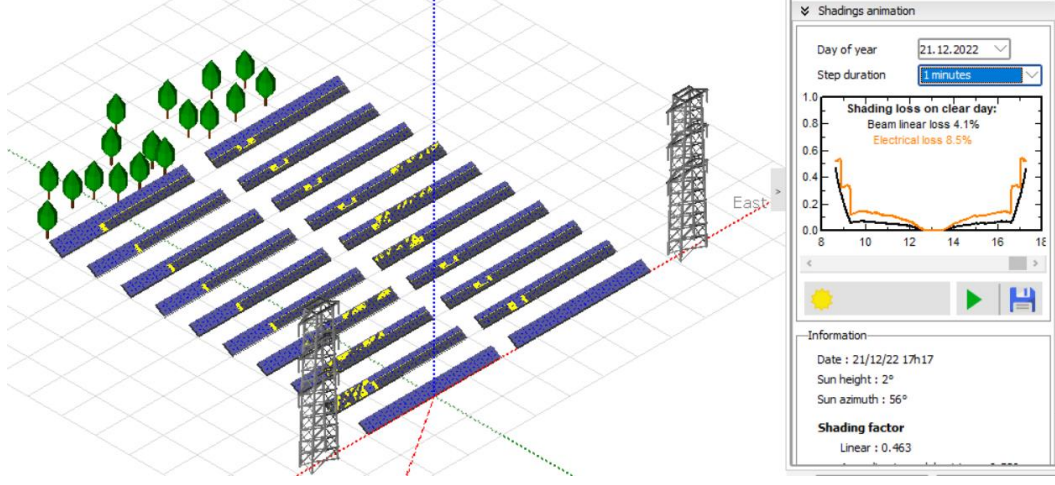


**Şekil 9.** Üretilen enerji değerlerinin karşılaştırılması.

500 kW'lık kurulu güce sahip güneş enerjisi sistemi için PVsyst'de yıllık üretilen toplam enerji değeri 753 MWh iken Simulink'te bu değer 755,25 MWh olmaktadır. İki farklı simülasyon sisteminde ortaya çıkan sonucun birbirine yakın değerler oldukları görülmektedir.

## F. PVSYST VE SİMULINK'TE KISMI GÖLGEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

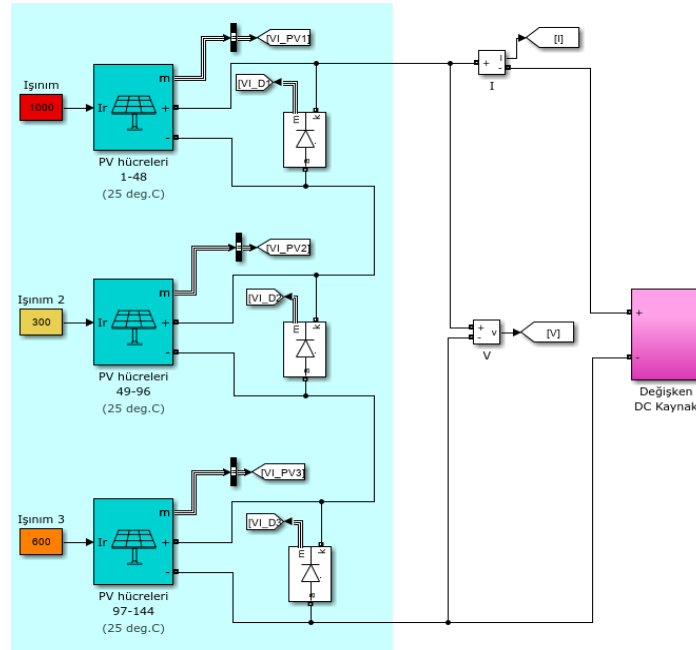
PVsystem'de kısmi gölgeme etkisini incelemek için Şekil 5'de yer alan güneş enerjisi sistemindeki iletim hatları paneller üzerinde gölge oluşturacak şekilde yerleştirildiğinde Şekil 10'daki model elde edilmiştir.



Şekil 10. Kısmi gölgeme etkisinin PVsystem'de incelenmesi.

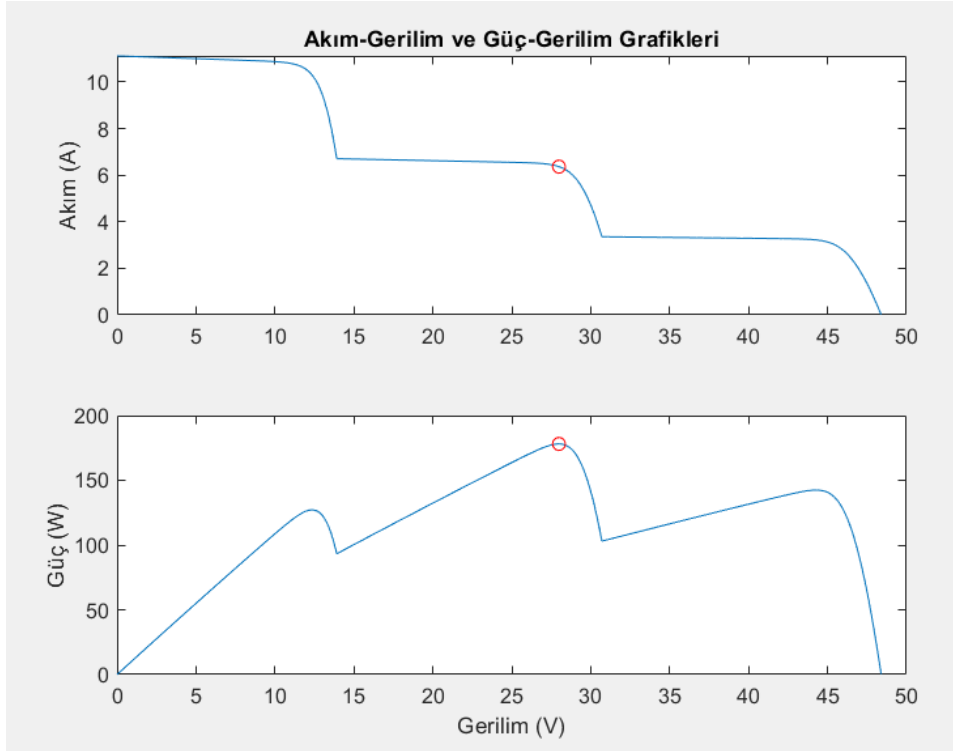
İletim hatlarının gölgesi sebebiyle güneş panellerinde elektriksel kayıp %8,5 olmaktadır. Aynı güneş enerjisi sistemi için iletim hatlarının güneş panellerinin arkasında konumlandığı durumda üretilen yıllık enerji değeri 753 MWh iken kısmi gölgemenin olduğu Şekil 10'daki modelde üretilen yıllık enerji değeri 738 MWh olmaktadır.

Simulink'te kısmi gölgeme etkisinin incelenmesi için Şekil 11'deki model kullanılmıştır. Farklı ışınım değerlerinin bir güneş paneli üzerindeki etkisinin yer aldığı bu model ile kısmi gölgeme etkisi incelenmektedir. Bir güneş paneli üzerine aynı zaman diliminde 1000 W/m<sup>2</sup>, 300 W/m<sup>2</sup> ve 600 W/m<sup>2</sup> ışınım değerleri uygulanmıştır.



Şekil 11. Bir panel üzerine düşen farklı ışınım değerleriyle kısmi gölgeme etkisinin incelenmesi.

Paneller üzerinde kısmi gölgelemenin olduğu durumda akım-gerilim ve güç-gerilim arasındaki ilişki Şekil 12’de yer almaktadır. Maksimum güç noktasının 27,98 V gerilim ve 6,36 A akım değerlerinde 177,95 W olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Karakteristikleri.

### III. SONUC

Bu makale kapsamında şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde üretilen güce etki eden faktörler PVsyst ve Simulink’te incelenmiştir. 500 kW’lık kurulu güce ve 55 kW’lık eviricilere sahip hayali bir güneş enerjisi sistemi için yapılan hesaplamalar sonucuna uygun olarak seri bağlanması gereken güneş paneli sayısı belirlenmiştir. Güneş panellerinin seri bağlanması sonucu oluşacak gerilim değeri eviricinin girişine uygulanabilecek nominal gerilim değerine yakın bir değer olması gerekmektedir.

16 panelin seri bağlanmasıyla birlikte toplamda 74 dizinin yer aldığı 500 kW kurulu güce sahip güneş enerjisi sisteminde 1184 panelin kullanılması gerektiği PVsyst ile hesaplanmıştır. Ayrıca güneş panellerinin kapladığı alanın 2461 m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür.

Hareketli bir güneş enerjisi sisteminde aylık optimum güneş paneli açısı kullanılması gerekmektedir. Aylık optimum güneş paneli açısı, seçilen tarihte güneşin yükseklik açısının tümleyen değerinden az olmaması gerektiği dikkate alınarak hesaplanmıştır. Güneş panellerinin hareket etmediği sabit bir sistemde ise yıllık optimum güneş paneli açısı kullanılmaktadır. Yıllık optimum güneş paneli açısı değeri seçilen konum için 31,88° olarak bulunmuştur.

PVsyst’de kurulan güneş enerjisi sistemiyle çift yüzlü güneş panellerinin ve albedo değerinin üretilen güce etkisi incelenmiştir. Alan kısıtı olan güneş enerjisi sistemlerinde zeminin albedo değerinin artırılması ve çift yüzlü güneş panellerinin kullanılması dikkate değer bir enerji üretimi artışı sağlamaktadır. Albedo değerinin 0,3’ten 0,73’e çıkması durumunda üretilen yıllık enerji miktarında %10,22 artış olduğu görülmüştür.

Simulink'te güneş panelinin giriş parametresi olarak panel sıcaklığı değeri kullanıldığından dolayı ortam sıcaklığından panel sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Simülasyon çalıştırıldığında her ay için ortalama panel gerilimi, panel akımı ve diyot akımı değerleri elde edilmiştir. Panel sıcaklığı arttıkça panel geriliminin düştüğü ve güneş ışınımı arttıkça panel akımının arttığı gözlemlenmiştir.

PVsyst'de kurulan güneş enerjisi sisteminde güneş paneli açısı, kısmi gölgeleme etkisi, çift yüzü paneller, albedo değeri, sıcaklık, LID, uyumsuzluk, kirlilik, panel yaşlanması ve evirici kayıpları gibi birçok faktör hesaba katılırken Simulink'te güneş ışınımı, panel sıcaklığı ve çeşitli MPPT yöntemleri üretilen güce etki etmektedir. 500 kW kurulu güce sahip hayali bir güneş enerjisi sistemi için PVsyst'de yıllık üretilen toplam enerji değeri 753 MWh iken Simulink'te bu değer 755,25 MWh olduğu görülmüştür. İki farklı simülasyon sisteminden birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinde oluşan kayıpların etkisi ve kısmi gölgeleme etkisi PVsyst'de detaylı bir şekilde incelenebilirken Simulink'te ise ışınım ve panel sıcaklığına bağlı olarak akım, gerilim ve güç grafikleri oluşturulabilmektedir.

## **IV. KAYNAKLAR**

- [1] A. Karafil, H. Özbay, M. Kesler, "Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi," *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Türkiye, 2016.
- [2] M. Zouine, M. Akhsassi, N. Erraissi, N. Aarich, "Mathematical Models Calculating PV Module Temperature Using Weather Data: Experimental Study," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018.
- [3] P.J.Y. Chua, S.E.R. Tay, "Comparative Discussion of Active and Passive Cooling of PV Modules-Are We Doing It Right?," *47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2020.
- [4] A. Sharma, N. Singh, S.K. Gawre, "Operational Losses of a Solar Power Plant: a Case Study," *2021 IEEE 2nd International Conference on Electrical Power and Energy Systems*, 2021.
- [5] A.K. Singh, R.R. Singh, "An Overview of Factors Influencing Solar Power Efficiency and Strategies for Enhancing," *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies*, 2021.
- [6] A. Awasthi, M.A. Kallioğlu, A. Sharma, A. Mohan, R. Chauhan, T. Singh, "Solar collector tilt angle optimization for solar power plant setup-able sites at Western Himalaya and correlation formulation," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2022.
- [7] A. A. Mehadi, M. M. Nishat, F. Faisal, A. R. H. Bhuiyan, M. Hussain and M. A. Hoque, "Design, Simulation and Feasibility Analysis of Bifacial Solar PV System in Marine Drive Road, Cox's Bazar," *2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCT)*, Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 1-6.
- [8] M. Leonardi *et al.*, "Effects of solar spectrum and albedo on the performance of bifacial Si heterojunction mini-modules," *2022 IEEE 49th Photovoltaics Specialists Conference (PVSC)*, Philadelphia, PA, USA, 2022, pp. 0567-0569.
- [9] T. C. R. Russell, R. Saive, A. Augusto, S. G. Bowden and H. A. Atwater, "The Influence of Spectral Albedo on Bifacial Solar Cells: A Theoretical and Experimental Study," in *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 7, no. 6, pp. 1611-1618, 2017.






- [10] GTC photovoltaic solar systems, Çift yüzlü cam panel [Çevrimiçi] Erişim: <http://gtctrade.com/wp-content/uploads/2022/02/GG1H-72-425-tr-02-22.pdf>
- [11] SUN2000-50KTL-M0 Smart string inverter [Çevrimiçi] Erişim: <https://solar.huawei.com/-/media/Solar/attachment/pdf/mea/datasheet/SUN2000-50KTL-M0.pdf>
- [12] H.N. Muslim, A. Alkhazraji, “Management of electricity peak load for residential sector in Baghdad city by using solar generation,” *International Journal of Energy and Enviroment*. vol. 8, pp. 63-72, 2017.
- [13] M.Z. Jacobson, V. Jadhav, “World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels,” *Solar Energy*, vol. 169, pp. 55-66, 2018.
- [14] M. Gul, Y. Kotak, T. Muneer, S. Ivanova, “Enhancement of Albedo for Solar Energy Gain with Particular Emphasis on Overcast Skies,” *Energies*, 2018.
- [15] A. Alkan, “Yenilenebilir hibrit enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi,” Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2016.
- [16] M. Zouine, M. Akhsassi, N. Erraissi, N. Aarich, “Mathematical Models Calculating PV Module Temperature Using Weather Data: Experimental Study,” *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Çok Boyutlu Yaklaşım ile Ürün Performans Ölçümü: Deneysel Bir Çalışma

 Muhammet Enis BULAK<sup>a\*</sup>,  Fatma Serra ÇİFTÇİ<sup>a</sup>,  Tuğba Yasemin KARAGÖZ<sup>b</sup>,  Selin TAŞER<sup>c</sup>,  
 Adeeb A. KUTTY<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Mühendislik Fakültesi, İşletme Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Turkcell, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>d</sup> Katar Ulaşım ve Trafik Güvenliği Merkezi, Mühendislik Fakültesi, Katar Üniversitesi, Doha, KATAR

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [muhammetenis.bulak@uskudar.edu.tr](mailto:muhammetenis.bulak@uskudar.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1092747

### ÖZ

Kullanılabilirlik, ürün tasarımının ve kullanımının başarılı olmasını sağlayan önemli bir konu olarak kabul edilir. Günümüzde kullanıcıların birçok görevi yerine getirmelerini sağlayan ve yazılım ile donanımsal yönleri olan akıllı telefonlar için ise kullanılabilirlik son derece kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada akıllı telefon kullanıcılarının beklentileri dikkate alınarak tasarım, müşteri odaklılık, kalite, inovasyon, kullanılabilirlik ve kullanıcı algısı değişkenlerini içeren kavramsal bir kullanılabilirlik değerlendirme modeli önerilmiştir. Önerilen modelin güvenilirliği ve geçerliliği, 417 akıllı telefon kullanıcılarından toplanan anket verileri ile yapısal eşitlik modeli (YEM) kullanılarak test edilmiştir. Bulgular ve sonuçlar, akıllı telefon tasarımcıları ve pazarlama çalışanlarına akıllı telefonların kullanılabilirliği için kullanıcıların ihtiyaçlarını tespit etmelerini sağlarken; kullanıcılara ise modelin oluşturduğu indeks puanlarına göre akıllı telefonlara ait kritik yönleri gözlemlenmede stratejik bilgiler sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı telefonlar, Kullanılabilirlik, Yapısal eşitlik modeli, Ölçüm modeli, Ürün tasarımı

## Product Performance Measurement with a Multidimensional Approach: An Empirical Study

### ABSTRACT

Usability is considered an important issue that ensures successful product design and use. Today, usability is of critical subject for smartphones that enable users to perform many tasks with software and hardware aspects. In this study, a conceptual usability evaluation model including design, customer focus, quality, innovation, usability, and user perception variables is proposed considering the expectations of smartphone users. The reliability and validity of the proposed model were tested using the structural equation model (SEM) with survey data collected from 417 smartphone users. The findings and results lead smartphone designers and marketing professionals to identify users' needs for smartphone usability. Moreover, this study provides users with strategic information in observing critical aspects of smartphones based on the index scores revealed by the model.

**Keywords:** Smart phones, Usability, Structural equation model, Measurement model, Product design

# I. GİRİŞ

Ürünler, hedeflenen müşterilerin ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tasarlanır ve üretilir. Tasarımın ilk amacı, gereksinimleri belirlemek ve bir ürünü üretmek veya işlem uygulamak için bir yol haritası belirlemektir [1]. Müşteriler bir ürünü satın almak niyetinde olduklarında, ürünün performansının iyi olmasını, ihtiyaçlarını karşılamasını ve kullanımının kolay olmasını bekler. Bu açıdan kullanılabilirlik kavramı, ürün geliştirmede önemli bir kriter olarak kabul edilir ve ürünün başarısına direkt olarak etki eder [2]-[3].

Mobil iletişim alanında teknoloji ve insan ihtiyaçlarının gelişmesi, tüketici elektroniği sektörünün en dinamik, rekabetçi ve son trend ürünü olan akıllı telefonların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Cep telefonu endüstrisi, son yıllarda önemli ölçüde gelişmiş ve pazarda rekabetçi bir endüstri halini almıştır [4].

Akıllı telefonların başlıca işletim sistemleri incelendiğinde Android (Google), iOS (Apple), Windows Phone (Microsoft), RIM Bada ve Symbian sıkça kullanılanların başında yer almaktadır. Akıllı telefonlardaki güvenlik ve uygulamalar işletim sistemlerine göre belirlenir [5]. Android, 2022 yılında dünya çapında akıllı telefonların yüzde 69'unda kullanılan bir işletim sistemi olarak pazarın lideri konumunda yer almıştır. Öte yandan, akıllı telefonların yaklaşık %15'inde iOS işletim sistemleri kullanılmaktadır. Pazardaki satış rakamlarına bakıldığında, Samsung ve Apple'ın sırasıyla %25 ve %15 pazar payları ile lider konumda bulunduğu görülürken; Huawei, OPPO ve Viva ise bu iki markadan sonra pazarda kendilerine yer bulan diğer markalardır.

Son on yılda teknolojik gelişmeler, iletişimden ulaşım ve sağlık hizmetlerine kadar çeşitli sorunlara hızlı ve erişilebilir çözümler sağlamıştır [6]. Son araştırmalar, ürünleri satın alma söz konusu olduğunda, tüketicilerin daha fazla özellik ve hizmet sunan ürünleri satın alma olasılıklarının daha yüksek olduğunu doğrulamıştır. [7]. Kullanıcıların daha kaliteli ve faydalı ürünlere yönelmesi akıllı telefon pazarındaki yoğun rekabetle birleşince yeni özelliklerin ürünlere daha hızlı entegre edilmesini sağlamıştır [8]. Araştırmalar, kullanıcıların, pratikte kullanımları zor fakat çeşitli yüksek özellikler sunan akıllı telefon ve tablet modellerini, daha düşük özellikli muadillerinden daha çok tercih ettiğini göstermiştir [9].

Ürün tasarımı ve geliştirmeye yönelik geleneksel yaklaşım, işlevsel olarak başarılı ürünler üretmeye odaklanmak olmuştur. Ancak günümüzün oldukça rekabetçi pazarında, bu yaklaşım artık başarıyı sağlamak için yeterli değildir. Şirketler, ürünlerinin kullanıcı deneyimini dikkate almalı ve ürünlerin müşteri ihtiyaçlarını karşılamasını sağlamalıdır. Bu, hem ürün performansı hem de tasarım açısından müşteri taleplerini karşılayabilecek ürünlerin yanı sıra kullanımı kolay ürünler tasarlamayı da içerir [10]-[11]. Bu açıdan kullanıcılar ürünü kullanmaya başladıktan sonra kullanılabilirlik onlar için temel bir konu haline gelmektedir [12].

Kullanıcı merkezli ve hedef tabanlı tasarım yaklaşımının, özellikle tuş vuruşlarının azaltılmasında ve özelliklerin, amaçlanan görevi başarmak için özellikle gerekli olanlarla sınırlandırılmasında etkili olduğu bulunmuştur. Özellikler gerekli olanlarla sınırlandırılarak kullanıcı arayüzü iyileştirilmiş ve ürünün kullanılabilirliği artırılmıştır [13]. Sonuç olarak, mevcut durum, akıllı telefon üreticilerinin dikkate alması gereken iki konuyu gündeme getirmiştir: satışları en üst düzeye çıkarmak için yüksek özellikli bir ürün üretmek ve müşteri değerini artırmak için özellik sayısını sınırlamak [14]. Bu anlamda, Zhang ve diğ. tarafından yürütülen araştırmaya göre [15], ürün kullanılabilirliği, kullanıcılar için ürün seçiminde en önemli faktörlerden biridir. Bu araştırma, tasarımcıların ve üreticilerin müşteri memnuniyetini artırmak için ürün geliştirme aşamalarında kullanılabilirlik kavramını dikkate almaları gerektiğini vurgulamaktadır.

Akıllı telefonların kullanılabilirlik boyutu değerlendirilirken geleneksel modellerin müşteri ihtiyaçlarını her yönden kapsamlı bir şekilde değerlendiremediği problemi ortaya çıkmıştır. Bu anlamda, daha kapsayıcı boyutlar içeren yeni bir model ihtiyacı doğmuştur. Önerilen kullanılabilirlik değerlendirme modeliyle, akıllı telefon üreticilerinin ve tasarımcılarının hedef müşterilerinin ihtiyaçlarının en iyi şekilde karşılanması amaçlanmıştır.



Çalışmanın bundan sonraki bölümleri incelendiğinde, literatür araştırması kısmında, kullanılabilirliğin tanımındaki ve boyutlarındaki değişimi gösteren örnek çalışmalardan bahsedilmiştir. Materyal ve metot bölümünde, kavramsal olarak model, öncülleriyle ve sonuçlarıyla açıklanmış, modelin öğeleri birtakım değişkenlerle incelenmiş, bu değişkenler bir anketle ölçülmüş ve elde edilen veriler güvenilirlik ve geçerlilik testleriyle irdelenmiştir. Bulgular ve tartışma kısmında ise, öne sürülen modeldeki faktörler arasındaki ilişkiler tahmin edilmiştir. Son olarak, sonuç ve öneriler bölümünde, faktörlerin, kullanılabilirlik üzerindeki etkileri sıralanmış ve öne sürülen model ile gelecekte bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara ve akıllı telefon üreticilerine nasıl ilerleyebilecekleri noktasında tavsiyelerde bulunulmuştur.

## **II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Başlangıçta, kullanılabilirlik kavramı bilgisayar kullanımı ve yazılım geliştirmeye odaklanmış ve insan bilgisayar etkileşimi literatüründe sıklıkla yer almıştır [16]. Bununla birlikte, alan büyüdükçe, kullanılabilirliğin kapsamı, mobil uygulamalar, web sayfaları ve akıllı cihazlar gibi teknolojiyle ilgili diğer bağlamları içerecek şekilde giderek genişlemiştir [17]. Kullanılabilirliği tanımlamak için kullanılan terimler, son araştırmalarda ortaya çıkan şu üç temel terimle zaman içinde gelişmektedir: "kullanım kolaylığı", "kullanıcı dostu olma" ve "kullanıcı tarafından algılanan kalite" [18]. Son yıllarda kullanılabilirlik, geleneksel ve eski yaklaşımlardan daha fazlasını dikkate alan daha geniş bir perspektiften giderek daha fazla incelenmektedir. "İnsan merkezli yaklaşım" olarak adlandırılan bu yeni bakış açısı, kullanıcıların bilişsel ve sosyal özelliklerinin yanı sıra öğrenme ve sisteme uyum sağlama sürelerini de dikkate almaktadır. Bu yaklaşım, kullanıcıların bir sistemin tek parçası olduğu varsayımına meydan okur ve daha kapsamlı bir kullanılabilirlik görüşü sunar [19]-[20].

Kullanılabilirliğin pek çok farklı tanımı olsa da, bu terime kullanıcıların onlarla nasıl etkileşime girdiğine odaklanarak sistemleri tasarlamayı ve değerlendirmeyi içeren ortak bir yaklaşım vardır [21]. ISO 9241-11 [22], kullanılabilirliği, "bir ürünün belirlenmiş kullanıcılar tarafından belirli bir kullanım bağlamında etkinlik, verimlilik ve memnuniyet ile belirli hedeflere ulaşmak için kullanılabilmesinin derecesi" olarak tanımlar. Kullanılabilirlik diğer taraftan verimlilik ile ilişkilendirilerek belirlenen hedeflere ulaşabilme olarak tanımlanırken; öte yandan bir ürünün belirlenen bir amaca yönelik olarak kullanımından duyulan memnuniyet derecesi olarak da ifade edilebilir. Ürün kullanılabilirliğinin farklı yönlerini incelemek için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin; Mazuz ve diğ. [23], yaşlıların yaşadıkları fiziksel düşme olaylarını günlük kaydedebilecekleri ve bu düşmeleri azaltacak egzersiz videolarını izleyebilecekleri bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu uygulamanın kullanılabilirliğini de, kullanılabilirlik ve müşteri beklentilerini karşılama kriterleriyle değerlendirmişlerdir. Garcia ve diğ. [24], üç farklı kodlama dili üzerinde, müşteri beklentilerini karşılama ve kullanım kolaylığı kriterleriyle, kullanılabilirlik deneyi gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda da, bu çalışmada, bir kodlama dilinin tasarımının, kullanılabilirlik üzerindeki etkisinden de bahsedilmiştir.

Gordieiev [25], bir yazılım arayüzünün kullanılabilirliğinin değerlendirmesini, kalite faktörünü dahil ederek yapmıştır. Al-Kinani ve diğ. ise [26], bir gazete uygulamasının, inovasyon, kalite ve estetik açısından kullanılabilirliğini ölçmüşlerdir.

Sánchez-Morales ve diğ. [27], okul öncesi çocuklardaki okuma-yazma eksikliklerini tespit etmek için tasarlanmış bir oyunun prototipini geliştirmişlerdir. Bu prototipin kullanılabilirliğini de tasarım ve kullanıcı algısı faktörleriyle ölçmüşlerdir.

Hanghoj ve diğ. ise [28], ergenlere ve genç yetişkinlere yönelik bir cep telefonu uygulamasının, kanser tedavisi sırasında ve sonrasında kullanılabilirliğini, tasarım ve kullanılabilirlik faktörleriyle değerlendirmişlerdir.

Kullanılabilirlik ile ilişkili olan faktörler birçok alanda değişkenlik göstermektedir. Tablo 1 literatürde kullanılabilirliğin ve onun ilişkili öğelerinin, ürünün birçok farklı boyutuna etki ettiğini gösteren çalışmaları içermektedir. Bu boyutlar tasarım, müşteri memnuniyeti, kalite, güven, müşteri odaklılık, marka sadakati, fiziksel ölçütler ve inovasyon olarak adlandırılabilir. Ürün kullanılabilirliğinin iyileştirilmesi, kullanıcılara ve üreticilere birçok avantaj sağlarken, ürün verimliliği artar ve bu durum neticesinde ürün sadakati ve kabul edilebilirliği de olumlu yönde etkilenir.

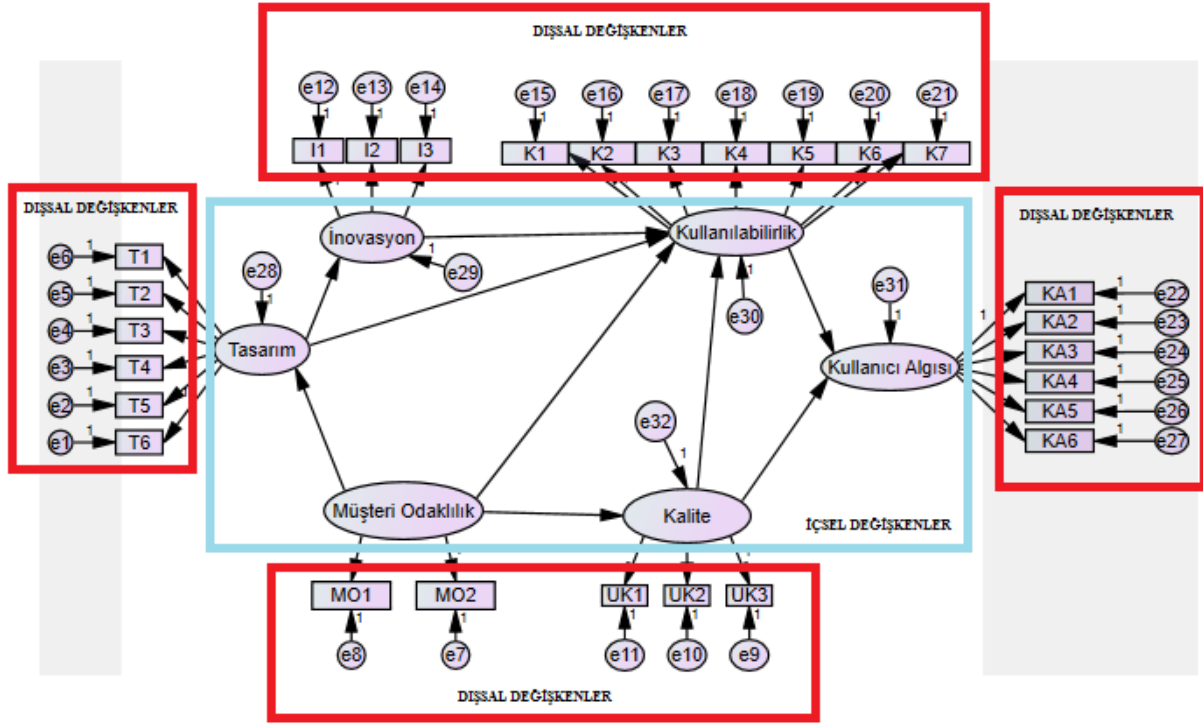
*Tablo 1. Literatür Tablosu.*

<b><u>Kriterler</u></b>	<b><u>Referans</u></b>
<b>Tasarım</b> (T1: Estetik, T2: Fonksiyonel Faktörler, T3: Ergonomi, T4: Etkileşim, T5:Ürün Kişiliği, T6: Sürdürülebilirlik)	[24], [26], [27], [28], [39], [41], [42], [43]
<b>Müşteri Odaklılık</b> (MO1: Teknik Servis Kalitesi, MO2: İhtiyaç ve beklentileri karşılama)	[1], [13], [23], [24]
<b>Kalite</b> (ÜK1: Kullanım amacına uygunluk, ÜK2: Algılanan Kalite, ÜK3: Güvenilirlik)	[25], [26], [33], [46], [47]
<b>İnovasyon</b> (İ1: İnovasyon Etkinliği, İ2: İnovasyon Verimliliği, İ3: Ayrıcalıklı Olmak)	[8], [26], [34], [40], [48], [49]
<b>Kullanılabilirlik</b> (K1: Öğrenilebilirlik, K2: Verim, K3: Hatırlanabilirlik, K4: Kullanım kolaylığı, K5: Tatmin, K6: Yardımseverlik, K7: Ulaşılabilirlik)	[15], [16], [17], [18], [20], [23], [24], [28]
<b>Kullanıcı Algısı</b> (KA1: Tüketici aşinalığı, KA2: Deneyim, KA3: İtibar, KA4: Güven, KA5: Tekrar Satılma eğilimi, KA6: Risk Algısı)	[1], [5], [7], [9], [10], [27], [33], [36], [51]

### **III. MATERYAL VE METOT**

#### **A. TEORİK MODEL GELİŞTİRME**

Literatürde ürün veya hizmetlerin kullanılabilirliğini ölçen modeller sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğu bir ürünün veya hizmetin yalnızca tasarım kısımlarını kullanılabilirlik ölçütü olarak ele almıştır. Müşteri memnuniyeti, kalite, güven, müşteri odaklılık (ihtiyaç ve beklentiler), markaya bağlılık, fizyolojik ölçüler, inovasyon ve ürün seçimi gibi faktörler, kullanılabilirlik ile tek boyutlu olarak ilişkilendirilmiştir. Çok boyutlu bir ilişkide tek bir ilişkiyi göz ardı etmek, yanlış bir değerlendirme ve yanlış sonuçları beraberinde getirir. Bütünsel bir yaklaşım ile ürün veya hizmet kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde tüm önemli unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, kapsamlı bir literatür taraması yapılarak ve kullanıcı geri bildirimleri toplanarak akıllı telefonlar için kullanılabilirlik ölçüm modeli önerilmiştir. Şekil 1’de çalışmaya ait kavramsal model sunulmuştur. Bu model ile amacımız, tasarımcılar ve üreticiler için her bir ilişkiyi içinde barındıran müşteri odaklı bir yol haritası geliştirmektir.



Şekil 1. Kavramsal Model.

Önerilen modelin pratik tarafı, odak grup çalışması adı verilen alan çalışmasıyla desteklenmiştir. Bu çalışma ile, farklı profillere sahip 4 farklı kullanıcı grubuyla ihtiyaç analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki her grup 5 ile 8 uzman kullanıcıdan oluşmaktadır. Bu kullanıcılara kullanılabilirlik odaklı sorular sorulduktan sonra, ihtiyaç ve beklentiler belirlenmiş ve yazılı olarak raporlanmıştır.

Kullanıcı görüşlerine göre en çok bahsedilen konular şu şekildedir: ergonomi (tek elle kullanım yeteneği), kullanım kolaylığı, kullanılabilirlik, yüksek performans, uzun pil ömrü, tasarımda incelik ve estetik, fonksiyonellik, uygun fiyat, daha yüksek hafıza alanı, prestij, popülerlik, iyi tasarlanmış kullanıcı ara yüzü, kalite, satış sonrası teknik servis ve dayanıklılıktır. Ayrıcalıklı olmak, deneyim, ergonomi, etkileşim, prestij, risk algısı, teknik hizmet kalitesi ve güvenilirlik gibi gözlemlenen değişkenler sıkça bahsedilen özellikler olduğundan ana modele dahil edilmiştir. Odak grup çalışması ve görüşmelerden gelen geri bildirimlerle birlikte, model geliştirme aşaması bu sayede pratik olarak desteklenmiştir.

Cep telefonlarının yaygınlaşması, kullanılabilirlik çalışmalarına yönelik artan bir talebe yol açmıştır. Bu çalışmalar geleneksel olarak daha görev odaklı ve doğası gereği deneysel olsa da, genellikle kapsamlı bir kullanılabilirlik ölçüsü sağlamakta başarısız olurlar. Bu, araştırmacıları mobil cihazlarda kullanılabilirliği etkili bir şekilde ölçmek için alternatif modeller keşfetmeye itmiştir [29]. Dolayısıyla geliştirilen model, bu boşluğu doldurmada kritik bir rol oynamaktadır. İlgili model, kullanılabilirliğin öncüllerini ve sonucunu oluşturan yapısal eşitlik modeline (YEM) dayanmaktadır. Şekil 2'de gösterilen öncüller (tasarım, müşteri odaklılık, kalite ve inovasyon) ve sonuç (yani kullanıcı algısı) gizlenmiş yapılar arasındaki varsayımsal ilişkilerle dikkate alınır.

Bununla birlikte, gerçek hayatta bu faktörler arasında daha fazla ilişki gözlemlenebilir.

## B. MODELİN ÖNCÜLLERİ VE SONUÇLARI

Kullanılabilirlik ile ilgili literatür, dört ana öncül grubu altında tanımlanmıştır. Bunlar ürün/hizmet tasarımı, kalite, inovasyon ve müşteri odaklılıktır.

Tasarım, şirketlerin sürdürülebilir rekabet avantajları elde etmek için, rakiplerine göre avantaj sağladığı potansiyel bir stratejik girişimdir. Firmalar iyi bir tasarımla ürünleri, çevreyi, iletişimi ve ortak karakteristik özellikleri geliştirebilirler [30].

Tasarım faktörü, modelimizde estetik, fonksiyonel faktörler, ergonomi, etkileşim, ürün özellikleri ve sürdürülebilirlik kavramlarını kapsarken kullanılabilirliğin hem girdisi hem de çıktısı olması nedeniyle kullanılabilirlikle yakından ilişkilidir [31]. Önerilen modelimizde tasarımın kullanılabilirlik ve inovasyon üzerinde olumlu etkisinin olması ve müşteri odaklılıktan olumlu yönde etkilenmesi beklenmektedir.

Müşteri odaklılık, şirketlerin müşterilerini odak noktası olarak gördükleri ve şirketin stratejik yapısı içinde ürünü ve özelliklerini tanımlayabilmek için şirket içi faaliyetlerinde, müşterilerin ihtiyaç ve beklentileri hakkında bilgi edinmeye odaklanıldığı bir süreçtir [32]. Bu ihtiyaçlar ve beklentiler, firmanın ürünleriyle ilgili önceki deneyimlerinin sonuçlarıdır. Müşteri odaklılık faktörü ilk olarak teknik hizmet kalitesinden, ikinci olarak da ihtiyaç ve beklentileri karşılama düzeyinden yola çıkarak değerlendirilir. Önerilen model ile müşteri odaklılık boyutunun; tasarım, kalite ve kullanılabilirlik ile pozitif ilişkisi olduğu varsayılmaktadır.

Ürün kalitesi, ürünün yazılım ve donanım bakış açısıyla beraber genel kalitesini kapsamaktadır. Bu değişken, bir ürün için gerekli özelliklerin değerlendirilmesi şeklinde tanımlanan kullanım amacına uygunluk faktörünü, bir ürünün tasarım özelliklerine uygunluk düzeyi olan algılanan kaliteyi ve uzun vadeli, tatmin edici performans düzeyi olan güvenilirlik gibi boyutları kapsar [33]. Geliştirilen modelde kalitenin, kullanılabilirlik ve kullanıcı algısı ile olumlu bir ilişkisi olduğu, müşteri ihtiyaç ve beklentilerinden de olumlu etkilendiği düşünülmektedir.

İnovasyon, bir kuruluşun pazara sunduğu ürün veya hizmet yelpazesinde, rekabette önde olmalarını ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamalarını sağlayan bir değişiklik olarak tanımlanabilir [34]. Sağlanan model; inovasyonu, inovasyon etkinliğini, inovasyon verimliliğini ve ürünü kullanırken ayrıcalıklı olma düzeyini, kullanıcı bakış açısıyla değerlendirmektedir. İnovasyon etkinliği, inovasyon başarısının seviyesini belirlerken, inovasyon verimliliği firmaların başarı seviyesine ulaşma çabasıdır [35]. İnovasyonun kullanılabilirlik üzerinde olumlu etkisinin olması ve tasarım faktöründen de olumlu etkilenmesi beklenmektedir.

Kullanılabilirlik, ürünlerin kullanılabilirlik düzeyini ve kullanıcı algısı değişkeni ile bağlantısını gösterir. Bu faktör; öğrenilebilirlik, verimlilik, akılda kalıcılık, kullanım kolaylığı, memnuniyet ve erişilebilirlik gibi kavramları dikkate alarak, genel kullanılabilirlik performans düzeyini ideal bağlama göre değerlendirir.

Kullanıcı algısı, önerilen modelde güven ve memnuniyet düzeyini içerir [36]. Bu değişken; tüketici aşinalığı, deneyim, prestij, güven, yeniden satın alma niyeti ve risk algısı dahil olmak üzere müşteri perspektifinden ürün performans derecesini ve algılanan değeri ölçer. Önerilen modelde, kalite, inovasyon ve kullanılabilirlik seviyesinin iyileştirilmesinin daha yüksek kullanıcı algısı ile sonuçlanabileceği öngörülmektedir.

### **C. ARAŞTIRMA ARACI VE VERİ TOPLAMA**

Modelin öğeleri; gözlemlenebilir değişkenlerden ve gözlemlenemeyen (gizli) değişkenlerden oluşmaktadır. Tasarım faktörü, modelimizde estetik, fonksiyonel faktörler, ergonomi, etkileşim, ürün özellikleri ve sürdürülebilirlik kavramlarını kapsarken kullanılabilirliğin hem girdisi hem de çıktısı olması nedeniyle yakından ilişkilidir.

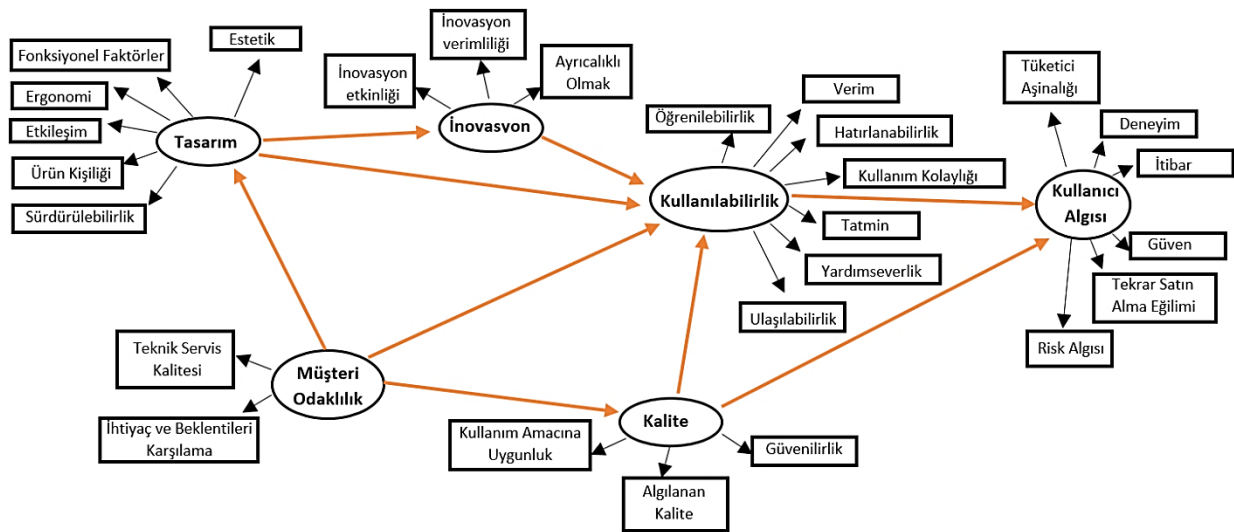
Müşteri odaklılık, şirketlerin müşterilerini odak noktası olarak gördükleri ve şirketin stratejik yapısı içinde ürünü ve özelliklerini tanımlayabilmek için şirket içi faaliyetlerinde, müşterilerin ihtiyaç ve beklentileri hakkında bilgi edinmeye odaklanıldığı bir süreçtir. Bu faktör ürünle ilgili teknik servis kalitesi ve ihtiyaç ve beklentileri karşılama değişkenlerini içermektedir.

Ürün kalitesi, ürünün yazılım ve donanım bakış açısıyla beraber genel kalitesini kapsamaktadır. Bu değişken, bir ürün için gerekli özelliklerin değerlendirilmesi şeklinde tanımlanan kullanım amacına uygunluk faktörünü, bir ürünün tasarım özelliklerine uygunluk düzeyi olan algılanan kaliteyi ve uzun vadeli, tatmin edici performans düzeyi olan güvenilirlik gibi boyutları kapsar.

İnovasyon, bir kuruluşun pazara sunduğu ürün veya hizmet yelpazesinde, rekabette önde olmalarını ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamalarını sağlayan bir değişiklik olarak tanımlanabilir. Sağlanan model; inovasyonu, inovasyon etkinliğini, inovasyon verimliliğini ve ürünü kullanırken ayrıcalıklı olma düzeyini, kullanıcı bakış açısıyla değerlendirmektedir. İnovasyon etkinliği, inovasyon başarısının seviyesini belirlerken, inovasyon verimliliği firmaların başarı seviyesine ulaşma çabasıdır.

Kullanıcı algısı, önerilen modelde güven ve memnuniyet düzeyini içerir. Bu değişken; tüketici aşinalığı, deneyim, prestij, güven, yeniden satın alma niyeti ve risk algısı dahil olmak üzere müşteri perspektifinden ürün performans derecesini ve algılanan değeri ölçer. Önerilen modelde, kalite, inovasyon ve kullanılabilirlik seviyesinin iyileştirilmesinin daha yüksek kullanıcı algısı ile sonuçlanabileceği öngörülmektedir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere sunulan modelin tüm faktörleri ve değişkenleri ile faktörler arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır. Bu çalışmada, gözlemlenebilir değişkenleri ölçebilmek adına 27 soruluk bir anket hazırlanmıştır. Ankette, modeldeki sorulara ek olarak bazı demografik sorular da (cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, iş, mevcut bir akıllı telefona sahip olma yılı, günlük ve saatlik ortalama akıllı telefon kullanım oranı) yer almaktadır.



Şekil 2. Kullanılabilirlik Modeli.

Tablo 2 toplanan veriye ait demografik özellikleri göstermektedir. İlgili anket verileri oluşturulurken, 1'in çok olumsuz görüşü, 10'un ise çok olumlu görüşü temsil ettiği 10'luk Likert Ölçeği kullanılmıştır.

Tablo 2. Demografik Özellikler.

Özellik	İçerik	Sıklık	Yüzde(%)
Cinsiyet	Erkek	213	51,1
	Kadın	204	48,9
Yaş	17-25	259	62,1
	26-35	90	21,6
	36-40	31	7,43
	40+	37	8,87

**Tablo 3 (devamı). Demografik Özellikler.**

Mevcut Akıllı Telefonun Hali Hazırda Kullanılmışlık Süresi	0-1	122	29,3
	1-3	171	41
	3-5	87	21
	5+	36	8,7
Akıllı Telefonun Ortalama Olarak Günlük Kullanım Süresi	1	61	14,6
	2	85	20,4
	3	80	19,2
	4	55	13,2
	5	49	11,8
	5+	87	21,8

Anket, ilk olarak farklı yaş gruplarından 500 akıllı telefon kullanıcılarına yüz yüze soru sorma metodolojisi ile uygulanmıştır. Toplanan veriler arasından 417 kullanıcının verisi analiz için yeterli bulunmuş, ayrıca eksik değerler değişkenlerin ortalama değerleri ile değiştirilmiştir.

Erkek katılımcıların oranının %51,1, kadın katılımcıların oranının %48,9 olduğu ankette, katılımcıların yaş aralığı 17 ile 60 yaş aralığında değişkenlik göstermekle beraber, ortalama yaşları 26.38 bulunmuştur. En sıkı teknoloji takipçisi olan grup %62,1'lik oran ile 17-25 yaş arasındaki katılımcılar olurken, %8,87'lik kısım 40'lı yaşlardaki kullanıcıların oranı olmuştur. Katılımcıların %70,3'ü, akıllı telefonlarına 3 yıldan daha az süredir sahip olduklarını ifade ederken, %21,8'i akıllı telefonlarıyla günde 5 saatten fazla ve katılımcıların yüzde 14,6'sı ise sadece 1 saat harcadığını ifade etmişlerdir.

Ana modele geçmeden önce Doğrulayıcı Faktör Analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de görüldüğü üzere T istatistik değerleri 0,05 anlamlılık derecesinde 1.96'dan bulunmuştur. Ayrıca hata oranları incelendiğinde değişkenlerin ölçülemeyen bölümünün düşük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla kurulan modelin geçerliliği sağlanmış olup ana modelin analizi gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3. Doğrulayıcı Faktör Analizi Sonuçları**

Değişken	Standard Olmayan Faktör Yüğü	Standard Faktör Yüğü	Standard Hata	T İstatistik
T1	1,000	,653		
T2	,757	,533	,078	9,759
T3	1,121	,773	,084	13,389
T4	1,252	,775	,093	13,421
T5	,870	,464	,101	8,602
T6	1,057	,718	,084	12,620
MO1	1,000	,859		
MO22	1,006	,886	,043	23,472
ÜK1	1,000	,809		
ÜK2	,944	,811	,052	18,191
ÜK3	,881	,735	,055	16,067
I1	1,000	,614		
I2	1,252	,746	,110	11,338
I3	1,392	,825	,118	11,757
K1	1,000	,673		
K2	1,192	,828	,079	15,090
K3	1,217	,840	,080	15,269

Değişken	Standard Olmayan Faktör Yüğü	Standard Faktör Yüğü	Standard Hata	T İstatistik
K4	1,106	,738	,081	13,648
K5	,948	,655	,077	12,275
K6	1,213	,762	,086	14,035
K7	1,094	,708	,083	13,150
KA1	1,000	,847		
KA2	,778	,700	,048	16,079
KA3	,843	,745	,048	17,551
KA4	,655	,574	,053	12,441
KA5	,692	,478	,069	10,005
KA6	,807	,568	,066	12,283

#### D. GÜVENİLİRLİK VE GEÇERLİLİK TESTLERİ

Söz konusu verilerin analizi ve ölçüm ile yapısal denklem modellerinin test edilmesi için XLSTAT yazılımı kullanılmıştır. Güvenilirlik ve geçerlilik testleri, ölçme modelindeki faktörlerin tek boyutluluğunun kontrolü ile başlar. Bir faktör, kendisiyle ilişkili Cronbach's- $\alpha$  ve Dillon Goldstein's- $\rho$  değerleri 0,7'den büyükse tek boyutlu olarak kabul edilir [37]. Tablo 4'te de görüldüğü üzere, tüm değerlerin 0,7'den büyük olması, bahsi geçen tüm faktörlerin, modelde tek boyutlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca, gizli değişkenlerin her birinin birleşik güvenilirliğinin 0,8'den yüksek olması da, model için güçlü bir güvenilirlik oranını temsil eder.

*Tablo 4. Faktörlerin Güvenilirliği.*

Faktörler	Cronbach- $\alpha$	Dillon-Goldstein- $\rho$	Kompozit Güvenilirlik
Müşteri Odaklılık	0,744	0,855	0,844
Tasarım	0,853	0,858	0,899
Inovasyon	0,772	0,868	0,867
Kalite	0,817	0,879	0,885
Kullanılabilirlik	0,875	0,905	0,911
Kullanıcı Algısı	0,902	0,896	0,925

Tablo 5'te de belirtildiği gibi, güvenilirliğin kabul edilebilir düzeyde olduğu ve sırasıyla 0,695, 0,687 ve 0,686 yük puanlarına sahip gözlemlenebilir değişkenler olan estetik, etkileşim ve deneyim faktörleri dışında, hemen hemen tüm yüklerin 0,7'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, neredeyse tüm gözlemlenebilir değişkenlerin bağlı olduğu değişkeni yeterli bir şekilde ölçmediğini kanıtlar niteliktedir. Bu araştırmada faktör geçerliliği; uyum ve diskriminant geçerlilik analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Hem uyum hem de diskriminant geçerliliğini sağlamak, faktör geçerliliğini oluşturmada kullanılan yöntemlerdir. Her faktörün ortalama değerleri incelenerek, değişkenlerin uyum geçerliliği tespit edilir. İyi sonuçlar aldığımızı ifade edebilmek için her faktörün ortalama değeri 0,5'ten büyük olmalı ve bu sayede ölçümümüzde hata değerinden daha fazla ortalama oransal ortak etken varyansı olduğu söylenebilir [38].

*Tablo 5. Nesnelerin Güvenilirliği.*

Gözlemlenebilir Değişkenlerinin Yükleri							
Gizli Değişkenler	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Müşteri Odaklılık	0,887	0,822	-	-	-	-	-
Tasarım	0,695	0,848	0,794	0,687	0,766	0,849	

**Tablo 5 (devamı).** Nesnelerin Güvenilirliği.

Inovasyon	0,771	0,846	0,867	-	-	-	-
Kalite	0,845	0,846	0,855	-	-	-	-
Kullanılabilirlik	0,732	0,825	0,791	0,733	0,795	0,761	0,755
Kullanıcı Algısı	0,823	0,686	0,750	0,884	0,892	0,879	-

Tablo 6'da gösterildiği üzere oransal ortak etken varyansı, uyum geçerliliğini sağlayan her bir faktör için 0,5'ten büyük ve kabul edilebilir değerlere sahiptir.

**Tablo 6.** Faktörlerin Uyum Geçerliliği.

Gizli Değişkenler	Ortalama Oransal Ortak Etken Varyansı
Tasarım	0,601
Inovasyon	0,687
Kalite	0,720
Kullanılabilirlik	0,594
Kullanıcı Algısı	0,677

Her bir gizli değişken ile ilgili değişkenin manifest (gözlemlenen) değişkenleri arasındaki korelasyonun daha yüksek düzeyde gerçekleştirildiği sonucuna ulaşabilmekteyiz. Tablo 7, her bir birinci dereceden gizli değişkenin açıklanan ortalama varyansının (AVE) karekökünün oranını ve modeldeki değişkenlerin arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Köşegen değerler, her bir yapının göstergeleri ile korelasyonları olan AVE'nin karekökünü gösterirken, köşegen olmayan değerler ise faktörler arasındaki korelasyon değerleridir.

Diskriminant geçerliliğinin sağlanması için köşegen değerler, karşılık gelen satır ve sütunlardaki değerlerden büyük olmalıdır. Tablo 7'de de gözlendiği üzere her bir faktör kendi göstergesiyle diğer ilgili faktörler ile karşılaştırıldığında daha fazla bağıntılıdır. Bu durum diskriminant geçerliliğinin varlığının kanıtı niteliğindedir ve altı faktörün hepsinin farklı boyutları ölçtüğünün ispatıdır.

**Tablo 7.** Faktörlerin Diskriminant Geçerliliği.

Gizli Değişkenler	Müşteri Odaklılık	Tasarım	Inovasyon	Kalite	Kullanılabilirlik	Kullanıcı Algısı
Müşteri Odaklılık	0,855					
Tasarım	0,596	0,775				
Inovasyon	0,555	0,521	0,829			
Kalite	0,688	0,758	0,647	0,849		
Kullanılabilirlik	0,609	0,721	0,482	0,726	0,77	
Kullanıcı Algısı	0,631	0,607	0,492	0,685	0,656	0,822

## **IV. BULGULAR VE TARTIŞMA**

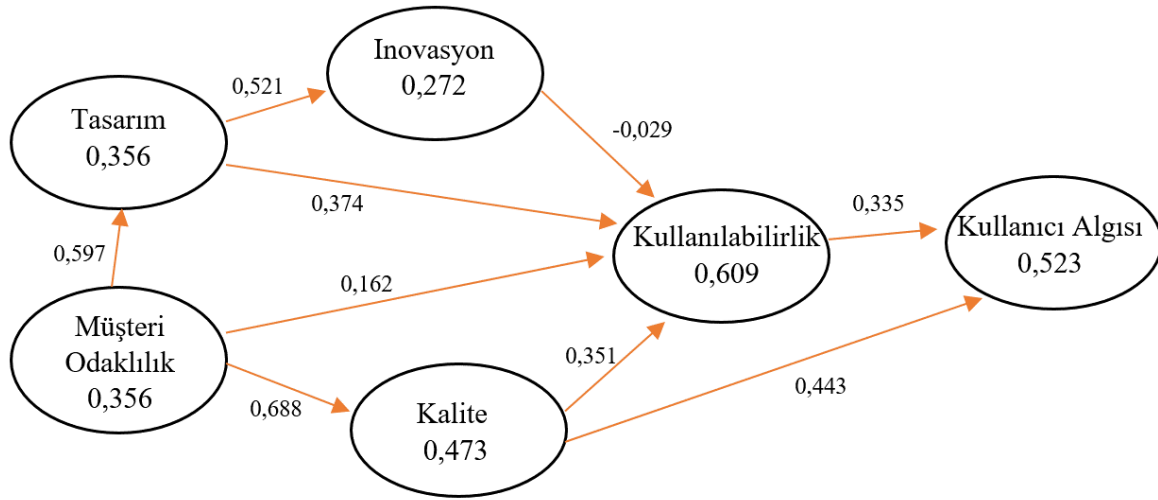
Güvenilirlik ve geçerlilik analizinin sonuçları doğrultusunda, modelimiz faktörler arasındaki ilişkileri tahmin edecektir. Standartlaştırılmış regresyon katsayıları olan yol katsayıları, yapısal model testi ile Şekil 3'te gösterilmiştir. R<sup>2</sup> değerleri, Şekil 3'teki şablonların içinde gösterildiği gibi, regresyon modeli ile tanımlanan bağımlı değişkenlerin toplam varyanslarının ölçüsüdür.

Şekil 3 detaylı olarak incelendiğinde, müşteri odaklılığından kaliteye giden yol katsayısı 0,69 ile diğerlerine göre en yüksek puana sahiptir. Müşteri odaklılığından tasarıma giden yol katsayısı 0,6,



tasarımdan inovasyona giden katsayı değeri 0,52 ve kullanılabilirlikten nihai değişken olan kullanıcı algısına giden yol katsayısı 0,34 olarak bulunmuş ve  $p < 0,001$ 'de anlamlı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Kullanılabilirlik üzerinde, kalite, müşteri odaklılık ve tasarım sırasıyla 0,35, 0,16 ve 0,38 olan yol katsayıları ile anlamlı etkiye sahiptir. Müşteri odaklılık ve kalite, kullanılabilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahipken, kullanılabilirlik ile ilgili en etkili değişken tasarımdır. Öte yandan, inovasyondan kullanılabilirliğe giden yol katsayısı -0,029 değeri ile iki değişken arasındaki negatif bir ilişkiyi temsil etmektedir. Yapısal modelde müşteri odaklılık, tasarımdaki varyansın %36'sını, kalitedeki varyansın %47'sini temsil ederken; tasarım ise inovasyondaki varyansın %27'sini açıklamaktadır. Kullanılabilirlik için  $R^2$  değeri 0,61 olup, regresyon modelinin kullanılabilirlikteki toplam varyansın %61'ini açıklayabildiğini göstermektedir.

Buna ek olarak, kullanılabilirlik ve kalite, nihai değişken olan kullanıcı algısı için bağımsız değişkenlerdir. Bu iki değişken birlikte, kullanıcı algısındaki değişimin %52'sini açıklamaktadır.



Şekil 3. Modelin Sonuçları.

Ayrıca, gözlemlenebilir değişkenler, her bir gizli faktör için doğrusal regresyon katsayısı olarak da kabul edilen farklı yük puanlarına sahiptir. Bu değişkenler, ilgili yansıtıcı değişkenleri ile kullanılabilirlik üzerinde önemli etkilere sahiptir. Örneğin, bir ürünün sürdürülebilirlik ve ergonomi yönleri, tasarım yönü ile en kritik ilişkiye sahiptir.

Önceki yıllarda eko-verimlilik, sürdürülebilir tasarım ve sürdürülebilirlik konusunda önemli sayıda çalışma yapılmıştır [39]-[40]-[41]. Günümüzde, ürün tasarımı ve üretim stratejileri; yaşam döngüsü verilerinin, sürdürülebilir ürün tasarımlarıyla olan kombinasyonunu gerektirmesinin yanı sıra; üretim süreçlerinde de uygulama gerektirir. Bu yaklaşım, endüstriyel ürünler ve tüketici ürünleri için farklı miktarlardaki çeşit ve hacimlerde uygulanmaktadır [42].

Sonuçlara göre ergonomi kavramı, tasarımı etkileyen en önemli ikinci değişkendir. Chan ve diğ. [43] belirttiği gibi, ergonomi ve tasarımın kapsamlı bir ilişkisi vardır. Bu noktada, ergonomistler, ürünler için tasarım alternatiflerinin güvenlik, sağlık, konfor ve verimlilik sonuçlarını değerlendirmek için farklı aşamalarda tasarımcılarla birlikte çalışabilirler [44].

Gelişmiş performans için firmaların, müşteri girdilerini ürün özelliklerine entegre etmeyi düşünmeleri gerekir. Şirketin hayatta kalması müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılamaya bağlı olduğundan, küresel iş ortamı müşteriye organizasyonda temel odak noktası olarak dikkate alınmasını zorunlu kılar [45].

Diğer taraftan kalite faktörü için en önemli değişkenler güvenilirlik ve algılanan kalite olarak bulunmuştur. Yeni ürünler için risk, sadece teknik sorunlarla ilgili olmayıp, müşteri ihtiyaç ve

beklentilerine cevap vermeme ve teknik olmayan kusurlarla da ilgilidir. Klasik güvenilirlik yaklaşımı, bir ürünün hem teknik hem de dış görünüm gereksinimlerini karşılamada yeterli değildir. Bu nedenle, ürün kalitesi ve güvenilirlik konuları, değişen iş ortamındaki ürün özelliklerini ve ihtiyaçlarını sağlama konusunda geniş bir alanı kapsamalıdır [46].

Algılanan kalite, farklı kullanıcılar ve ürünlere göre değişiklik gösteren bir diğer önemli değişkendir. Bu kriter, müşterilerin algısal kapasitelerine, tercihlerine ve deneyimlerine bağlı olarak değişebilir. Kalite algılama sürecini yönetmek, gelecekteki denetimler için, kalite parametreleri ve bunların ürün kalitesi üzerindeki etkileri hakkında etkili bir referans sağlar [47].

Ürün performansının, inovasyon etkinliği ve verimliliği ile güçlü bir ilişkisi vardır. Bunun yanı sıra, ürün özelliklerinin ayırt edici ve benzersiz yönlerinin olması ve kullanıcılara kendilerini farklı hissettirebilecek ayrıcalıklı olma faktörü yenilik değişkeni için önemli bir faktördür [48]–[49]. Bu kriter inovasyona etki eden en önemli ve en yüksek puana sahip olan değişkendir. Çünkü tüketiciler genellikle sadece ürünün işlevselliğini değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda ürünün kendileri için ne anlam ifade ettiğini de düşünürler [50]. Bu nedenle, tasarımcıların yeni ürün geliştirme sürecine, kullanıcıları diğerlerinden farklı hissettirecek özellikleri dâhil etmesi inovasyon kapsamında önemli bir konudur.

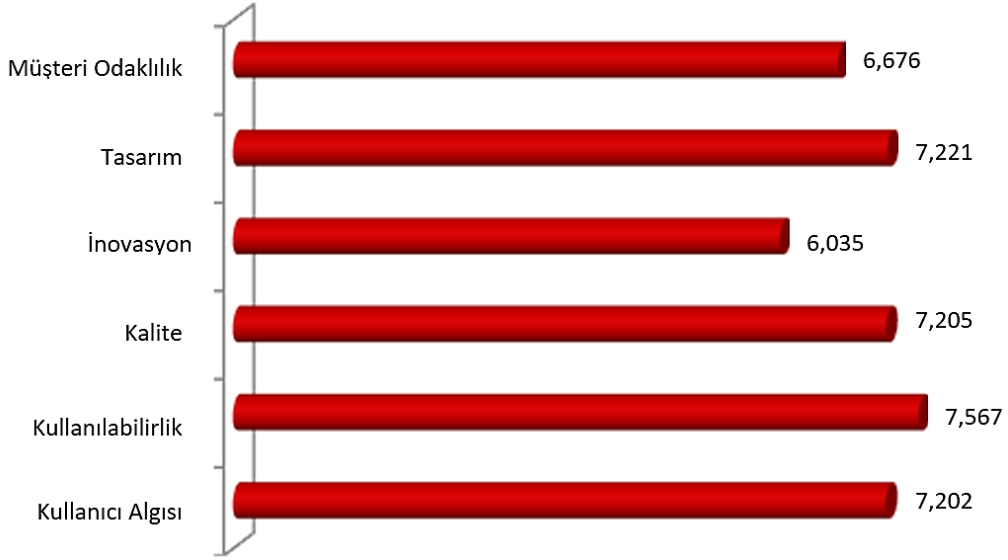
Öne sürülen çalışmanın, ilgili mevcut çalışmalardaki bulgularla farkına bakıldığı zaman, üç noktada önemli farklar incelenmektedir. Bunların ilki, yapılan çalışmada, geniş bir model önerisinin sağlanması ve faktörler arasında çoklu bir ilişkinin gösterildiği sonuçların elde edilmesidir. İkincisi, akıllı telefon müşterileri açısından hangi faktörün daha önemli olduğunu ortaya çıkaran endeks puanlarının ifade edilmesidir. Sonuncusu ise, akıllı telefon tasarımcıları ve üreticileri için bir yol haritasının çıkmasıdır. Örneğin; tasarım faktörü için üreticiler, akıllı telefonlarda 6. kriterin yani, sürdürülebilirliğin daha önemli olduğunu ve bu faktöre dikkat edilmesi gerektiğini düşünebilirler.

## **V. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada, akıllı telefon kullanımının öncüllerinin ve sonuçlarının hem nicel olarak analizini yapmak hem de konuyu kavramsallaştırmak için özgün, seçkin ve kapsamlı bir model sunulmuştur. Daha önce önerilmiş olan modeller kullanılabilirliği kısmen ölçebilmiş, bu durum da tasarımcılar ve üreticiler için yanıltıcı sonuçlara neden olmuş ve daha bütünsel bir yaklaşım ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda, kullanılabilirlik ve bu kavrama bağlı değişkenler göz önünde bulundurularak, kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla akıllı telefonlar için en uygun konseptin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaca ulaşmak için de kullanıcı odaklı ve literatür çalışmasıyla desteklenmiş evrensel bir model geliştirilmiştir.

Önerilen modelin en önemli katkısı, tasarımcılara ve üreticilere kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerini karşılamada rehberlik etmesidir. Bu sayede firmalar iş alanında rekabete ayak uydurmak için model değişkenlerini göz önünde bulundurarak ve bu değişkenleri iş süreçlerine dâhil ederek rakiplerine karşı avantaj elde edebilirler.

Veri toplama aşamasında uygulanan anket model değişkenleri ve kullanıcı geri bildirimleri dikkate alınarak hazırlanmıştır ve 500 farklı akıllı telefon kullanıcılarına uygulanmıştır. Daha sonra eksik veriler çıkarılarak 417 kullanıcıdan toplanan veriler ile analizler yapılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere, akıllı telefon sektörü için kullanılabilirlik indeks puanı (KİP) 10 üzerinden 7,567 olarak hesaplanmış ve diğer yapıların puanları da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ürünün tasarımı, kullanılabilirlik kavramı adına temel kriter olarak bulunmuştur (7,221). Tasarımın yanı sıra kalite ve kullanıcı algısı öğeleri de sırasıyla 7,205 ve 7,202 puanla yüksek değerlere sahiptirler.



Şekil 4. Endeks Puanları.

Müşteri odaklılık kavramı, 6,676 puan oranı ile tasarımcıların ve üreticilerin dikkat etmesi gereken önemli bir unsurdur. Müşteri odaklı firmalar, müşterilerinin ihtiyaçları ve tercihleri hakkında sürekli olarak veri toplamalı ve bu verileri, müşteri ihtiyaçlarını daha iyi karşılamak için iç süreçlerine uyarlamalıdır [51].

Nihayetinde sonuçlar, tasarımın kullanılabilirlik üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu yönüyle kullanılabilirlik, kavramsal olarak tasarım sürecinde kullanım kolaylığını artırma yöntemlerini kapsar [52]. Kullanıcılar ürünleri değerlendirirken yazılımsal ve donanımsal özelliklerini dikkate almakla beraber genellikle tasarım özelliklerine göre karar verirler. Bu nedenle firmalar, müşteri taleplerini etkin stratejiler doğrultusunda somut varlıklara çevirmek için yeterli zamanı harcamalıdır. Ayrıca kalite kavramı, tasarımdan sonra kullanılabilirlik üzerinde en yüksek etkiye sahiptir. Kullanılabilirlik, ürünün kullanım kalitesi olarak kabul edilebilir. Bu açıdan, kullanılabilirlik için ölçülebilir hedefler belirlemek ve iyileştirmek önemlidir; çünkü müşterilerin ürünü etkin ve verimli bir şekilde kullanabilmesi esastır [53].

Müşteriler, ürünü kullanırken değer oluşturan bir yenilik için para ödemeye hazırdır. Genellikle yeni nesil akıllı telefonların serileri birkaç değişiklikle piyasaya sürüldüğünde, bir önceki seriye göre fiyat farkı oluşmaktadır. Bu nedenle firmalar, müşteriler adına sağlanan değeri netleştirmek için tasarım ve üretim süreçlerinde inovasyon-fiyat dengesini iyi bir şekilde düzenlemelidir.

Bu çalışma ile geliştirilen model, pratik ve teorik olarak kullanılabilirlik alanında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu model, firmalara güvenilir ve geçerliliği kanıtlanmış bir ölçüm yöntemi ile ürün performansının değerlendirilmesinde ve rekabet avantajı elde etmede yol gösterici olurken; araştırmacıların gelecekte bu alanda yapacakları çalışmalar için örnek bir yaklaşım sağlamaktadır.

## **VI. KAYNAKLAR**

[1] R. G. Cooper, "The drivers of success in new-product development," *Industrial Marketing Management*, vol. 76, pp. 36-47, 2019.

[2] R. Inostroza, C. Rusu, S. Roncagliolo, V. Rusu, and C. A. Collazos, "Developing SMASH: A set of smartphone's usability heuristics," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 43, pp. 40-52, 2016.

- [3] M. H. Eslami, and L. Melander, "Exploring uncertainties in collaborative product development: Managing customer-supplier collaborations," *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 53, pp. 49-62, 2019.
- [4] Gartner. (2016). *Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*, [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-trends-appear-in-the-gartner-hype-cycle-foremerging-technologies-2016/>
- [5] J. Martins, C. Costa, T. Oliveira, R. Gonçalves, and F. Branco, "How smartphone advertising influences consumers' purchase intention," *Journal of Business Research*, vol. 94, pp. 378-387, 2019.
- [6] K., Hermann, and S. Wilfried, "Internet of things." In *Real-time systems: design principles for distributed embedded applications*, pp. 325-341. Cham: Springer International Publishing, 2022.
- [7] P. J. Danaher, and M. Cardona, "Consumer preferences for product features: The case of technology-intensive products," *MIT Sloan Management Review*, vol. 60, no. 3, pp. 1-7, 2019.
- [8] A., Zafer, C. Fatma, and K. Masood, "A study of smartphone companies: do innovation culture and radical innovation affect institutionalization and sustainable competition positively?" *International Journal of Innovation*, vol.10, no. 1, pp. 95-117, 2022.
- [9] Li, S., Zhang, Y., Li, Y, and Yu, Z, "The user preference identification for product improvement based on online comment patch," *Electronic Commerce Research*, vol. 21, pp. 423-444, 2021.
- [10] Ilham, H., Wijayanto, B, and Rahayu, S.P, "Analysis and Design of User Interface/User Experience With the Design Thinking Method in the Academic Information System of Jenderal Soedirman University," *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, vol. 2 no.1, pp.17-26, 2021.
- [11] J. Boyle, S. Barnes, and H. Thimbleby, "Designing for usability: User experience in context," *John Wiley & Sons*, 2014.
- [12] M. Durucu, M. Isik, and F. Calisir, "What is more important to internet banking website users: usability or functionality?" *International Journal of Business Information Systems (IJBIS)*, vol. 30, no. 2, pp. 232-251, 2019.
- [13] Dopp, A.R., Parisi, K.E., Munson, S.A. and Lyon, A.R. "A glossary of user-centered design strategies for implementation experts," *Translational behavioral medicine*, vol. 9 no.6, pp.1057-1064. 2019.
- [14] F. Hernández, "A Study of Smartphones in the Market: Challenges for Manufacturers," *Global Journal of Business & Social Science Review*, vol. 3, no. 2, pp. 23-26, 2018.
- [15] W. Zhang, Z. Gao, and Y. Ma, "Usability evaluation of mobile phone interface," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 26, no. 6, pp. 514-537, 2010.
- [16] X. Faulkner, and Y. Jones, "Usability in the post-2020 Context: A Review of the Current Literature," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 32, no. 2, pp. 123-143, 2020.
- [17] M. Kang, and S. Kim, "Usability: A Growing Field of Technology," *Journal of Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 221-235, 2020.
- [18] Sun, Y, "Research on the Usability Evaluation Model of Mobile Application Interface Design for Active Senior," *Art and Society*, vol. 2, no. 1, pp.61-66, 2023.

- [19] M. Crawford, "Human-Centered Design: Harnessing the Power of Usability and User Experience," *Computer*, vol. 50, no. 9, pp. 48-55, 2017.
- [20] M. Regan, "Human-Centered Design: A Holistic Approach to Usability," *Interactions*, vol. 25, no. 3, pp. 24-29, 2018.
- [21] E. L. C. Law, and E. T. Hvannberg, "Understanding usability: A definition and five dimensions," *Interacting with Computers*, vol. 22, no. 3, pp. 209-221, 2010.
- [22] ISO. 2011. ISO 9241-11. International Organization for Standardization (2011). *Ergonomics of human-system interaction – Part 11: Usability: Definitions and Concepts*, [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/43602.html>
- [23] K. Mazuz, S. Biswas, and U. Lindner, "Developing Self-Management Application of Fall Prevention Among Older Adults: A Content and Usability Evaluation," *Frontiers in Digital Health*, vol. 2, pp. 11, 2020.
- [24] H. García-González, I. Boneva, S. Staworko, J. E. Labra-Gayo, and J. M. C. Lovelle, "ShExML: improving the usability of heterogeneous data mapping languages for first-time users," *PeerJ Computer Science*, vol. 6, pp. 318, 2020.
- [25] O. Gordieiev, "A models and assessment of quality of human-computer interaction software interface usability," *Radioelectronic and Computer Systems*, vol. 3 no.95, pp. 84-96, 2020.
- [26] M. N. H. Al-Kinani, S. B. Adetunmbi and A. Hussain, "Usability Testing of Mobile Flipboard Application on both Non-Users and Novice Users," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 14, no. 5, pp. 47–56, 2020.
- [27] A. Sánchez-Morales, J. A. Durand-Rivera, and C. L. Martínez-González, "Usability evaluation of a tangible user interface and serious game for identification of cognitive deficiencies in preschool children," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 6, pp. 486-493, 2020.
- [28] S. Hanghøj, K. A. Boisen, M. Hjerding, A. Elsbernd, and H. Pappot "Usability of a Mobile Phone App Aimed at Adolescents and Young Adults During and After Cancer Treatment: Qualitative Study," *JMIR Cancer*, vol. 6, no. 1, pp. 15008, 2020.
- [29] M. Hassenzahl, M. Burmester, and F. Koller, "Usability of mobile phones: Toward an integrated conceptual model," *International Journal of Human Computer Interaction*, vol. 26, no. 1, pp. 64-84, 2010.
- [30] N. R. Sanders, *Supply Chain Management: Global Perspective*, NJ: Wiley, 2012.
- [31] L. Feng, and T. Ching, "Design factor: A critical element in user experience," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 26, no. 5, pp. 407-423, 2010.
- [32] M. Bilal, and S. Hussain, "Customer Orientation: The Key to Successful Business," *International Journal of Business and Management*, vol. 20, no. 7, pp. 83-90, 2012.
- [33] K. S. Yogi, "An empirical and fuzzy logic approach to product quality and purchase intention of customers in two wheelers," *Pacific Science Review B: Humanities and Social Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 57-69, 2015.
- [34] F. Damanpour, "Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators," *Academy of Management Journal*, vol. 55, no. 3, pp. 745–778, 2012.

- [35] S. Valle, and L. Avella, "Cross- functionality and leadership of the new product development teams," *European Journal of Innovation Management*, vol. 6, no. 1, pp. 32-47, 2003.
- [36] S. Sezer, and M. Uysal, "User perception of trust and satisfaction," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 32, no. 7, pp. 517-529, 2016.
- [37] R. B. Kline, "Principles and practice of structural equation modeling," *Guilford Press*, 2013.
- [38] Y. Liu, and H. Li, "Measurement accuracy and reliability: A comparison of mean values," *Measurement Science*, vol. 8, no. 4, pp. 558-564, 2015.
- [39] D. Maxwell, and R. van der Vorst, "Developing sustainable products and services," *Journal of Cleaner Production*, vol. 11, no. 8, pp. 883-895, 2003.
- [40] J. Brezet, A. Bijima, and S. Silvester, "Innovative electronics as a opportunityfor eco-efficient services," *Electronics goes green conference, Berlin, Germany*, 2000.
- [41] K. Geiser, "Materials matter: Toward a sustainable materials policy," Cambridge, MA, USA: *MIT Press*, 2001.
- [42] I. S. Jawahir, O. W. Dillon, K. E. Rouch, K. J. Joshi, A. Venkatachalam, and I. H. Jaafar, "Total life-cycle considerations in product design for sustainability: A framework for comprehensive evaluation," *10th International Research/Expert Conference, Barcelona, Spain*, 2006.
- [43] K. Chang, Y. Chen, and C. Wang, "Ergonomic design and its relationship with workplace safety, comfort, and efficiency," *The International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 67, pp. 1-10, 2017.
- [44] B. Kirwan, and L. Ainsworth, "A Guide to Task Analysis," *Taylor & Francis*, 2012.
- [45] S. S. M. Mokhtar, "The effects of customer focus on new product performance," *Business Strategy Series*, vol. 14, no. 2-3, pp. 67-71, 2013.
- [46] E. den Ouden, L. Yuan, , P. J. M. Sonnemans, and A. C. Brombacher, "Quality and Reliability Problems from a Consumer's Perspective: an Increasing Problem Overlooked by Businesses?" *Quality Reliability Engineering International*, vol. 22, no.7, pp. 821-838, 2006.
- [47] P. A. O. Ophuis, and H. C. Van Trijp, "Perceived quality: A market driven and consumer oriented approach," *Food quality and Preference*, vol. 6, no. 3, pp. 177-183, 1995.
- [48] J. Alegre, R. Lapidra, and R. Chiva, "A measurement scale for product innovation performance," *European Journal of Innovation Management*, vol. 9, no. 4, pp. 333 - 346, 2006.
- [49] S. Zou, "How do consumers evaluate product innovation? A qualitative research," *International Journal of Innovation Management*, vol. 18, no. 2, pp. 1-21, 2014.
- [50] C. Tynan, and S. McKechnie "Consumption symbolism: A review and research agenda," *International Journal of Research in Marketing*, vol. 32, no. 1, pp. 1-14, 2015.
- [51] M. J. G. J. Houben, M. Wetzels and G. H. van Bruggen, "Adapting internal processes to customer needs: The role of customer data collection and customer experience management," *Journal of Business Research*, vol. 69, no. 7, pp. 2548-2554, 2016.

[52] J. Nielsen. (2012). *Usability 101: Introduction to Usability*, [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability>

[53] R. Molich, and J. S. Dumas, "Improving the Usability of Products with Measurable Targets," *Interactions*, vol. 19, no. 3, pp. 28-35, 2012



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Cr(VI) Metal Katyonunun Elektromembran Ekstraksiyonu ile Uzaklaştırılması ve Kinetik Olarak İncelenmesi

 Gizem ARGUN<sup>a</sup>,  Gamze ÇALIK<sup>a</sup>,  Hamza Korkmaz ALPOĞUZ<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: hkalpoguz@pau.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1266968

### Öz

Yaptığımız deneylerde atık sularda rastlanan Cr(VI) metalinin bertaraf için elektrik akımı etkisi altında elektromembran ekstraksiyonu prosesi uygulamaları gerçekleştirilmiş ve Cr(VI) metal katyonunun taşınımı verimli şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde elektriksel alan kullanımının sebebi Cr(VI)'nın ekstraksiyonunun kontrolünün sağlanarak transportun hızlı şekilde gerçekleşmesidir. Taşımayı gerçekleştirecek ligandlar mezo-oktametil kaliks[4]pirol ve oksim türevi olarak belirlenerek söz konusu iki ligandın parametrelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sabit akımda ve voltajda kinetik veriler incelenerek her bir değişkenden belirli zamanlarda besleme ve alıcı faz hücrelerinden alınan numunelerden Cr(VI) metalinin konsantrasyon verileri UV-spektrofotometresi kullanılarak tespit edilmiştir. Sabit elektrik akımında Cr(VI)'nın besleme fazdan alıcı faza transportunda sentezlediğimiz polimer içerikli membran kullanarak polimer destek malzemesi olarak selüloz triasetat (CTA), plastikleştirici olarak 2-nitrofeniloktil eter (2-NPOE) kullanılmıştır. Hız sabiti (k), akış hızı (J), geçirgenlik katsayısı (P) ve geri kazanım faktörü (% RF) gibi çeşitli kinetik dataları hesaplanmıştır. 100 dakikalık deney süresi sonucunda %78,25 geri kazanım elde edilerek transportta yüksek verim elde edildiği görülmüştür. Sonuçta kısa sürede EME-PIM (elektromembran-polimer içerikli membran) uygulamasında Cr(VI) metalinin geçiriminin yüksek bir şekilde sağlandığı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer içerikli membran, Elektromembran, Mezo-Oktametil Kaliks[4]Pirol

## Removal of Cr(VI) Metal Cation by Electromembrane Extraction and Kinetic Analysis

### ABSTRACT

In our experiments, electromembrane extraction process applications were carried out under the influence of electric current for the disposal of Cr(VI) metal found in wastewater, and the transport of Cr(VI) metal cation was carried out efficiently. The reason for the use of electric field in the experiments is that the extraction of Cr(VI) is controlled and the transport takes place quickly. The ligands that will carry out the transport were determined as meso-octamethyl calix[4]pyrrole and oxime derivatives, and the parameters of these two ligands were compared. By examining the kinetic data at constant current and voltage, the concentration data of Cr(VI) metal from the samples taken from the supply and receiver phase cells at certain times from each variable were determined using UV-spectrophotometer. In the transport of Cr(VI) from the feed phase to the acceptor phase in a constant electric current, we used the polymer-containing membrane we synthesized (cellulose triacetate (CTA) as the polymer support material, 2-nitrophenyloctyl ether (2-NPOE) as the plasticizer. Rate constant (k), flow Various kinetic data such as velocity (J), permeability coefficient (P) and recovery factor (% RF) were calculated. As a result of the 100-minute test period, it was seen that 78.25% recovery was achieved and high efficiency in transport was achieved. As a result, EME- It has been determined that the permeability of Cr(VI) metal is high in PIM application.



## **I. GİRİŞ**

Endüstriyel üretim süreçleri sırasında oluşan atık suların varlığı artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte endişe verici bir hal haline gelmektedir[1]. Sudaki ağır metaller sadece suda yaşayan canlılara değil aynı zamanda insan sağlığına da zarar vererek vücutta yüksek toksik birikime neden olarak canlı sisteminin bozulmasına ve nihayetinde ölüme yol açabilir [2][3]. Günümüzde atık su arıtma işlemlerinde membran prosesleri sıklıkla kullanılmaktadır. Tercih edilmelerinin en büyük sebebi pahalı olmamaları, sanayi tesisleri yönünden yüksek avantaj sağlamaları, eş zamanda değişik filtreleme kullanımlarıyla da birlikte fazla gider gerektirmeyen donanım kullanılması, üretilmesinden sonra taşınmasının, tasarlanmasının ve temizliğinin zorlama gerektirmemesi ve genellikle enerji tasarrufu sağlaması gibi daha birçok avantaj sağlamasıdır. Bunun yansira ağır metalleri atık suların iyon değişimi[4], kimyasal çöktürme[5], pıhtılaşma/fokülasyon[6] ve adsorpsiyon[7] gibi geleneksel yöntemler de hala kullanılmaktadır[8].

Polimer içerikli membranlar (PIM) yaklaşık 50 yıldır kullanılmakta [9] olup destekli sıvı membranlara alternatif olarak geliştirilmiştir. PIM'ler hazırlanması zor olmayan membranlardır, elektriksel spesiyaliteye sahiptirler. Aynı zamanda üstün optikleyici özelliklerdir. Membranlar, reseptörün fiziki immobilizasyonu ve plastikleşmiş polimer indikatörün hazırlanmasıyla meydana gelmektedir [10]. Baz polimer, plastikleştirici ve taşımayı gerçekleştirecek kimyasallar belirlenen elverişli bir çözücüyle buluşturduktan sonra, çözücünün yavaşça uçurulmasıyla polimer içerikli membran hazır hale gelir. İşlemlerin sonucunda oluşturulan polimer içerikli membran, esnek ve ince bir zardan ibarettir [11].

2006 senesinde Pedersen-Bjegaard ile Rasmussen birlikte yaptıkları çalışmada ilk kez elektriksel potansiyel güç etkisi altında destekli sıvı membran (SLM) vasıtası ile analitik taşıyım gerçekleştirilebileceği üzerinde durmuşlardır[12]. PIM'de de gelecek vaad eden yöntemlerden biri olan EME 'nin en önemli avantajı ise örnekler için çok yüksek temizleme gerçekleştiriyor olması, minimum miktarlarda organik çözücü ve malzeme kullanılmasıdır. 2006'dan beri yapılan çalışmalar elektromembran prosesinin ilerleyen zamanlarda yapılacak araştırmalar için önem teşkil edeceğini göstermiştir. Taşıyım için yürütücü gücü elektriksel potansiyelin sağladığı bu çalışmalarda, donör fazında varolan yüklenmiş analitler polimer içerikli membranın boyunca alıcı fazda mevcut karşı yüklü elektrottan tarafa hareket eder ve elektrik alanının yönelimi sebebiyle alıcı faz çözeltisinde tutulumları sağlanır[13]. Tipik bir elektromembran deney düzeneği (Şekil 1.) donör faz (verici faz), akseptör faz (alıcı faz), polimer içerikli membran ve elektrotlar olmak üzere dört bölümden oluşur. Bir taşıyıcı ile birlikte sentezlenen polimer içerikli membran yardımıyla donör fazdan akseptör faza yüklü analitlerin göç etmesiyle proses tamamlanmış olur [14]. Geri kazanımın oranı ve örneklerin temizliğinin yüksek oranda gerçekleşmesi isteniyorsa elektromembran prosesinin parametreleri, hazırlanan çözeltilerin ve kullanılan membranların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden direkt etkilenir [15]. Bu yüzden geçirim zamanı, uygulanan akım-voltaj, sıcaklık, karıştırma hızı, gibi birçok parametrelerin optimize edilmesi gerekmektedir ve bu optimizasyon yardımıyla analit geçiriminde istenilen yüksek geçirgenlik sonuçlarına erişilmektedir. Aynı zamanda verimli bir EME-PIM deneyi için, uygulanan elektrik alanının yükü ve boyutu kolayca değiştirilebilmelidir. Alıcı çözeltiye taşınacak iyonik analitlerin türü, elektrik alanının yönü ile doğrudan ilgilidir. Örneğin, anyonların taşınması gerekiyorsa anot alıcı faz çözeltisine, katyonların taşınması isteniyorsa katot alıcı faz çözeltisine yerleştirilmelidir[16][17][18]. Az hacimde organik çözücü kullanılarak bu prosesin gerçekleştirilmesi yeşil kimya olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır [12][19][20]. EME genel olarak biyolojik kirleticilerin geri kazanımı sebebiyle kullanılmaktadır. EME farklı olarak organik ve anorganik katyonlar aynı şekilde anyonlar, boyalar, ağır metaller, biyokimyasal aktif bileşiklerden hormonlar, peptitler, amino asitler, amin vs. gibi çok çeşitli matrislerden değişik analitleri ayırmada kullanılmıştır [21].

Membranlarda diğ er önemli konu da taşıyıcı seçimidir [22]. PIM sistemlerinde metal iyon ayrımı için uygun bir taşıyıcı seçilmesi gereklidir. Taşıyıcı, donör fazındaki bileş enle bir kompleks oluşturur ve onu membranın diğ er tarafına taş ır. Genellikle taşıyıcı seçimi kinetik ve termodinamik bilgisine dayanır. Uygun bir taşıyıcı ve kompleksi, membran fazında ç özünür olmalı ve donör/akseptör fazlarında karış mamalıdır. Sıvı membran sistemlerinde metal iyonu geri kazanımı için kullanılan ç oğ u taşıyıcı, taç eter, kaliksaren, kaliks-taç vb. gibi makro-siklik polimerler ve asiklik polieterler gibi makromoleköl polimerlerdir. Son on yılda yapılan son ç alış malarla göre, taşıyıcı olarak makro dög ü ve makromoleköl polimerlerinin kullanılması, yüksek seçiciliğ e sahip verimli bir metal iyonu geri kazanımı sağ lar [23]. Ç alış mamızda polimer iç erikli membran kullanılarak elektromembran ekstraksiyonu prosesiyle Cr(VI) iyonlarının taş ınımı voltaj gücünden faydalanılarak sağ lanmıştır. Voltaj ve akım değ erlerinde değ iş ime gidilerek taşıyıcı olarak kullanılan mezo-oktometil kaliks [4] pirol kullanılarak optimum şartlar belirlenmiş daha sonra farklı taşıyıcı olarak oksim türevi kullanılarak Cr(VI) metal katyonunun taş ınımının kinetik verileri karşılaştırılmış tır. Ayrıca pasif difüzyon ve EME proseslerinin Cr(VI)'nın taş ınması üzerine etkisi incelenmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOD**

### **A. KULLANILAN MALZEME VE MATERYALLER**

Yaptığımız taş ınım ç alış malarında Pamukkale Üniversitesinde Fizikokimya Araştırma Laboratuvarında mevcut; UV-visible Spektrofotometresi (Pgenstrument t-60), güc kaynağ ı; Electro-Automatik PS 91000 3U 3HE 10000 W (Viersen Deutschland), manyetik karış tırıcı; JP Selecta 7001511 (Almanya), sirkülasyonlu termostat; Polyscience 912 (ABD) kullanılmış tır. Ayrıca potasyum dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) Riedel-de-Haën, mezo-oktometil kaliks [4] pirol ( $C_{28}H_{36}N_4$ ) Sigma-Aldrich, Hidroklorik asit (%37) (HCl) Merck, Sülfürük asit (%98) ( $H_2SO_4$ ) Fluka, Etanol ( $C_2H_5OH$ ) Merck, 1,5-difenilkarbazit ( $C_{13}H_{14}N_4O$ ) Sigma-Aldrich, 2-Nitrofenil Oktıl Eter  $C_{14}H_{21}NO_3$ , Sodyum Hidroksit (NaOH) Sigma-Aldrich, ve Selüloz triasetat Fluka firmalarından temin edilmiştir. Elde edilen sonuçların kinetik verilerinin hesaplanmasında, grafik çiziminde sigma plot software programından yararlanılmış tır.

### **B. POLİMER İÇERİKLİ MEMBRANIN HAZIRLANMASI**

Polimer iç erikli membranın sentezinde 0,0200 g CTA (selüloz tri asetat) tartılarak 2,5 mL diklorometan eklenerek karış tırıcıda 6 saat boyunca karış tırılmış tır. Baş ka bir yerde ayrı olarak 0,0140 g taşıyıcı olarak kullanılan mezo-oktometil kaliks [4] pirol alınarak 1,5 mL dikloro metan ilave edilmiş ve plastikleştirici olarak kullandığımız 0,035 ml 2-Nitrofenil Oktıl Eter eklenerek 3 saat karış tırılmış tır. Daha sonra bu iki karış ım birleştirilerek 3 saat daha karış tırılarak 60 mm'lik petri kabına dökülmüş 24 saat oda şartlarında ç özücünün uzaklaş ması beklenip bir pens yardımıyla petri kabından ç ıkartılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

### **C. PIM-EME DENEYLERİ**

Membran hazırlandıktan sonra Cr(VI) taş ınımı için elektromembran prosesinin yapılacağı sistem hazırlanır. Bunun için camdan oluş an iki bölmenin arasına konulan membranın sabitlenmesi ve oluşabilecek sızıntıların önüne geçebilmek için hücrelerin arası bir kelepç eyle tutturulmuştur. Kurulan düzeneğ in sol hücresi (besleme faz) 0.1 M hidroklorik asitte hazırlanmış  $2 \times 10^{-4}$  M  $K_2Cr_2O_4$  ç özeltisi ile doldurulur. Sağ hücre (alıcı faz) ise 0,01 M sodyum hidroksit ç özeltisi doldurularak her iki fazın iç erisine platin tel konulmuştur. Resim 1. 'den de anlaş ılacağı üzere iyonik türlerin göç etmesini sağlamak amacıyla kullanılan güc kaynağ ının katot ucu besleme faz ç özeltisinin bulunduğu hücreye, anot ucu da alıcı fazın ç özeltisinin bulunduğu hücreye bırakılır [25].



*Resim 1. PIM-EME deneyleri için kullanılan deney düzeneği.*

10 dakikada bir her iki hücrenden (donör ve Akseptör fazlardan) aynı miktarda örnek alınarak (0,5 mL) cam tüplerde kapağı kapatılarak ölçülecek zamana kadar saklanmıştır. Denemeler sabit sıcaklık ve karıştırma şiddetinde (20 °C’de 150 rpm), farklı akım-voltaj koşullarında gerçekleştirilmiştir. Besleme fazdan alıcı faza taşınan Cr(VI), sürenin fonksiyonu olarak alıcı fazın derişim değışimlerinden faydalanılarak UV Spektrofotometresiyle hesaplanmıştır. Cr(VI) metal katyonunun varlık tayininde Cr(VI) için belirli derişimlerde çözelti standartları hazırlanarak UV visible spektrofotometresiyle kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Belirli sürelerde, besleme ve alıcı faz çözeltilerinden numuneler alınarak, çizilen kalibrasyon grafiği ile Cr(VI) metalinin derişimi saptanmıştır.

Cr(VI)’yla beraber asidik ortamda pembe renk kompleks oluşturan 1,5 difenilkarbazitin 540 nanometre dalga boyunda absorpsiyonu temel alınarak UV-Visible Spektrofotometresinde alınan örneklerin derişimleri belirlenmiştir. Bunun için fazlardan alınmış numuneler cam tüplerde muhafaza edilerek 0,5 mL’ine 4 mL 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfirik asit) ve 0,5 mL 1,5 difenilkarbazit çözeltisi ilave edilerek 20-25 dakika bekletilmiş, oluşan pembe renkli kompleks çözeltilisinin absorbansları UV-Visible spektrofotometresinde saptanmıştır. Asitli ortamda oluşan bu pembe renkli komplekse ait kalibrasyon doğrusunu çizebilmek amacıyla değışik dikromat derişimleriyle 1,5 difenilkarbazitle meydana getirdiği kompleks numunelerinin en yüksek dalga boyunu verdiği 540 nanometrede absorbans değeri okunmuştur [26].

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Gerçekleştirilen çalışmamızda Cr(VI) metal katyonunun EME ile transportu 1. mertebeden reaksiyon kinetiğiyle ifade edilmektedir.

$$\ln ( C/C_i ) = -kt \quad (1)$$

Eşitlik 1.’de C, t anında ki besleme fazdaki Cr(VI) derişimini C<sub>i</sub>, besleme fazdaki Cr(VI)’nın başlangıç konsantrasyonunu, k ile ifade edilen hız sabiti (s<sup>-1</sup>), taşıma süresi ise t olarak ifade edilir. ln ( C/C<sub>0</sub> ) - t grafiğinin eğimi k hız sabitini vermektedir.

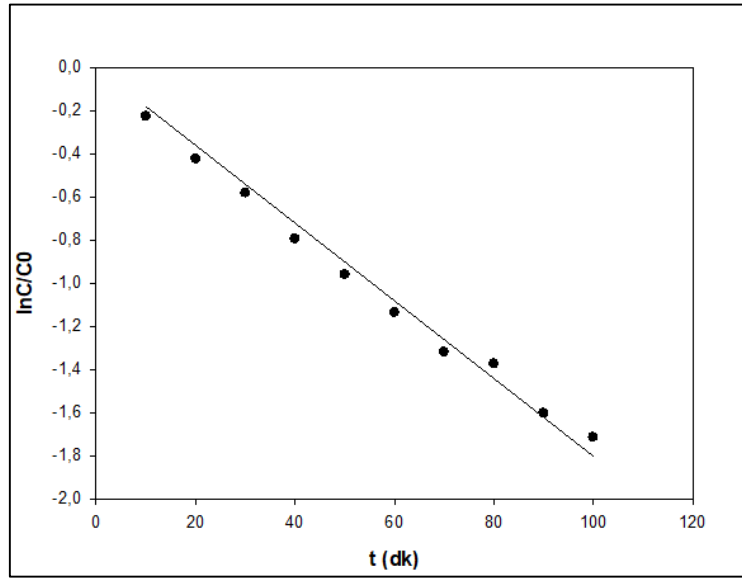
0,1 M Hidroklorik asitte hazırlanmış 2x10<sup>-4</sup> M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> olan çözelti besleme fazda kullanıma hazırlanır. Alıcı faz hücresinde 0,01 M sodyum hidroksit çözeltisi, PIM sentezinde taşıyıcı olarak kullanılan ligant

$1 \times 10^{-2}$  Molar olarak hazırlanan mezo-oktametil kaliks [4] pirolün, optimum şart tespit edilen 40 Volt, 0,1 Amper 150 rpm karıştırma şiddetinde, 293 K'de saptanmış ve veriler aşağıdaki tablo 1.'deki gibidir.

**Tablo 1.**  $\ln(C/C_i) - t$  grafiği absorbans değerleri.

t (dakika)	C/C <sub>i</sub>	ln C/C <sub>i</sub>
0	0,000	0,000
10	0,798	-0,226
20	0,654	-0,424
30	0,549	-0,581
40	0,452	-0,794
50	0,383	-0,960
60	0,321	-1,136
70	0,267	-1,320
80	0,253	-1,374
90	0,201	-1,604
100	0,180	-1,715

Belirli zaman aralıklarında taşınım ölçülerek reaksiyon hız sabiti (1. Mertebeden) yukarıdaki tablo 1. de gösterilen bilgiler ışığında Eşitlik 1. kullanılarak çizilen  $\ln(C/C_i)$ -t grafiğinin eğiminden tespit edilerek şekil 1.'de verilmiştir ve ayrıca  $r^2=0,9971725$  olarak bulunmuştur.



**Şekil 1.**  $\ln(C/C_0) - t$  grafiği

PIM deneylerinde 40 volt 0,1 amperde (150 rpm, 293 K) optimum şartlar sağlanarak en yüksek kinetik veriler elde edilmiş ve hesaplanan parametreler aşağıda Tablo 2. 'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Optimum şartlardaki kinetik sonuçlar.

Voltaj ve Akım Değerleri	$k \times 10^4 (s^{-1})$	$P \times 10^6 (m/s)$	$J \times 10^6 (mol/m^2.s)$	Geri Kazanım Faktörü (RF)(%)
40 V-0,1 A	2,463	12,205	2,441	78,255

Akseptör faz 0,01M NaOH çözeltisi, 0,1M Hidroklorik asitte  $2 \times 10^{-4}$  M  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisinde hazırlanan besleme faz, polimer içerikli membranda taşıyıcı ligant olarak kullanılan  $1 \times 10^{-2}$  M mezo-oktametil kaliks[4]pirol, 150 rpm, deney süresi 100 dakika, 293 K.

$\ln ( C/C_0 ) - t$  grafiği doğrusal olup saptanan  $k$  hız sabiti değeri eşitlik 2. ile verilen geçirgenlik katsayısının ( $P$ ) tespitinde kullanılmıştır.

$$P = \frac{V}{A}k \quad (2)$$

Eşitlik 2.'de  $V$ ; besleme hücresi hacmi,  $A$  ile gösterilen ise membran yüzeyinin alanıdır. ( $J$ ) Akış hızı, eşitlik 3 ile bulunmuştur [24].

$$J = P.C \quad (3)$$

$Cr(VI)$  transportunun verimliliğinin saptanmasında kullanılan geri dönüşüm faktörü ( $RF$ ) ise eşitlik 4'den hesaplanmaktadır.

$$RF = \frac{C_i - C}{C_i} \times 100\% \quad (4)$$

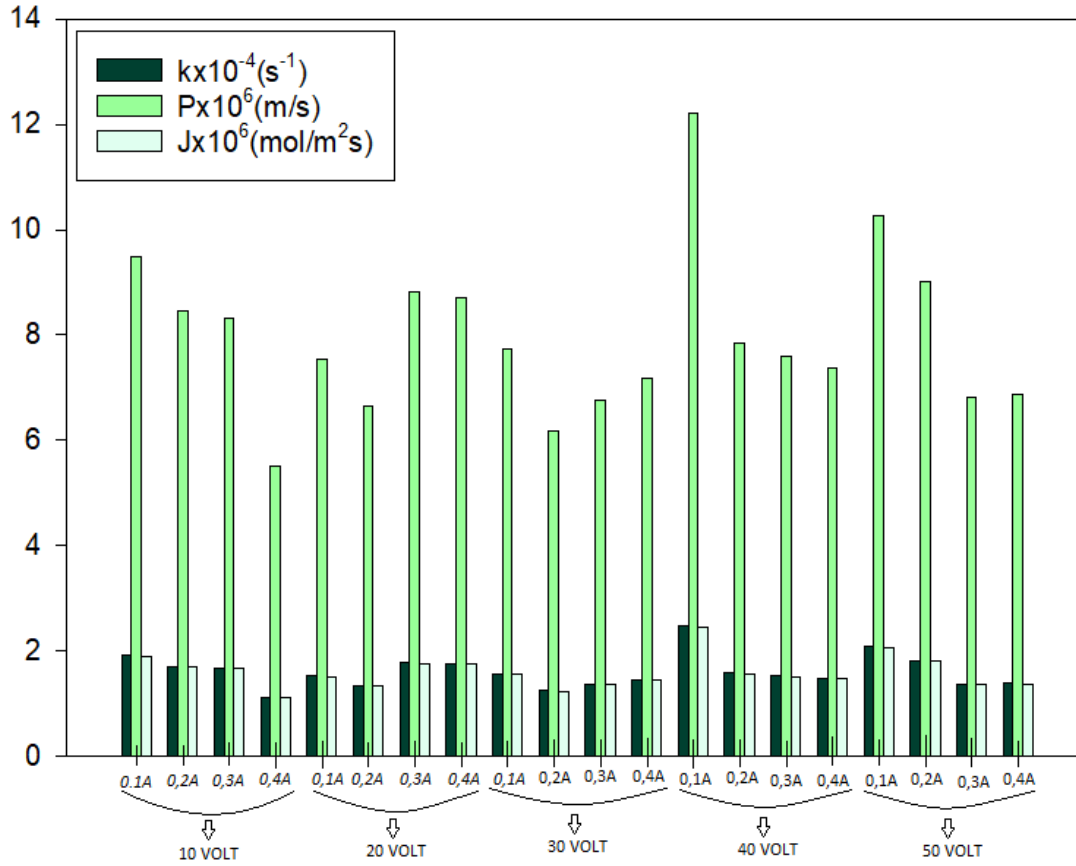
### A. PIM-EME DENEYLERİNDE AKIM VE VOLTAJ ETKİSİ

EME prosesinde yürütücü kuvvet elektriksel potansiyeldir. Bu potansiyelin yönünün ve kuvvetinin kolaylıkla değiştiriliyor olması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Yapılan deneylerde de farklı akım ve voltaj uygulanarak optimum değerler elde edilmiştir[25]. Elde edilen veriler Tablo 3. 'de verilmiştir.

*Tablo 3. Farklı değerlerde uygulanan akım ve voltajın kinetik verileri.*

Uygulanılan Voltaj	Uygulanılan Akım	$k \times 10^4 (s^{-1})$	$P \times 10^6 (m/s)$	$J \times 10^6 (mol/m^2.s)$	Geri Kazanım Faktörü (RF)(%)
<b>10 V</b>	<b>0,1 A</b>	1,916	9,497	1,899	69,657
	<b>0,2 A</b>	1,703	8,442	1,688	71,153
	<b>0,3 A</b>	1,678	8,316	1,663	70,093
	<b>0,4 A</b>	1,113	5,516	1,103	58,193
<b>20 V</b>	<b>0,1 A</b>	1,520	7,533	1,507	59,315
	<b>0,2 A</b>	1,344	6,659	1,332	57,882
	<b>0,3 A</b>	1,779	8,818	1,764	74,455
	<b>0,4 A</b>	1,755	8,698	1,740	69,159
<b>30V</b>	<b>0,1 A</b>	1,560	7,729	1,546	61,558
	<b>0,2 A</b>	1,245	6,169	1,234	60,187
	<b>0,3 A</b>	1,363	6,756	1,351	57,819
	<b>0,4 A</b>	1,447	7,171	1,434	68,972
<b>40V</b>	<b>0,1 A</b>	2,463	12,205	2,441	78,255
	<b>0,2 A</b>	1,584	7,851	1,570	68,474
	<b>0,3 A</b>	1,530	7,580	1,516	59,315
	<b>0,4 A</b>	1,486	7,363	1,473	61,807
<b>50 V</b>	<b>0,1 A</b>	2,071	10,263	2,053	74,081
	<b>0,2 A</b>	1,817	9,004	1,801	74,268
	<b>0,3 A</b>	1,375	6,816	1,363	63,489
	<b>0,4 A</b>	1,386	6,870	1,374	63,988

Deney şartları: akseptör faz; 0,01M NaOH, 0,1M Hidroklorik asitte  $2 \times 10^{-4}$  M  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisinde hazırlamış olduğumuz besleme faz, polimer içerikli membranda ligand taşıyıcı olarak kullanılan  $1 \times 10^{-2}$  M mezo-oktametil kaliks[4]pirol, 150 rpm, 0,1-0,4 Amper, 10-50 Volt, 100 dakika ve 293 K.



Şekil 2. Farklı akım ve voltajlarda k, P, J'nin değerleri.

Yapılan çalışmalardan ve Şekil 2.'deki grafikten de görüldüğü üzere en iyi sonuç 40 volt 0,1 amperde alınmıştır. Alınan örneğin temizlenmesi ve kirliliklerden uzaklaştırılması için elektromembran prosesinin şartları optimal hale gelmelidir.

EME sırasında akım fazla arttırılmamalıdır [26]. Bunun nedeni, ağır metalin taşınımı sırasında belirtilen denklemlere uygun elektrolizin oluşmasıdır.

Anotta gerçekleşen:  $H_2O_{(sulu)} \rightarrow 2H^+_{(sulu)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} + 4e^-$  (besleme faz)

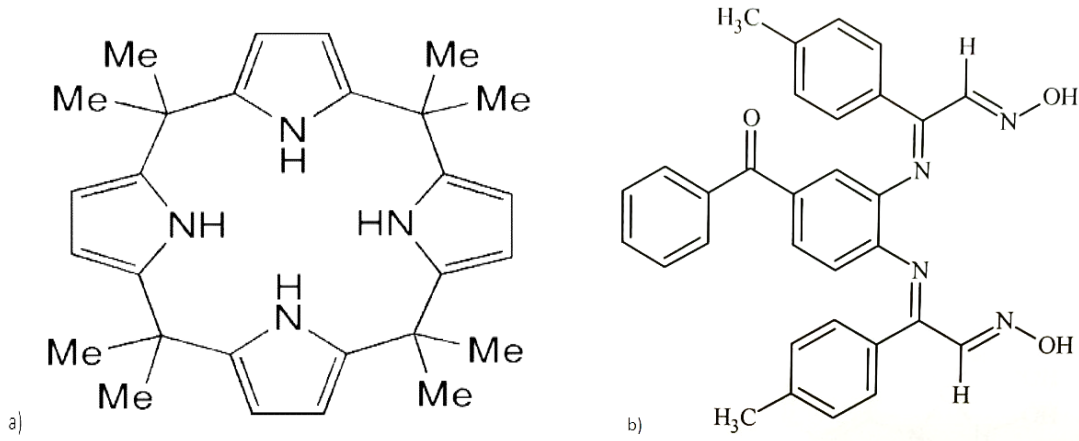
Katotta gerçekleşen:  $2H^+_{(sulu)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$  (alıcı faz)

Kinetik verilerin voltajın artmasıyla birlikte artması beklenen bir sonuç olmasına rağmen hidrolizin meydana gelmesi ve elektron hareketlerinin stabil olmaması nedeniyle yukarıdaki veriler elde edilmiştir. Elektroliz olayının fazla gerçekleşmesi ortamı ve EME prosesini kararsız hale getirerek ekstraksiyonun verimini azaltmıştır. Bunun neticesinde meydana gelen akımın artması besleme ve alıcı fazlarda pH değişimlerine sebep olmaktadır. Genel olarak PIM stabilitesinin eksikliği ya da kinetik verilerdeki değişimin sebebi kullanım sırasında membran fazdan sulu faza taşıyıcı/plastikleştirici kaybının neden olduğu kabul edilir. Ayrıca taşıma işleminde yürütücü kuvvet etkisi altında hedef analit membran ara yüzüne bağlanarak membran-akseptör faz ara yüzüne yayılır. Yürütücü kuvvet olarak kullanılan elektriksel potansiyel çok kısa bir sürede uygulandığı ortamda hedef analitlerin alıcı faza ulaşmasını sağlamaktadır [12].

## B. PIM-EME DENEYLERİNDE FARKLI TAŞIYICILARIN ETKİSİ

PIM ve EME deneylerinde kullanılacak taşıyıcılarda bazı özelliklerin bulunması çok önemlidir. Taşınacak türlere karşı spesifik seçim, homojen dağılma ve ayrılma sabiti olması, yüksek dekompleksleşme ve sıyırma sabitinin olması membranın yüzey alanında hızlı kompleksleşme/dekompleksleşme olması, kararlı olması, sulu bileşiklerinde çözünürlüğünün düşük olması, akışkanlık-yüzey gerilimi gibi bir takım fiziksel özelliklerinin sisteme uyuyor olması, çevre kirliliği yapmıyor olması sanayi uygulamaları için yerinde özelliklerde ve uygun fiyatlarda olması gibi özellikler istenir [27].

Çalışmamızda iki farklı taşıyıcı ligand kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bunlar mezo-oktametil kaliks[4]pirol diğeri ise oksim türevidir. Çalışılan ligantların açık yapıları Şekil 3.'de verilmiştir.



Şekil 3. a) mezo-oktametil kaliks[4]pirol b) Oksim türevi ( $C_{31}H_{26}N_4O_3$ ). Taşıyıcıların açık yapıları.

Çalışmamızda taşıyıcı olarak optimum voltaj ve akımı sağlamak için mezo-oktametil kaliks[4]pirol tercih edilmiştir. Mezo-oktametil kaliks[4]pirol formaldehit ve p-alkil fenollerin baz katalizörlüğünde sentezlenen makrosiklik bileşiklerdir. Mezo-oktametil kaliks[4]pirol, metal iyonları ile sulu fazda kompleks oluşturarak anyon değiştirici görevi yapmaktadır [27]. Taşıyıcı türünün Cr(VI) transportuna etkisinin incelendiği veriler Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 4. Taşıyıcı türünün Cr(VI) transportuna etkisi.

Taşıyıcı Türü	$k \times 10^4 (s^{-1})$	$P \times 10^6 (m/s)$	$J \times 10^6 (mol/m^2.s)$	Geri Kazanım Faktörü (RF)(%)
Mezo-oktametil kaliks[4]pirol	2,463	12,205	2,441	78,255
Oksim	1,168	5,788	1,158	50,841

Deney şartları: 0,01M Sodyum hidroksit çözeltisiyle hazırlanan alıcı faz, 0,1M Hidroklorik asitte  $2 \times 10^{-4}$  M  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisinde hazırlanan besleme faz, polimer içerikli membranda taşıyıcı ligand olarak kullanılan  $1 \times 10^{-2}$  M mezo-oktametil kaliks[4]pirol ve oksim, 40 Volt 0,1 Amper, 150 rpm, deney süresi: 100 dakika, 293 K.



**Şekil 4.** Mezo-oktametil kaliks[4]pirol / oksim türevi taşıyıcıların geri kazanım faktörü grafiği.

Mezo-oktametil kaliks[4]pirol yapısını halkalı yapıda olması ve bu halkanın içinde de N-H gruplarının var olması Cr(VI) ile kompleks oluşturma yeteneğini geliştirmektedir. Kinetik sonuçlardan da görüleceği gibi mezo-oktametil kaliks[4]pirol ligant taşıyıcısı ile gerçekleştirilen denemelerde Cr(VI) için yüksek taşınım değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.'de Mezo-oktametil kaliks[4]pirol ve oksim türevi taşıyıcılarının geri kazanım faktörü açısından karşılaştırmalı grafiği de verilmiştir.

### C. Cr(VI) EKSTRAKSİYONUNDA PASİF DİFÜZYON-EME ETKİSİ

EME deneylerinde güç kaynağıyla birlikte istenilen analitin çözültiden çıkarılması sağlanmıştır. Diğer türler ile ekstraksiyon karşılaştırıldığında kısa zaman aralığında kararlı hale geçip transportun gerçekleşmesi önemli fayda sağlamaktadır.

**Tablo 5.** Cr(VI) taşınımına proses türünün etkisi.

Transport Çeşidi	$k \times 10^4 (s^{-1})$	$P \times 10^6 (m/s)$	$J \times 10^6 (mol/m^2.s)$	Geri Kazanım Faktörü (RF)(%)
EME Prosesi	2,463	12,205	2,441	78,255
Pasif Taşıma	0,726	0,571	0,042	13,804

Deney şartları: Alıcı faz; 0,01M Sodyum hidroksit çözeltisi, 0,1M Hidroklorik asitte  $2 \times 10^{-4}$  M  $K_2Cr_2O_7$  çözeltisinde hazırlanmış olduğumuz besleme faz, polimer içerikli membranda taşıyıcı ligand olarak kullandığımız  $1 \times 10^{-2}$  M mezo-oktametil kaliks[4]pirol, 40 Volt 0,1 Amper, 150 rpm, deney süresi 100 dakika, 293 K.

Tablo 5.'deki verilerden de anlaşılacağı üzere pasif transport yani dışarıdan herhangi bir yürütücü kuvvet uygulanmadığı zaman Cr(VI)'nın taşınımı yok denecek kadar azdır. Bu durum kinetik verilerden anlaşılmaktadır. Halbuki EME ile Cr(VI) taşınımında oldukça yüksek kinetik değerler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar transport çalışmalarında yürütücü kuvvetin önemini bir kez daha ortaya koymuştur.

## IV. SONUC

Dünya üzerinde bulunan suyun miktarının ve kalitesinin korunmasının önemi her geçtiğimiz gün daha da fazlalaşmaktadır. Gerçekleştirmiş olduğumuz deneylerimizde toksitesi fazla olan Cr(VI) kationunun



uzaklaştırılmasında elektromembran prosesinin kullanılması halinde yüksek seçicilik, taşınım zamanını kısaltılması, uygulama ve deney düzeneği yönünden kolaylık, daha az enerji harcayarak yüksek verim sağlanması ve aynı anda endüstriyel alanlarda kullanılabilirliğinin yaygınlaşması gibi özelliklerinin dikkat çektiği görülmüştür. Elektriksel alan parametresinde gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda farklı potansiyellerde (10 Volt, 20 Volt, 30 Volt, 40 Volt, 50 Volt) ve değişik akım şiddetlerinde (0,1 Amper, 0,2 Amper, 0,3 Amper, 0,4 Amper), farklı taşıyıcılar kullanarak (mezo-oktametil kaliks[4]pirol ve oksim), değişik proseslerde (pasif taşıma, EME) taşınım etkilerine bakılmıştır. Deney sonucundaki kinetik verilerin stabil çıkmamasının sebebi akımın artmasıyla birlikte hidroliz olayının gerçekleşmesi ve kabarcıkların oluşması sistemin kararlılığını negatif yönde etkilenmiştir. Ayrıca, yüksek konsantrasyonlar akseptör çözeltilerde yüksek akıma neden olabileceği gibi sıcaklık, karıştırma hızı, membran yüzeyi, akseptör faz hacmi gibi birçok parametreden etkilenebilmektedir. Daha kapsamlı çalışmalarla birlikte sistemin geliştirilebilir olması hem atık sulardan ağır metalin gideriminin de hem de daha temiz bir dünya için umut vericidir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] B. Keskin, B. Zeytuncu-Gökoğlu, and I. Koyuncu, “Polymer inclusion membrane applications for transport of metal ions: A critical review,” *Chemosphere*, vol. 279, 2021
- [2] N. S. Abdul-Halim, N. F. Shoparwe, S. K. Weng, and N. S. W. Zulkefeli, “Heavy metal ions adsorption from CTA-aliquat 336 polymer inclusion membranes (PIMs): Experimental and kinetic study,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2124, no. July, 2019
- [3] N. Abdullah, N. Yusof, W. J. Lau, J. Jaafar, and A. F. Ismail, “Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies,” *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 76, pp. 17–38, 2019
- [4] C. Zhao *et al.*, “A hybrid process of coprecipitation-induced crystallization-capacitive deionization-ion exchange process for heavy metals removal from hypersaline ternary precursor wastewater,” *Chem. Eng. J.*, vol. 378, no. 180, p. 122136, 2019
- [5] M. M. Matlock, B. S. Howerton, and D. A. Atwood, “Chemical precipitation of heavy metals from acid mine drainage,” *Water Res.*, vol. 36, no. 19, pp. 4757–4764, 2002
- [6] Q. Zhang *et al.*, “Cumulative effects of pyrolysis temperature and process on properties, chemical speciation, and environmental risks of heavy metals in magnetic biochar derived from coagulation-flocculation sludge of swine wastewater,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 6, p. 104472, 2020
- [7] U. Upadhyay, I. Sreedhar, S. A. Singh, C. M. Patel, and K. L. Anitha, “Recent advances in heavy metal removal by chitosan based adsorbents,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 251, no. August 2020, p. 117000, 2021
- [8] R. Shrestha *et al.*, “Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 4, p. 105688, 2021
- [9] M. I. G. S. Almeida, R. W. Cattrall, and S. D. Kolev, “Polymer inclusion membranes (PIMs) in chemical analysis - A review,” *Anal. Chim. Acta*, vol. 987, pp. 1–14, 2017
- [10] D. Rana, T. Matsuura, M. Kassim, and A. Ismail, “Reverse Osmosis Membrane,” *Handb. Membr. Sep.*, pp. 35–52, 2015

- [11] A. Kaya, C. Onac, and H. K. Alpoguz, "A novel electro-driven membrane for removal of chromium ions using polymer inclusion membrane under constant D.C. electric current," *J. Hazard. Mater.*, 2016
- [12] G. ÇALIK, A. AYTAÇ, and H. K. ALPOĞUZ, "DESTEKLİ Sivi Membranlar İle Cr(VI) Metal Katyonunun Elektromembran Ekstraksiyonu," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 8, no. 3, pp. 696–707, 2020
- [13] Y.-Y. Y. Wang *et al.*, "Supporting Information for Cu 2 + ) Complexes for Electrocatalytic Water Oxidation," *J. Am. Chem. Soc.*, 2017
- [14] J. Li, R. Zhu, X. Shen, C. Huang "Functional materials and chemicals in electromembrane extraction" *TrAC Trends in Analytical Chemistry* Volume 150, May 2022
- [15] K. V. Shestakov and S. I. Lazarev, "Method for Calculating Rational Process Parameters for Electromembrane Purification of Industrial Solutions and Waste Water in the Chemical Industry," *Chem. Pet. Eng.*, vol. 55, no. 1–2, pp. 63–67, 2019
- [16] G. Çalık, A. Kaya, C. Onac, A. Aytaç, and H. K. Alpoguz, "Kinetic analysis of Cr(VI) transport with electromembrane processes," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 97, no. 3, pp. 662–667, 2022
- [17] S. Pedersen-Bjergaard and K. E. Rasmussen, "Electrokinetic migration across artificial liquid membranes: New concept for rapid sample preparation of biological fluids," *J. Chromatogr. A*, vol. 1109, no. 2, pp. 183–190, 2006
- [18] E. Fernández, L. Vårdal, L. Vidal, A. Canals, A. Gjelstad, and S. Pedersen-Bjergaard, "Complexation-mediated electromembrane extraction of highly polar basic drugs—a fundamental study with catecholamines in urine as model system," *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 409, no. 17, pp. 4215–4223, 2017
- [19] L. E. E. Eibak, A. Gjelstad, K. E. Rasmussen, and S. Pedersen-Bjergaard, "Kinetic electro membrane extraction under stagnant conditions-Fast isolation of drugs from untreated human plasma," *J. Chromatogr. A*, vol. 1217, no. 31, pp. 5050–5056, 2010
- [20] S. Asadi, H. Tabani, and S. Nojavan, "Application of polyacrylamide gel as a new membrane in electromembrane extraction for the quantification of basic drugs in breast milk and wastewater samples," *J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 151, pp. 178–185, 2018
- [21] C. Huang, A. Gjelstad, and S. Pedersen-Bjergaard, "Organic solvents in electromembrane extraction: Recent insights," *Rev. Anal. Chem.*, vol. 35, no. 4, pp. 169–183, 2016, doi: 10.1515/revac-2016-0008.
- [22] M. Amini, A. Rahbar-Kelishami, M. Alipour, and O. Vahidi, "Supported liquid membrane in metal ion separation: An overview," *J. Membr. Sci. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 121–135, 2018
- [23] P. Venkateswaran, A. N. Gopalakrishnan, and K. Palanivelu, "Di(2-ethylhexyl)phosphoric acid-coconut oil supported liquid membrane for the separation of copper ions from copper plating wastewater," *J. Environ. Sci.*, vol. 19, no. 12, pp. 1446–1453, 2007
- [24] P. R. Danesi, L. Reichley-Yinger, C. Cianetti, and P. G. Rickert, "Separation of Cobalt and Nickel by Liquid-Liquid Extraction and Supported Liquid Membranes with Di(2,4,4-Trimethylpentyl)Phosphinic Acid [Cyanex 272]," *Solvent Extr. Ion Exch.*, vol. 2, no. 6, pp. 781–814, 1984
- [25] P. R. Danesi, *Separation Science and Technology Separation of Metal Species by Supported*

*Liquid Membranes*, no. May 2013. 2006.

[26] N. Drouin, P. Kubáň, S. Rudaz, S. Pedersen-Bjergaard, and J. Schappler, “Electromembrane extraction: Overview of the last decade,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 113, pp. 357–363, 2019

[27] L. D. Nghiem, P. Mornane, I. D. Potter, J. M. Perera, R. W. Cattrall, and S. D. Kolev, “Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs),” *J. Memb. Sci.*, vol. 281, no. 1–2, pp. 7–41, 2006



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Forecasting of COVID-19 Cases Under Different Precaution Strategies in Turkey

 Serdar ARSLAN <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Computer Engineering Department, Çankaya University, Ankara, TÜRKİYE*

*\*Corresponding author: sarslan@cankaya.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.1234168

### ABSTRACT

The coronavirus disease started at the end of 2019 and affected all the countries in the world. In Turkey, the vaccination process started at the beginning of 2021 but performed in slow progress. Thus, the Turkish Government tried to implement precautions to control this virus's spread. In this study, we evaluated and compared five different forecasting models, ARIMA, Prophet, NARNN, Stacked LSTM, and Bidirectional LSTM, in order to show the effect of these precaution strategies on virus spread using a real-world data set. According to the test results, ARIMA and Prophet were found to be the most accurate models for small data sets that are split regarding precautions. Moreover, test results showed that when data size grows, LSTM model performance increases. However, these models' performance decreased when we fed these models by using the entire data set without splitting.

**Keywords:** COVID-19, Forecasting, ARIMA, Prophet, NARNN, Deep learning, LSTM

## Türkiye'de COVID-19 Vakalarının Farklı Önlemler Altında Tahminlemesi

### ÖZ

Korona virüs salgını 2019 sonunda başladı ve tüm dünyayı etkisi altına aldı. Türkiyede aşılama süreci 2021 senesini başlarında başlatıldı ama çok yavaş ilerledi. Bu yüzden, bu süreçte Türk Hükümeti virüs yayılımını engellemek için çeşitli önlemler aldı. Bu çalışmada, bu önlemlerin virüs yayılımına olan etkisini anlamak için beş farklı tahminleme modeli (ARIMA, Prophet, NARNN, Yığıt LSTM ve çift yönlü LSTM) gerçek dünya verileri ile kullanıldı ve karşılaştırıldı. Test sonuçları önlemlere göre parçalanmış veri setinde küçük olanlar için ARIMA ve Prophet'in diğer modellere göre iyi sonuçlar verdiğini gösterdi. Veri setinin büyüklüğü arttıkça derin öğrenme yöntemlerinin daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlendi. Fakat, önlemlere göre ayırmadan tüm veri setini tek bir seferde kullandığımızda bu modellerin performanslarının düştüğü gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, Tahminleme, ARIMA, Prophet, NARNN, Derin öğrenme, LSTM

# **I. INTRODUCTION**

The global spread of the coronavirus epidemic accelerated at the end of December 2019[1]. The governments experimented with various strategies to mitigate the spread. On March 11, 2020, Turkey announced its first case. Over five million patients have been exposed to the virus since the outbreak. Each country takes steps to safeguard people's lives by establishing regulations like travel restrictions, quarantines, social seclusion, hard and soft locks, and delaying and canceling events. Despite these precautions, there is still a significant problem with the COVID-19 virus spreading. It is essential to evaluate the impact of such control strategies on epidemic advancement relative to global expectations in order to manage health resources and establish strategies for prevention. All of this control and preparation for preventative concerns can be assisted by model-based forecasting.

In the literature, many studies try to model and forecast the spread of COVID-19 [2]. In [3], the authors used a SIR-based model to predict the spread's impact on China. In [4], a discrete-time SIR model is proposed to predict Wuhan's mortality and recovery rates. Moreover, the effect of the different lockdown strategies in Italy is studied in [5] using the SIR model. However, SIR models must be more efficient in predicting long-term data, and more sophisticated modeling strategies should be used [6].

The Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) technique is another statistical approach widely used to make predictions over time series data. In [7], they used this model for forecasting COVID-19 cases in various European countries. They also compared the ARIMA model with The Nonlinear Autoregression Neural Network (NARNN) and Long-Short Term Memory (LSTM) models. ARIMA is also used in [8] for Asian countries simply for the total number of cases. Similarly, [9] used ARIMA method for short-term prediction. Many studies use ARIMA as a base forecasting method in order to compare other models with this widely used approach [10] [11] [12].

Facebook developed Prophet, an open-source time-series forecasting technique [13]. Prophet is a time-series forecasting methodology that is relatively new but has gained popularity since it is simple to use while still being effective. In [14], Prophet and SIR modes are compared using COVID-19 data. Prophet is also compared with ARIMA and LSTM in [15] and performed well on the data set containing COVID-19 total cases and deaths of Turkey. The Nonlinear Autoregression Neural Network (NARNN) model uses neural network by performing nonlinear regression through it. This method is used for forecasting when the series are non-linear. In [16], NARNN model performance is compared with ARIMA and LSTM models for different countries. In [17], NARNN model is used for forecasting COVID-19 confirmed, recovered and death numbers in India. Another study that uses NARNN for data set of Egypt is proposed in [18] and the model is compared with ARIMA model.

Various deep learning techniques have been proposed for time series forecasting including recurrent neural networks (RNNs), gated recurrent units (GRUs), long short-term memory networks (LSTMs), graph neural networks (GNN), and others [19]. LSTM models improve RNN in order to capture long-term dependencies while preserving the previous network states. Therefore, LSTM is also widely used for time series forecasting [7] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26], [27]. These works use similar unidirectional LSTM models for prediction.

The research community has shown a great deal of interest in machine learning applications to Covid-19. There are numerous research publications that attempt to employ machine learning to prevent the pandemic [2] [28] [29]. The COVID-19 and Spain Market Index (IBEX 35) short-term confirmed cases were projected using the SutteARIMA approach in [30]. Based on the mean absolute percentage error (MAPE) values, the Sut- teARIMA approach was found to be superior to the AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA) for predicting daily confirmed cases in Spain. In order to predict the number of confirmed COVID-19 cases in China, the study in [31] proposed an enhanced version of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) based on the Flower Pollination Algorithm (FPA). The goal is to use a hybrid of the Flower Pollination and Swarm Swarm Algorithms to find the parameters of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. The susceptible, infected, recovered, and deceased (SIRD)

model and other crucial variables were used by the authors in [4] to forecast the COVID-19 epidemic's growth in China. They suggested a method for forecasting the reproduction number (R0) from these variables. For India, the authors developed two genetic programming-based COVID-19 prediction models [32]. Their findings show that genetic evolutionary programming models are extremely reliable for COVID-19 situations in India. The SIR model was employed by the authors in [33] to predict confirmed COVID-19 cases in the Eastern Mediterranean region, specifically in Iran, Iraq, Saudi Arabia, the United Arab Emirates, Lebanon, Egypt, and Pakistan, with an emphasis on Pakistan.

In this paper, four different models, ARIMA, Prophet, NARNN, and LSTM, are used to forecast the rate of COVID-19 spread from the beginning of the spread in Turkey by using whole data (as a long-term data set). Moreover, we employ two different LSTM models: Stacked Unidirectional LSTM (SLSTM) and Bidirectional LSTM (BDLSTM). We selected these models because LSTM and its variations are the most widely used models and also have the best performance values [29]; however, the performance of these models depends on the data (country and time frame). Convolutional LSTM and bidirectional LSTM have demonstrated the highest accuracy among LSTM extensions, according to these studies [2] [29]. The performance of recurrent neural networks is based on the data set, and in the literature, most studies on COVID-19 predictions focus on complete data, starting with the first case. Employing the whole data set for prediction can result in erroneous results because governments have experimented with various control mechanisms throughout various periods. Therefore, the proposed models are also applied to four different short-term data sets, which contain daily cases and mortality rates of periods in which the government applies different precaution strategies. The results are compared with each other in order to find the best forecasting model for each precaution strategy.

**Table 1.** Overview of COVID-19 Data sets.

No	Date	Total Case	Total Death	Daily Case	Daily Death
1	18/05/21	5139485	45186	11937	231
2	19/05/21	5151038	45419	11553	233
3	20/05/21	5160423	45626	9385	207
4	21/05/21	5169951	45840	9528	214
5	22/05/21	5178648	46071	8697	231

**Table 2.** Data set properties.

Data Set	Start date (2021)	End date (2021)	Days	Period
DS <sub>1</sub>	13/01	03/03	50	Before normalization
DS <sub>2</sub>	04/03	19/04	47	Normalization
DS <sub>3</sub>	20/04	05/05	16	Partial shutdown
DS <sub>4</sub>	06/05	22/05	17	Full shutdown
DS <sub>5</sub>	13/01	22/05	130	Whole period

## **II. METHODOLOGY**

### **A. DATA PREPARATION**

The daily prevalence data of COVID-19 has been taken from The Ministry of Health of Turkey [34]. Long-term data consists of daily results for total confirmed cases, daily confirmed cases, total deaths and daily deaths starting from January 13, 2021 (from first vaccination) to May 22, 2021 and sample data is shown in Table 1.

In order to show the effect of precaution strategies, this long term data is split into different data sets. Each data set consists of the COVID-19 results starting from the one precaution period to the next one. Since average incubation period of corona virus is 5.1 days [35], the start and end of each data set is shifted by using this value. After splitting whole data set, there are five different data sets shown in Table 2.

The data set for starting from first vaccination date of Turkey to start of the gradual lifting of COVID-19 restrictions and called  $DS_1$ . The second data set contains data starting from the gradual lifting of COVID-19 restrictions to start of next restrictions period and called  $DS_2$ . The third data set contains data for restriction period and called  $DS_3$ . The fourth data set is for total lockdown period and called  $DS_4$ . And finally, whole data set is used in order to compare the forecasting models and this data set is called  $DS_5$ .

## B. FORECASTING METHODS

### B. 1. ARIMA

Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) is a statistical analysis technique and uses time series data to explain or predict this data based on its own past values. A non-seasonal ARIMA model is represented by using three parameters (p, d, q), where p is the number of autoregressive terms, d is the number of differencing degree, and q is the number of lagged forecast errors in the prediction equation.

ARIMA consists of three different components; AR, I, and MA models. Auto regression (AR) part of ARIMA refers to a model that shows uses the dependent relationship between current data and its past values. AR(p) means p lagged error terms are going to be used in the ARIMA model and the general formula for AR(p) can be expressed in Eq.1.

$$Y_t = \delta + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{p-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

where  $\delta$  is constant value, p is past value,  $\varphi$  is auto regression value, t is time,  $Y_t$  is observed value at a time t,  $\varepsilon_t$  is error term.

MA component stands for moving average and shows dependency between outcome of the model and previous observations.  $q$ th degree of moving average process MA(q) can be found as:

$$Y_t = \mu + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{q-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

where,  $\mu$  is constant value, q is past value,  $\theta$  indicates moving average value.

Without I component, we can define ARMA (p, q) by combining these two equations:

$$Y_t = \delta + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{p-1} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{q-1} \quad (3)$$

The I component stands for integrated and represents the differencing of raw observations to allow for the time series to become stationary. If the processed time series is not stationary, it can be made stationary by taking the difference process  $d$  times. First order differencing (d=1) is represented as:

$$Y'_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (4)$$

Similarly, second order differencing (d=2) is represented as:

$$Y''_t = Y'_t - Y'_{t-1} \quad (5)$$

Here,  $Y'_t$  and  $Y''_t$  are first and second order differences for  $Y_t$ . Thus, ARIMA (p, d, q) can be calculated by differencing on the time series as per  $d$ . Hence, non-stationary feature is removed by this differencing process. After that process, our model can fit the generated time series with the equation that combines Eq.1 and Eq.2:

$$Y_t = \delta + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j Y_{t-j} \quad (6)$$

## B. 2. Prophet

Facebook created the open-source time-series forecasting library known as Prophet. For time series forecasting, it employs a variety of unique techniques. Seasonality is also supported by Prophet. It consists of three essential parts; trend, seasonality and holidays. The time series data's trend is described by the first component, which is referred to as trend in Prophet also. Seasonality and holidays make up the second and third components, respectively. The following equation can be used to describe these three components;

$$Y_t = g_t + s_t + h_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

where,  $g_t$  is trend,  $s_t$  is seasonality and  $h_t$  is holidays. Once more,  $\varepsilon_t$  is an error term that accounts for any irregular changes that the model might not be able to tolerate.

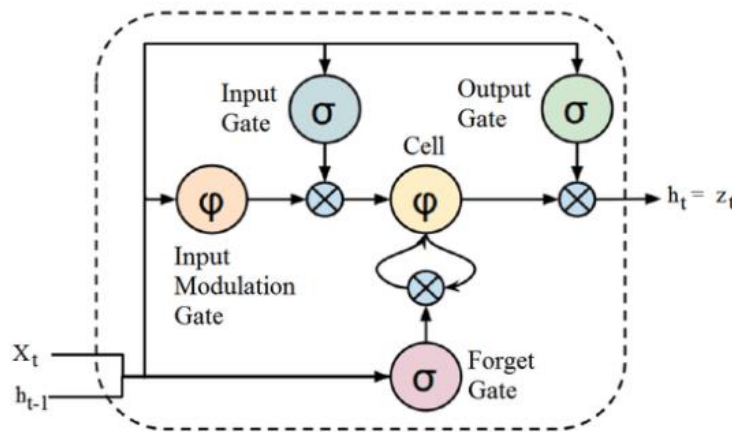


Figure 1. LSTM cell structure[36].

## B. 3. LSTM

Because they have their own memory structure, LSTMs, a particular type of recurrent neural network (RNN), are frequently employed in time series forecasting, emotional analysis, text analysis, and speech recognition. A gating mechanism is used in the LSTM model to remember or store lengthy data sequences. This gating mechanism makes use of data from earlier steps to evaluate a function and generate an output. The current LSTM cell state is changed via this output. Input gates, output gates, and forget gates are the three gate configurations that make up an LSTM cell. Figure 1 depicts the structure of an LSTM cell.

The following formula is used to use the forget gate to decide which data will be retained or not;

$$f_t = \sigma (W_f [ h_{t-1}, x_t ] + b_f) \quad (8)$$

In this equation,  $x_t$  represents input at time  $t$ ,  $h_{t-1}$  represents previous cell output, and  $\sigma$  represents sigmoid function. Information is preserved in the cell state if the forget gate's output is 1 (one). Following



this, the sigmoid function generates a vector of potential new values. Which values will be updated is decided by input gates and the vector  $C^{\sim}_t$  is computed by following equation;

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (9)$$

$$C^{\sim}_t = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (10)$$

Now cell's old state  $C_{t-1}$  is updated to new cell state  $C_t$ .

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * C^{\sim}_t \quad (11)$$

At the end, we decide the output of the network, and this output depends on the integrity of our cells. The  $\tanh$  function is used for cell state and multiplied by this  $\text{sigmoid}$  layer after the  $\text{sigmoid}$  layer determines which components of the cell state will be utilized;

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (12)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (13)$$

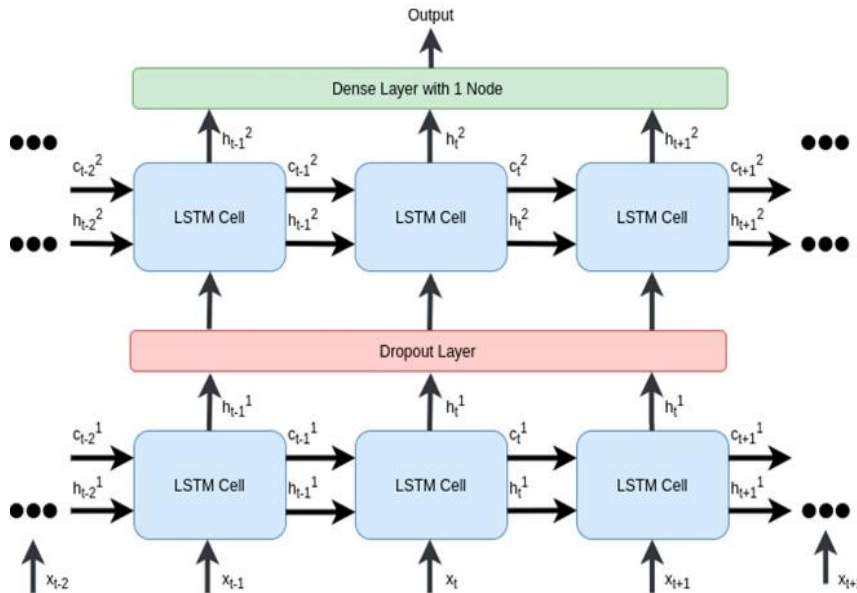


Figure 2. Stacked LSTM network.[36]

Multiple LSTM layers are utilized in the stacked LSTMs (SLSTMs) that are presented in [37]. Time series information is fed into the first LSTM layer, which then generates the output. The following LSTM layer is fed using this output. The internal architecture of every LSTM layer is the same, but the number of units differs. Figure 2 displays a Stacked LSTM structure.

Conventional LSTMs utilize only prior information in order to resolve the following states. In order to handle input in both directions, bidirectional LSTMs (BDLSTMs) are developed [38]. Two distinct hidden layers are combined to create BDLSTMs, which enable bidirectional information transmission at every time step by combining two independent LSTMs. The BDLSTM cell has two different inputs; one from prior steps and another one from the following step. The BDLSTM network may store information from the past and the future by combining the inputs and outputs of two independent BDLSTM cells. The general architecture of BDLSTM is depicted in Figure 3 [39].

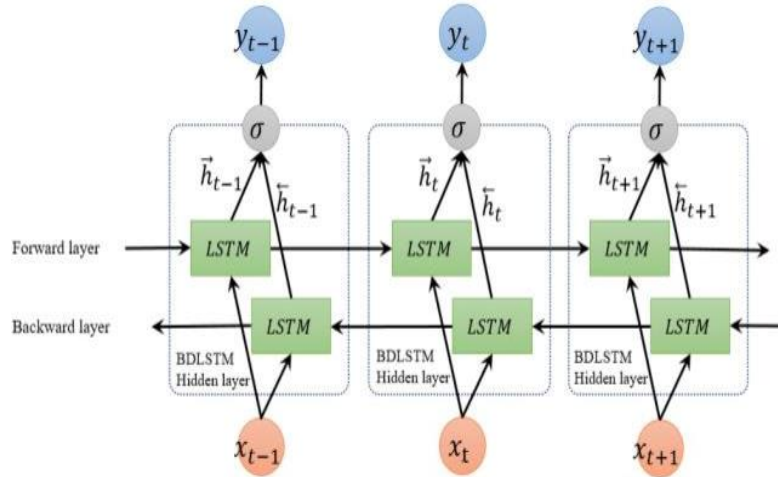


Figure 3. Bidirectional LSTM network [36].

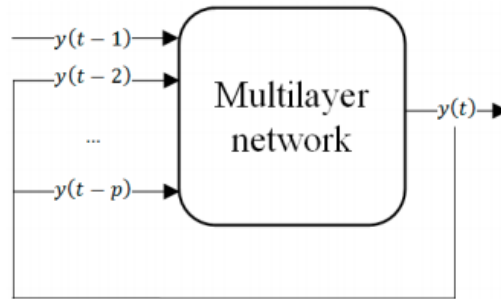


Figure 4. Nonlinear Autoregression Neural Network (NARNN) [40].

#### B. 4. NARNN

A popular method, particularly for time series predictions, is the nonlinear autoregression neural network (NARNN). Given previous values for the same time series, the NARNN model can accurately forecast a simple time series as described by the following equation;

$$Y_t = f(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}) + \varepsilon_t \quad (14)$$

This equation indicates that the value of  $y$  in time  $t$ ,  $Y_t$  is a function of the past  $p$  number. The topology of a NARNN is shown in Figure 4.

#### C. MODEL SELECTION

In order to evaluate the performance of the proposed models, the actual values and the predicted values are compared. Mean Squared Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) are employed to analyze each model's performance. The following equations are used to compute each metric;

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y'_i - Y_i)^2 \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y'_i - Y_i)^2}{n}} \quad (16)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - Y'_i}{Y_i} \right| \quad (17)$$

### **III. RESULTS and DISCUSSION**

In this study, unlike other studies on forecasting COVID-19 cases, the data set is split into four different categories according to precaution strategies.

Since time series forecasting frequently uses ARIMA, we began with this approach. Checking whether or not the time series is stationary is the first step in implementing the ARIMA model. Because the variance and mean of the data must remain constant throughout time, ARIMA performs best when our data exhibits a stable or consistent pattern. In other words, the data is not stationary when there is an upward or downward trend and a certain pattern (seasonality).

*Table 3. ADF Tests of COVID-19 Datasets.*

	DS <sub>1</sub>	DS <sub>2</sub>	DS <sub>3</sub>	DS <sub>4</sub>	DS <sub>5</sub>
ADF	-2.038913096	-3.772966554	-77.26962262	-8.958119357	-3.569350232
p-value	0.99872143	0.003196334	0	0.008366016	0.98683529
lags used	8	7	6	6	8
Critical values (%1)	-3.600983367	-3.610399601	-4.473135048	-3.924019385	-3.485585146
Critical values (%5)	-2.935134816	-2.939108946	-3.289880604	-3.068498203	-2.885738566
Critical values (%10)	-2.60596298	-2.608062965	-2.772382346	-2.673892656	-2.579675908

While a statistical test like the Augmented Dickey Fuller (ADF) Test makes significant assumptions about our data, we employed it to verify the stationarity of the data. ADF reveals the degree to which a null hypothesis can be rejected or not rejected in order to evaluate if our data is stationary or not. This is expressed using a cutoff (0.05) indicating whether we accept or reject the null hypothesis. Table 3 displays the data's ADF results. ADF results show that, for  $DS_1$  and  $DS_5$ , our data is not stationary while for  $DS_2$ ,  $DS_3$  and  $DS_4$ , our data is stationary.

*Table 4. ARIMA parameters.*

	p	d	q
DS <sub>1</sub>	10	2	1
DS <sub>2</sub>	10	2	0
DS <sub>3</sub>	8	0	0
DS <sub>4</sub>	9	0	0
DS <sub>5</sub>	10	2	0

Hence, we have to transform  $DS_1$  and  $DS_5$  into stationary data. There are many methods for this purpose and we have used log-scale transformation. After converting our data into stationary data, we have to find best p, d and q parameters of ARIMA model. The Akaike Information Criteria (AIC) expression is typically used to measure model performance in order to determine the most acceptable parameter in the ARIMA technique. It is computed using the following equation:

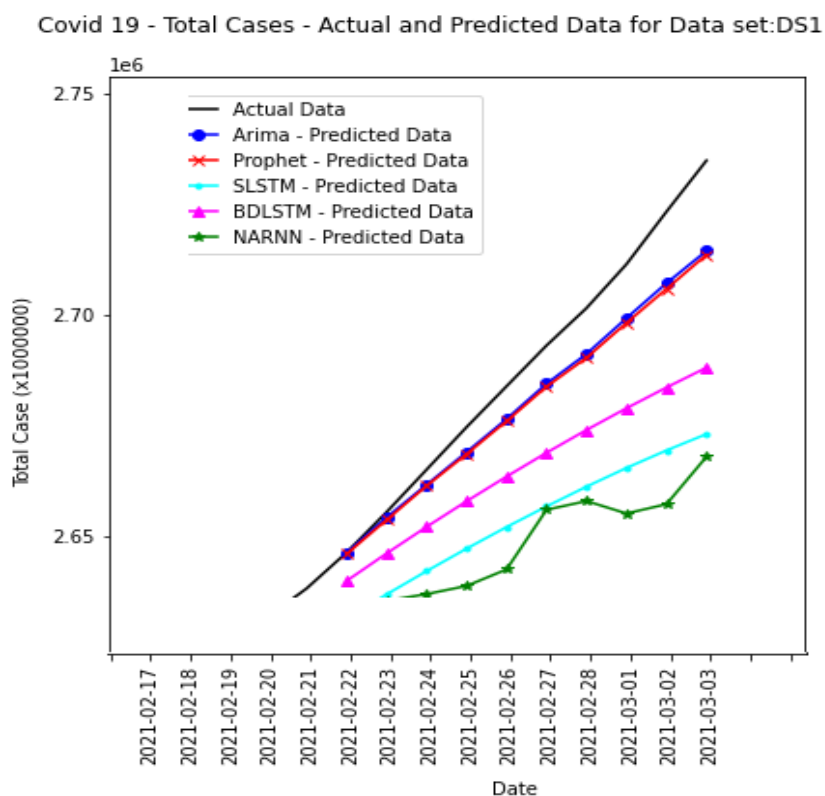
$$AIC = -2 \log(L) + 2(p + q + k) \quad (18)$$

Thus, L stands for the probability of the data, p for the autoregressive part's order, q for the moving average part's order, and k for the ARIMA model's intercept. The model with the lowest AIC criterion

is distinguished from the rest by using this parameter to determine its success. In this work, for each dataset, the indicators with lowest AIC value are chosen by evaluating performance test and these ARIMA parameters for each data set are shown in Table 4.

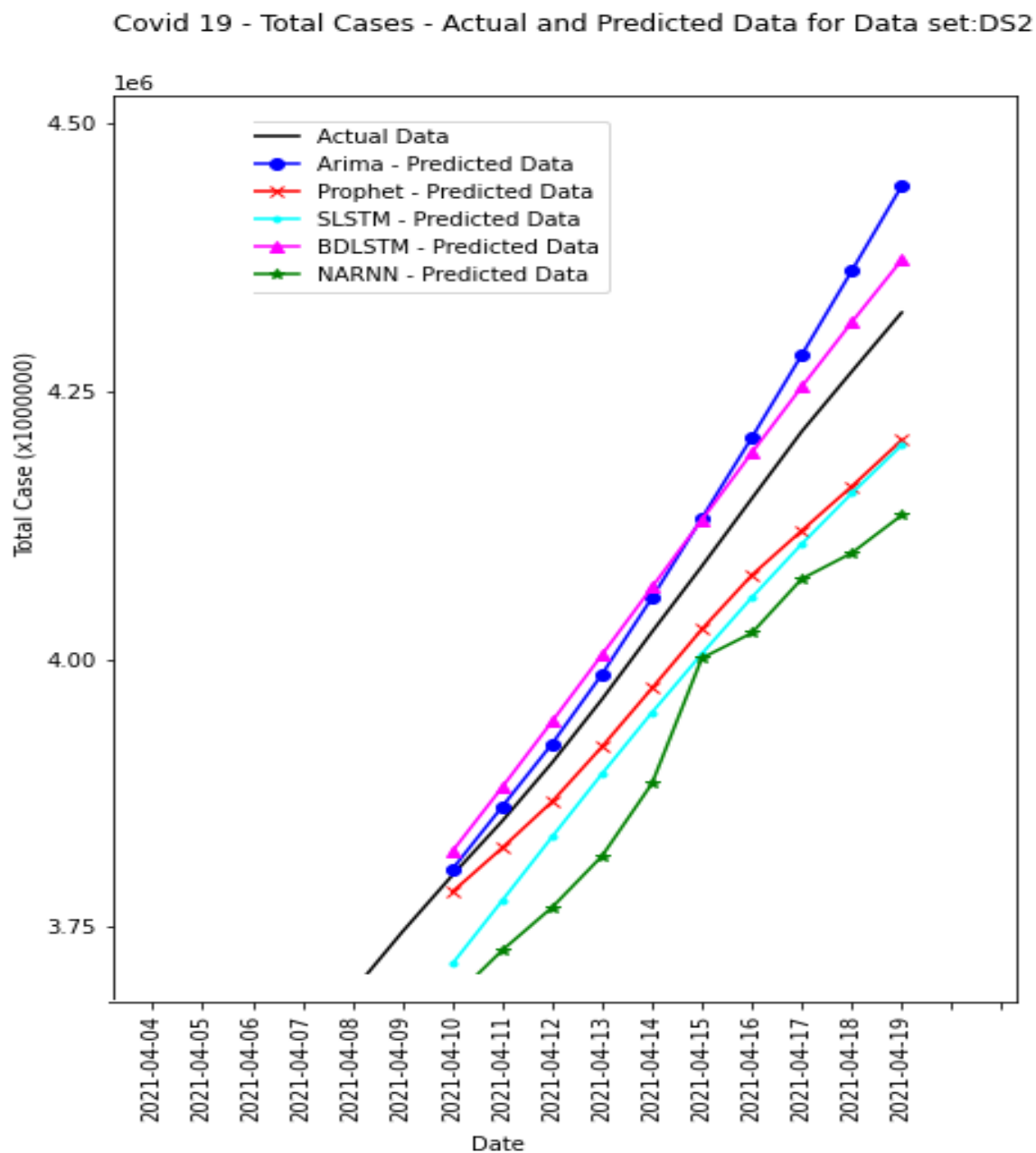
**Table 5.** Respective LSTM Model topologies for each dataset.

Dataset	Method	Input	Hidden layer 1	Hidden layer 2	Hidden layer 3	Output	Sample Length
DS <sub>1</sub>	SLSTM	(50,1)	32	32	32	(1)	20
	BDLSTM	(50,1)	32	16	-	(1)	20
DS <sub>2</sub>	SLSTM	(47,1)	32	32	32	(1)	14
	BDLSTM	(47,1)	32	16	-	(1)	20
DS <sub>3</sub>	SLSTM	(16,1)	8	8	8	(1)	7
	BDLSTM	(16,1)	8	8	-	(1)	7
DS <sub>4</sub>	SLSTM	(17,1)	8	8	8	(1)	7
	BDLSTM	(17,1)	8	8	-	(1)	7
DS <sub>5</sub>	SLSTM	(130,1)	64	64	64	(1)	14
	BDLSTM	(130,1)	64	32	-	(1)	14



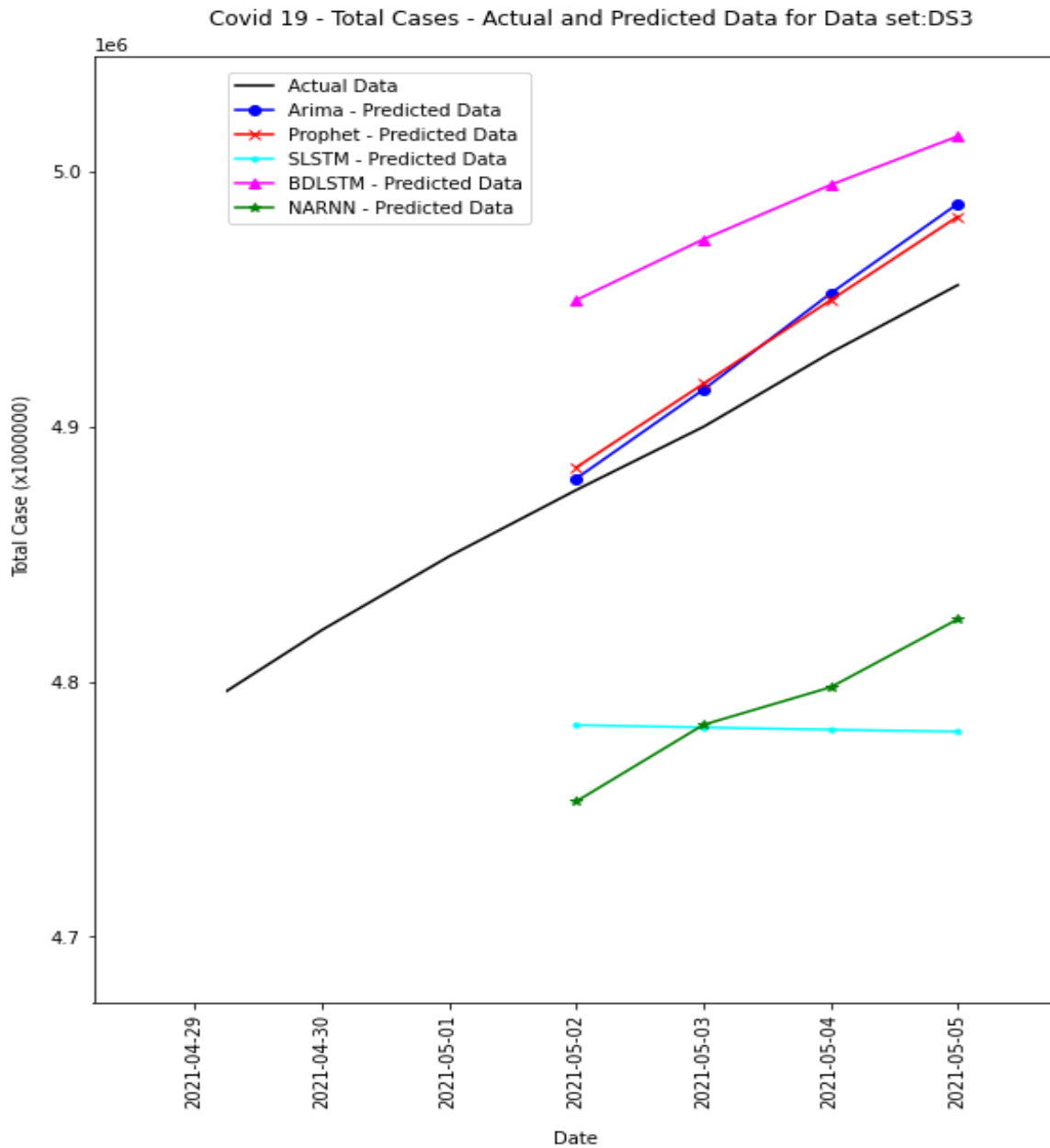
**Figure 5.** Actual and predicted cumulative confirmed cases for DS<sub>1</sub>.

For each dataset, one SLSTM and one BDLSTM is developed and trained. In the training phase of both LSTM models, *adam optimizer* is utilized and as the loss function, Mean squared error (MSE) is computed. Table 5 shows the topology for both SLSTM and BDLSTM models.



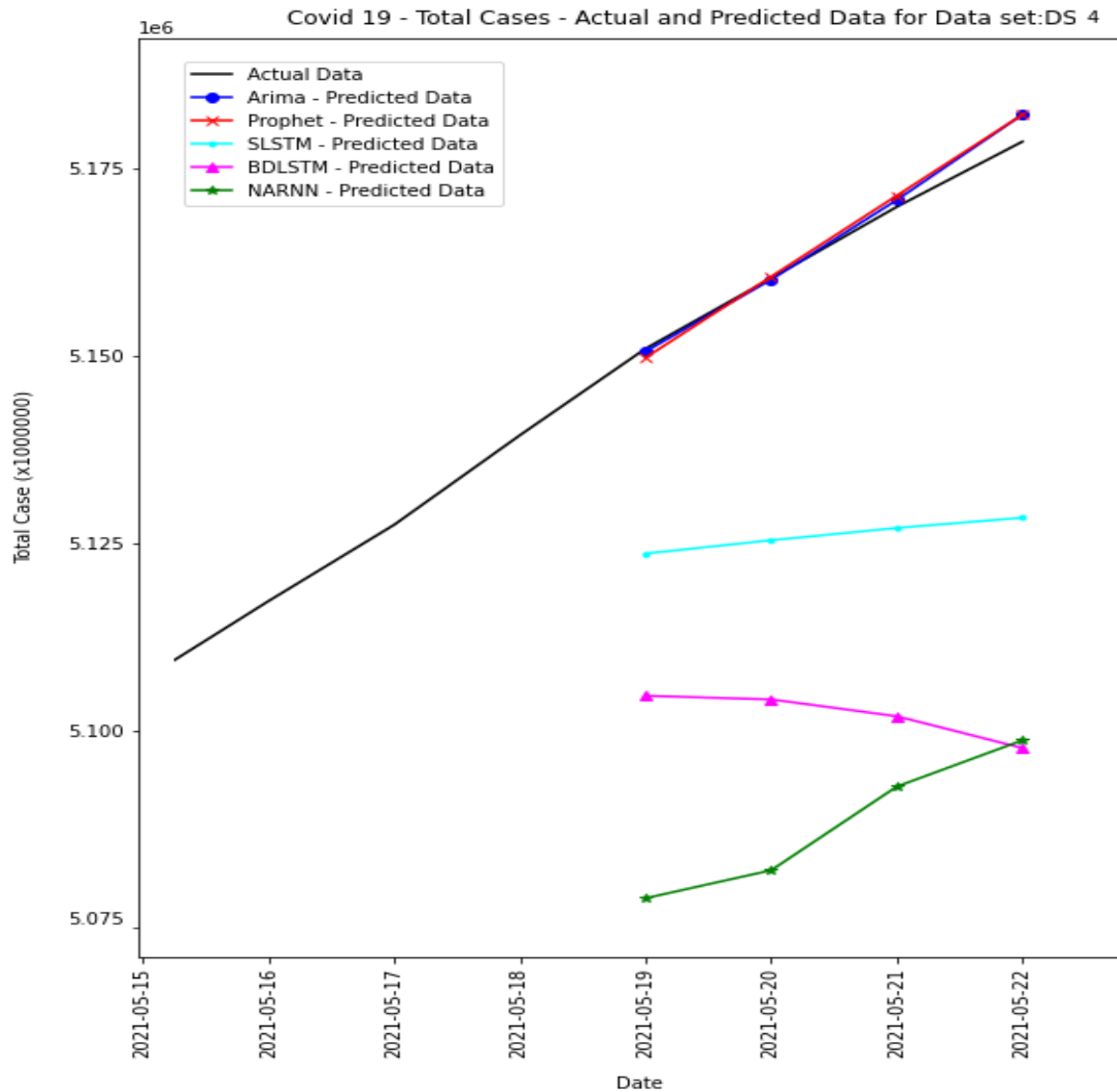
*Figure 6- Actual and predicted cumulative confirmed cases for DS<sub>2</sub>.*

For each dataset, SLSTMs contain three hidden layers and one input layer. Between these layers, a model with a 0.2 dropout rate creates the dropout layers. Dropout is utilized to reduce overfitting and enhance the model's performance [41]. To generate a one-dimensional output, one dense layer is placed as the model's last layer. Similarly, BDLSTMs are constructed using two hidden layers with same dropout factor and one dense layer. Thus, number of hidden layers of SLSTM and BDLSTM differ for each data set. To use time series data with LSTM models, they must be transformed into a structure of samples with input and output components.



**Figure 7-** Actual and predicted cumulative confirmed cases for DS<sub>3</sub>.

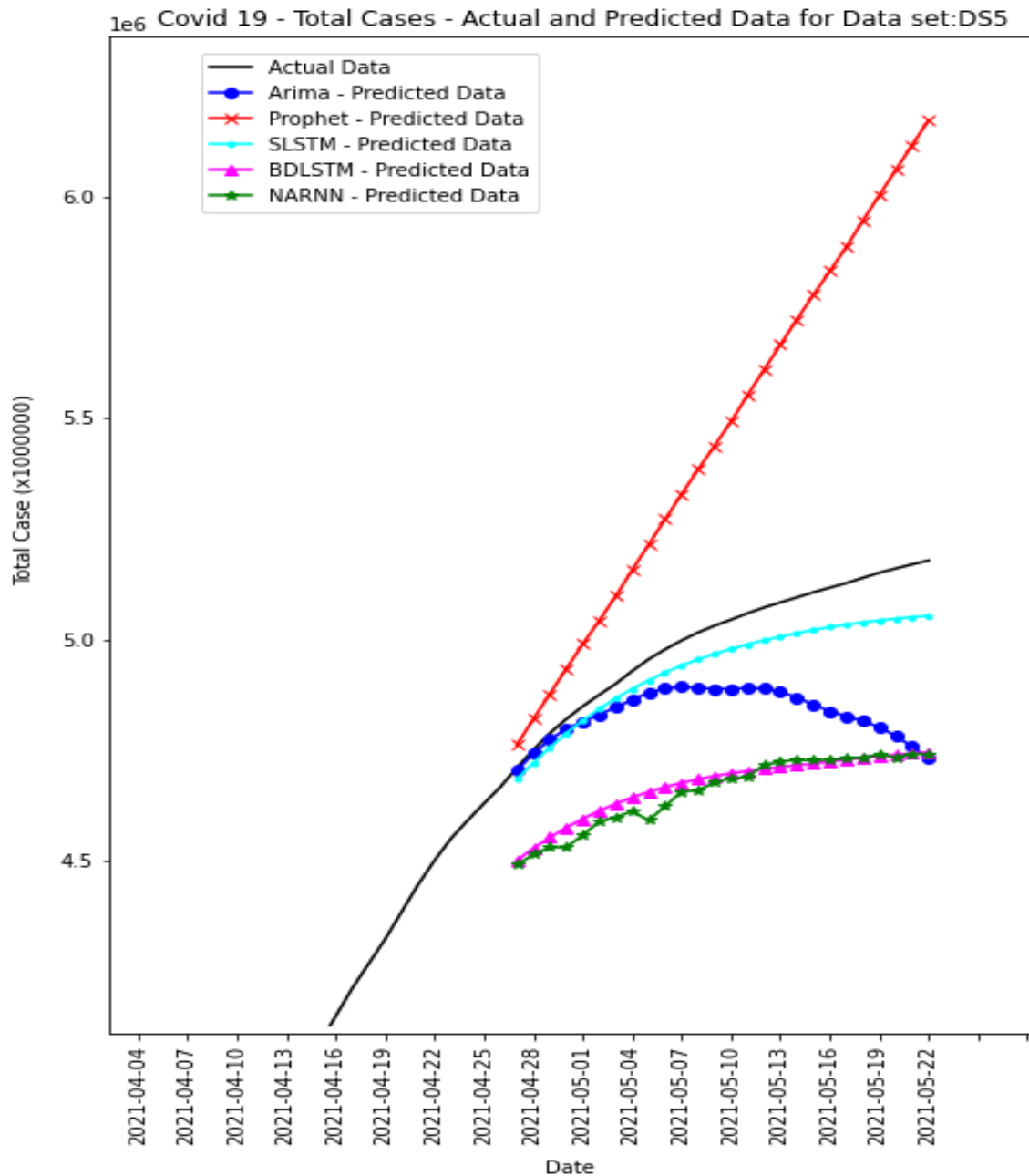
Python Keras library is used to convert time series data into samples by using *TimeseriesGenerator*. *TimeseriesGenerator* requires the model's training data sample size as length parameter. The purpose of this parameter is to forecast the value that will follow next to the sample input. This sample input should have a length of the number of elements. Therefore, a various number of sample lengths are utilized for both models to achieve the highest levels of accuracy, and these lengths are displayed in Table 5's "Sample Length" column.



**Figure 8.** Actual and predicted cumulative confirmed cases for DS<sub>4</sub>.

For NARNN, Matlab’s *narnet* model is used. In order to create the NARNN, the delay of the feedback is set to 1:2; with 10 hidden Layer size. For the training algorithm, the default training algorithm (*trainlm*) is also used for each dataset. Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8, and Figure 9 show the prediction results for each data set, including overall data set, for cumulative confirmed cases. Table 6 shows the performance results of models for each data set.

The results given here demonstrate significant variation in accuracy between and among standalone models. From the figures, we can conclude that using Prophet or ARIMA as forecasting model lead to better results when we have small portion of data. Stacked LSTM outperforms all other models for the entire data set, since the model uses much more input sequences than the other data sets. Moreover, the test results show that if we split our data according to precaution strategy and use enough input sequences, all models have their best accuracy results. Since DS<sub>3</sub> and DS<sub>4</sub> contain very small data, machine learning methods suffer to forecast meaningful values.



**Figure 9.** Actual and predicted cumulative confirmed cases for DS.

On the other hand, when all data is included in our input space, models cumulative performance decreases because of government pandemic strategies. Thus, for meaningful and accurate prediction, the data set should include much number of data with appropriate splitting method. Moreover, in order to have better forecasting and to reduce uncertainty, more features such as age, seasonality etc. can be used as input incorporating with split strategy.



**Table 6.** Performance results of models for each data set.

Data Set	Method	MAPE	MSE	RMSE
DS <sub>1</sub>	ARIMA	852335	110240920	10499.57
	Prophet	920115	125570644	11205.83
	NARNN	3285475	979201448	31292.19
	SLSTM	2670070	834524179	28888.13
	BDLSTM	1215421	241116240	15527.92
DS <sub>2</sub>	ARIMA	4775929	3524265883	59365.53
	Prophet	7247629	7025117047	83815.97
	NARNN	12787839	27737527283	166545.87
	SLSTM	9714512	15784545130	125636.56
	BDLSTM	6225460	4968966033	70490.896
DS <sub>3</sub>	ARIMA	1852802	446212980	21123.756
	Prophet	1826471	375859006	19387.08
	NARNN	3745542	2001322581	44736.14
	SLSTM	4596954	2404672686	49037.46
	BDLSTM	1347133	1296391385	36005.43
DS <sub>4</sub>	ARIMA	126840	3492913	1868.93
	Prophet	162587	4162234	2040.15
	NARNN	6085991	3854004009	62080.62
	SLSTM	3787150	2781408706	52739.06
	BDLSTM	5802520	3465741641	58870.55
DS <sub>5</sub>	ARIMA	10633720	14524776223	120518.78
	Prophet	46301198	299748127805	547492.13
	NARNN	19058715	58901238467	242695.77
	SLSTM	6713450	4585028698	67712.84
	BDLSTM	17148845	46870775713	216496.59

## **IV. CONCLUSION**

We have presented the use of statistical methods, machine learning methods, and the use of two different LSTM models for COVID-19 forecasting for Turkey. Moreover, in order to show the effect of the government's precaution strategies, we have split the whole data set according to these strategies and compared the performance of these models over these split data.

Our findings highlight the difficulties of forecasting given sparse, highly biased data because there are fluctuations when considering the whole data set. Therefore, we split the entire data set into different sets by considering the precautionary strategies. We experimented with different ways of creating training and test data and models, which all showed strengths and limitations that made it difficult to choose a single model. The test results show that for small-sized periods, the statistical approaches outperform deep learning models in terms of accuracy. On the other hand, when input size increases, the performance of LSTM models and NARNN also increases. LSTM model performance is directly dependent on data. Its performance increases when the data with a long-term relationship is used because

it enables the learning of even more parameters, and the LSTM cell increases long-term memory even more efficiently. Moreover, LSTM models can extract features that other traditional approaches cannot process.

The proposed model has several shortcomings. Despite this performance gain, the respective LSTM models can be improved using different parameters and architectures. Moreover, it is essential to use more features, such as seasonality, age, etc., in the models to have better performance results.

## **V. REFERENCES**

- [1] A. Rismanbaf, "Potential Treatments for COVID-19; a Narrative Literature Review," *Archives of academic emergency medicine*, vol.8(1), 2020.
- [2] I. Rahimi, F. Chen, and A. H. Gandomi, "A review on COVID-19 forecasting models," *Neural Comput. Appl.*, vol. 35, pp.23671–23681, 2023.
- [3] I. Nesteruk, "Statistics based predictions of coronavirus 2019-nCoV spreading in mainland China," *medRxiv*, 2020.
- [4] C. Anastassopoulou, L. Russo, A. Tsakris, and C. Siettos, "Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak," *PLoS One*, vol. 15, no. 3, pp. 1–21, 2020.
- [5] G. Giordano *et al.*, "Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy," *Nat. Med.*, vol. 26, no. 6, pp. 855–860, 2020.
- [6] S. Moein *et al.*, "Inefficiency of SIR models in forecasting COVID-19 epidemic: a case study of Isfahan," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 4725, 2021.
- [7] İ. Kırbaş, A. Sözen, A. D. Tuncer, and F. Ş. Kazancıoğlu, "Comparative analysis and forecasting of COVID-19 cases in various European countries with ARIMA, NARNN and LSTM approaches," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 138, Sep. 2020.
- [8] T. Dehesh, H. A. Mardani-Fard, and P. Dehesh, "Forecasting of COVID-19 Confirmed Cases in Different Countries with ARIMA Models," *medRxiv*, 2020.
- [9] D. Benvenuto, M. Giovanetti, L. Vassallo, S. Angeletti, and M. Ciccozzi, "Application of the ARIMA model on the COVID-2019 epidemic dataset," *Data Br.*, vol. 29, p. 105340, 2020.
- [10] M. Yousaf, S. Zahir, M. Riaz, S. M. Hussain, and K. Shah, "Statistical analysis of forecasting COVID-19 for upcoming month in Pakistan," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 138, p. 109926, 2020.
- [11] O. D. Ilie, R. O. Cojocariu, A. Ciobica, S. I. Timofte, I. Mavroudis, and B. Doroftei, "Forecasting the spreading of COVID-19 across nine countries from Europe, Asia, and the American continents using the arima models," *Microorganisms*, vol. 8, no. 8, pp. 1–19, 2020.
- [12] Z. Ceylan, "Estimation of COVID-19 prevalence in Italy, Spain, and France," *Sci. Total Environ.*, vol. 729, Aug. 2020.
- [13] Facebook, "Prophet Web Page." <https://facebook.github.io/prophet/> (accessed Feb. 15, 2023).
- [14] B. M. Ndiaye, L. Tendeng, and D. Seck, "Analysis of the COVID-19 pandemic by SIR model and machine learning technics for forecasting," *arXiv preprint arXiv:2004.01574*, 2020.

- [15] S. S. Helli, Ç. Demirci, O. Çoban, and A. Hamamci, "Short-Term Forecasting COVID-19 Cases in Turkey Using Long Short-Term Memory Network," *TIPTEKNO 2020 - Tip Teknol. Kongresi - 2020 Med. Technol. Congr. TIPTEKNO 2020*, pp. 2–5, 2020.
- [16] İ. Kırbaş, A. Sözen, A. D. Tuncer, and F. Ş. Kazancıoğlu, "Comparative analysis and forecasting of COVID-19 cases in various European countries with ARIMA, NARNN and LSTM approaches," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 138, 2020.
- [17] S. Namasudra, S. Dhamodharavadhani, and R. Rathipriya, "Nonlinear Neural Network Based Forecasting Model for Predicting COVID-19 Cases," *Neural Process. Lett.*, vol.55, pp-171-191, 2023.
- [18] A. I. Saba and A. H. Elsheikh, "Forecasting the prevalence of COVID-19 outbreak in Egypt using nonlinear autoregressive artificial neural networks," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 141, pp. 1–8, 2020.
- [19] W. Jiang and H. D. Schotten, "Deep Learning for Fading Channel Prediction," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 1, pp. 320–332, 2020.
- [20] A. Tomar and N. Gupta, "Prediction for the spread of COVID-19 in India and effectiveness of preventive measures," *Sci. Total Environ.*, vol. 728, p. 138762, 2020.
- [21] V. K. R. Chimmula and L. Zhang, "Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 135, Jun. 2020.
- [22] R. Pal, A. A. Sekh, S. Kar, and D. K. Prasad, "Neural Network Based Country Wise Risk Prediction of COVID-19", *Applied Sciences*, vol.10(18), 2020.
- [23] A. J. Aljaaf, T. M. Mohsin, D. Al-Jumeily, and M. Alloghani, "A fusion of data science and feed-forward neural network-based modelling of COVID-19 outbreak forecasting in IRAQ," *J. Biomed. Inform.*, vol. 118, no.04, p. 103766, 2021.
- [24] A. Dairi, F. Harrou, A. Zeroual, M. M. Hittawe, and Y. Sun, "Comparative study of machine learning methods for COVID-19 transmission forecasting," *J. Biomed. Inform.*, vol. 118, no. 04, p. 103791, 2021.
- [25] S. Dutta and S. Kumar Bandyopadhyay, "Machine learning approach for confirmation of COVID-19 cases: positive, negative, death and release," *Iberoam. J. Med.*, vol. 03, pp. 172–177, 2020.
- [26] S. Arslan, "A hybrid forecasting model using LSTM and Prophet for energy consumption with decomposition of time series data," *PeerJ Computer Science*, vol.8, 2022.
- [27] S. Arslan, "Gated recurrent unit network-based fuzzy time series forecasting model," *Afyon Kocatepe Univ. J. Sci. Eng.*, vol. 23, no. 3, pp. 677–692, 2023.
- [28] S. Tiwari, P. Chanak, and S. K. Singh, "A Review of the Machine Learning Algorithms for Covid-19 Case Analysis," *IEEE Trans. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 44–59, 2023.
- [29] F. Kamalov, K. Rajab, A. K. Cherukuri, A. Elnagar, and M. Safaraliev, "Deep learning for Covid-19 forecasting: State-of-the-art review.," *Neurocomputing*, vol. 511, pp. 142–154, 2022.
- [30] A. S. Ahmar and E. B. del Val, "SutteARIMA: Short-term forecasting method, a case: Covid-19 and stock market in Spain," *Sci. Total Environ.*, vol. 729, p. 138883, 2020.

- [31] M. A. A. Al-qaness, A. A. Ewees, H. Fan, and M. Abd El Aziz, "Optimization Method for Forecasting Confirmed Cases of COVID-19 in China," *J. Clin. Med.*, vol. 9, no. 3, 2020.
- [32] R. Salgotra, M. Gandomi, and A. H. Gandomi, "Time Series Analysis and Forecast of the COVID-19 Pandemic in India using Genetic Programming," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 138, p. 109945, 2020.
- [33] S. Dil, N. Dil, and Z. H. Maken, "COVID-19 Trends and Forecast in the Eastern Mediterranean Region With a Particular Focus on Pakistan.," *Cureus*, vol. 12, no. 6, p. e8582, Jun. 2020.
- [34] Ministry of Health Web Page, <https://covid19.saglik.gov.tr/> (accessed May 23, 2021).
- [35] W. H. Organization, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (accessed Feb. 15, 2021).
- [36] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory," *Neural Comput.*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, Nov. 1997.
- [37] A. Graves, A. Mohamed, and G. E. Hinton, "Speech Recognition with Deep Recurrent Neural Networks," *2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 6645-6649)*, 2013.
- [38] M. Schuster and K. K. Paliwal, "Bidirectional recurrent neural networks," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 45, no. 11, pp. 2673–2681, 1997.
- [39] Z. Cui and Y. Wang, "Deep bidirectional and unidirectional LSTM recurrent neural network for network-wide traffic speed prediction," *arXiv preprint arXiv:1801.02143*, 2018.
- [40] J. G. De Gooijer and R. J. Hyndman, "25 years of time series forecasting," *Int. J. Forecast.*, vol. 22, no. 3, pp. 443–473, 2006.
- [41] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov, "Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 15, no. 56, pp. 1929–1958, 2014.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Asenkron Motor Eş Zamanlı Çoklu Arızalarının Titreşim Sinyalleri ile Çok Etiketli Sınıflandırılması

 Mustafa ERCİRE<sup>a,\*</sup>,  Abdurrahman ÜNSAL<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Gediz Meslek Yüksekokulu, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafa.ercire@dpu.edu.tr  
DOI: 10.29130/dubited.1288799

### ÖZ

Endüstride yaygın olarak kullanılan asenkron motorlarda meydana gelen arızaların tespiti büyük öneme sahiptir. Asenkron motorlarda yaygın olarak meydana gelen arızalar elektriksel ve mekanik arızalardan oluşmaktadır. Arızaların tespiti için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan arıza tespit yöntemleri stator akımı, besleme gerilimi, titreşim, ısı ve ses gibi verileri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde genel olarak her bir arıza türü için belirli bir yöntem kullanılmaktadır. Birden çok arızanın eş zamanlı olarak meydana geldiği durumlar için ileri seviye arıza tespit yöntemlerinin kullanılması gerekir. Bu çalışmada, asenkron motorlarda meydana gelen rotor kırığı, dış-bilezik rulman arızası, iç-bilezik rulman arızası, eksenal kaçıklık ve stator sargısı kısa-devre arızaları tekil, eş zamanlı-ikili ve eş zamanlı-üçlü olarak incelenmiştir. İncelemede 3-eksen titreşim verileri kullanılmıştır. Titreşim verilerinin istatistiksel değerlerinden öznitelik vektörleri çıkarılmıştır. Öznitelik vektörü çok etiketli sınıflandırma yönteminde girdi olarak kullanılmıştır. Çok etiketli sınıflandırma için İkili Alâka Düzeyi (*Binary Relevance*, BR), Etiket Güç Seti (*Label Powerset*, LP) ve Sınıflandırıcı Zinciri (*Classifier Chain*, CC) problem dönüşüm yöntemleri kullanılmıştır. Temel sınıflandırıcı olarak ise Naive Bayes (NB), K-En Yakın Komşu (*K-Nearest Neighbors*, K-NN), Karar Ağacı (*Decision Tree*, DT) ve Destek Vektör Makinesi (*Support Vector Machine*, SVM) yöntemleri kullanılmıştır. LP yöntemi ile NB sınıflandırıcısının birlikte kullanımında %99,9 doğrulukta, CC yöntemi ile DT sınıflandırıcısının birlikte kullanımında %99,3 doğrulukta ve BR yöntemi ile DT sınıflandırıcısının birlikte kullanımında %97,8 doğrulukta sınıflandırma başarımına ulaşılmıştır. Problem dönüştürme yöntemi olarak LP, sınıflandırıcı olarak ise DT en yüksek başarımları vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok etiketli sınıflandırma, Asenkron motor arızaları, Titreşim analizi, Çoklu arıza

## Multi-Label Classification of Simultaneous Faults of Induction Motors by Vibration Signals

### ABSTRACT

It is important to diagnose the fault of induction motors which are widely used in the industry. The common faults of induction motors consist of mechanical and electrical faults. Various methods are used to detect faults. Commonly used fault detection methods use stator current, supply voltage, vibration, heat, and sound data. In general, a specific method is generally used for each type of fault. Advanced diagnostic methods should be when the simultaneous multiple faults are present. In this study, broken rotor bars, inner-race bearing faults, outer-race bearing faults, short-circuit stator winding faults, and eccentricity faults are investigated individually, in simultaneous two and three groups. Three-axis vibration signals are used in the study. The feature vectors are calculated from the statistical features of vibration signals. The feature vector are used as input in the multi-label

classification method. For the multi-label classification, Binary Relevance (BR), Label Powerset (LP) and Classifier Chain (CC) problem transformation methods are used. Naïve Bayes (NB), K-Nearest Neighbors (K-NN), Decision Tree (DT) and Support Vector Machine (SVM) methods are used as base classifier. When LP method and NB classifier are used together, 99.9% accuracy was achieved. When CC method and DT classifier are used together 99.3% accuracy was achieved. When BR method and DT classifier are used together 97.8% accuracy was achieved. LP as the problem transformation method and DT as the classifier give the best accuracy rate among the other methods.

**Keywords:** Multi label classification, Induction motor faults, Vibration analysis, Multi faults

## **I. GİRİŞ**

Asenkron motorlar üretimlerinin kolay, denetiminin basit ve bakım maliyetlerinin düşük olmasından dolayı diğer elektrik motorlarına göre avantajlıdır. Bundan dolayı, elektrik motorları arasında özellikle sanayide en çok tercih edilen motor çeşididirler. Asenkron motorlarda meydana gelen arızalar üretim süreçlerinde aksamalara neden olmaktadır. Bu aksamalar neticesinde hammadde ve ürün kayıpları, iş gücü ve zaman kayıplarından dolayı ekonomik kayıplar meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı asenkron motorların arızalarının tespiti önemlidir.

Asenkron motorlarda meydana gelen arızalar elektriksel ve mekanik arızalar olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Elektriksel arızalar stator sargı arızaları ve kırık rotor arızalarını kapsamaktadır. Mekanik arızalar ise dış-bilezik rulman arızası, iç-bilezik rulman arızası ve eksenel kaçıklık arızalarını kapsamaktadır [1].

Stator sargı arızaları genel olarak bobin-bobin kısa-devre, sargı-sargı kısa-devre, açık-devre, faz-faz kısa-devre ve bobin-toprak kısa-devre şeklinde meydana gelir. Asenkron motorlarda karşılaşılan yaygın rotor arızaları kısa-devre halkasının çatlaması/kırılması ve rotor çubuklarının çatlaması/kırılması sonucu meydana gelir. Asenkron motorların en önemli parçalarından biri olan rulman, iç-bilezik, dış-bilezik ile bilye ve kafesten meydana gelir. Yaygın rulman arızaları da iç-bilezik, dış-bilezik ile bilye ve kafesin mekanik olarak zarar görmesi (kırılma, çatlama, karıncalanma...) sonucu meydana gelir.

Bunlara ilave olarak asenkron motorlarda eksenel kaçıklık, motor kapağı, motor mili arızaları vb. meydana gelebilir. Bu arızalar birbirinden bağımsız ve tekil olarak meydana geldiği gibi eş zamanlı çoklu arıza şeklinde de meydana gelebilmektedir. Arıza analizinde ağırlıklı olarak stator akımı, besleme gerilimi, titreşim, ısı ve ses gibi veriler kullanılmaktadır. Bu veriler kullanılarak asenkron motorlarda meydana gelen arızaların türü ve seviyesi tespit edilebilmektedir. Eş zamanlı çoklu arızaların meydana geldiği durumlarda geleneksel tekil arıza analizi yöntemleri yerine ileri seviye arıza analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, asenkron motor arızalarının sınıflandırılmasında çok etiketli sınıflandırılma yöntemleri de kullanılmaktadır. Dineva ve arkadaşları [2], aynı anda birden fazla arızayı teşhis etmek ve gürültülü koşullar altında arıza şiddetini değerlendirmek için İkili Karar Ağacı (*Binarized DT*), CC ve K-NN yöntemlerini kullanarak titreşim ve akım sinyalleri ile çok etiketli sınıflandırma için yeni bir yöntem önermişlerdir. Juez-Gil ve arkadaşları [3], Asenkron motorda tekil, birleşik ve eş zamanlı arıza koşullarının oluşumunu değerlendirmek için Temel Bileşen Analizi (*Principal Component Analyze*, – PCA) ve karar ağacı kullanarak titreşim, stator akımları, gerilimler ve dönme hızı verilerine dayalı yeni bir akıllı çoklu arıza teşhis yöntemi sunmuştur. Vong ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [4], eş zamanlı meydana gelen arızaların zaman-frekans özelliklerinin, onu oluşturan tekil arızaların özelliklerine benzer olduğu varsayımı altında, bu sorunun çözümü için öznitelik çıkarımı, ikili olasılıklı çok etiketli sınıflandırma ve karar eşiği optimizasyonunu birleştiren bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, bir test durumu olarak zamana bağlı ateşleme modellerine dayalı otomotiv motor ateşleme sisteminin arıza teşhisinde uygulanmış ve doğrulanmıştır. Asenkron motorlarda eş zamanlı olarak meydana gelen arızaların geçici durum (*transient*) akım verileri kullanılarak Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü (*Short-Time Fourier Transform* - STFT) ve Sürekli Dalgacık Dönüşümü (*Continuous Wavelet Transform* –

CWT) yöntemleri ile öznelik çıkarımı yapan bir yöntem Georgoulas ve arkadaşları tarafından sunulmuştur [5]. Çalışmada elde edilen özneliklere BR, LP ve Kalibre Edilmiş Etiket Sıralaması (*Calibrated Label Ranking – CLR*) problem dönüşüm yöntemleri uygulanmıştır. Minimum Mahalanobis Uzaklık Sınıflandırıcısı (*Minimum Mahalanobis Distance Classifier – MMDC*) ve En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (*Nearest Neighbor Classifier – NN*) temel sınıflandırıcıları ile karşılaştırmalı olarak kullanılarak çok etiketli sınıflandırma ile etiketleme yapılmış ve umut verici sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

Shen ve arkadaşları [6], makine hatalarının akıllı teşhisi için ilişkili özneliklerin öğrenilmesi ve eksik etiket sorununun çözülmesini amaçlayan Çok Etiketli Evrimsel Sinir Ağı (*Multi-Label Convolutional Neural Network - MLCNN*) olarak adlandırdıkları derin çok etiketli bir öğrenme yöntemi önermişlerdir. Sonuçlar, öznelikler arasındaki ilişkilerin MLCNN tarafından öğrenildiğini ve kayıp etiket problemi oluştuğunda MLCNN'nin sınıflandırma doğruluklarının geleneksel yöntemlere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Han ve arkadaşları tarafından rulmanda arıza olup olmadığına, arıza konumuna, hasar moduna ve hasar derecesine göre etiketleme yapılmış bir veri seti üzerinde çok etiketli sınıflandırma yapan bir çalışma [7]'de sunulmuştur. Çalışmada, CNN ve geçitli tekrarlayan birimi (*gated recurrent unit - GRU*) entegre biçimde kullanılarak elde edilen sonuçların çok sınıflı sınıflandırmadan daha yüksek doğruluk oranına ulaştığı gösterilmiştir. Yu ve arkadaşları [8], titreşim sinyallerinden hata teşhisine duyarlı Zaman-Frekans İmza Matrisi (*Time-Frequency Signature Matrix - T-FSM*) özneliklerini elde ederek Meta-Öğrenme ile Çok Etiketli Evrimsel Sinir Ağına (*Multi-Label Convolutional Neural Network with Meta-Learning - MLCML*) dayalı yeni bir rulman arıza teşhis yöntemi geliştirerek yüksek doğrulukta başarımlar elde etmişlerdir. Li ve arkadaşları [9], çalışmalarında rulman durumunu ve farklı arıza tiplerini bir arada değerlendirmişlerdir. Rulman durumu sağlıklı, bozulma ve kritik olmak üzere üç kategoride, arızalar ise beş farklı türde etiketlenmiş ve istatistiksel öznelikler üzerinden BR yöntemiyle çok etiketli sınıflandırma yapılarak yöntemin üstünlüğü gösterilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, asenkron motor arızalarının çok etiketli sınıflandırılmasına ilişkin yöntemlerde veri seti, öznelik çıkarım süreci ve sınıflandırma yöntemi açısından farklılıklar görülmektedir. Veri seti olarak ağırlıklı akım ve titreşim sinyallerinin kullanıldığı görülmektedir. Öznelik çıkarımı sürecinde de çeşitli sinyal işleme teknikleri ve dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Sınıflandırma yöntemi olarak ise makine öğrenmesi tabanlı geleneksel sınıflandırıcıların ve özellikle son dönemlerde kullanımı yaygınlaşan derin öğrenme yöntemlerinin tercih edildiği gözlemlenmektedir.

Ağırlıklı olarak çalışılan arıza türleri rulman arızaları, rotor kırıkları ve sargı arızalarıdır. Çok etiketli sınıflandırma bakımından temel problem dönüşüm yöntemleri ve sıklıkla tercih edilen temel sınıflandırıcı performanslarının rulman, rotor ve stator gibi asenkron motor arızaları üzerinden karşılaştırıldığı çalışmalarda dönüşüm yöntemi ve sınıflandırıcı çeşitlerinin sınırlı olduğu görülmektedir.

Literatürde yayınlanan çalışmalarda, asenkron motorlarda benzetim (*simulation*) yoluyla edilmiş verilerin kullanıldığı ve en fazla iki ya da üç tip arıza çeşidinin çalışıldığı görülmektedir. Asenkron motorlarda meydana gelebilecek olası tüm elektriksel ve mekanik arızaları aynı anda inceleyen çalışmalara rastlanmamıştır. Bu arızaların eş zamanlı olarak incelenmesi ve teşhis edilmesi, arıza sonucu meydana gelebilecek olası hasarların önlenmesi veya asenkron motorların tamamen devre dışı kalmasını önleme açısından önemlidir [10].

Bir elektrik motorunda titreşime sebep olan dinamik kuvvetler, bir arıza meydana geldiğinde, arızanın erken aşamasında dahi motorun titreşim modelini değiştirir. Bundan dolayı son yıllarda elektrik motorlarının izlenmesinde titreşim sinyalleri yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Rotor kırığı arızalarında titreşim sinyalleri güç spektrumu ile incelendiğinde, rotordaki kırık sayısı ve yük arttıkça yan bant frekanslarının genliğinin arttığı görülmektedir [12]. Rulman arızalarının titreşim sinyalleri ile tespitinde, yük seviyesi arttıkça hataya ilişkin öznelikler daha belirgin hale gelmekte ve sınıflandırma doğruluk oranı daha yüksek değerlere ulaşmaktadır [13].

Çalışmada, 3-fazlı, 380 V, 50 Hz şebekeden beslenen ve %100 yük altında çalışan bir asenkron motorda meydana gelen tekil ve eş zamanlı çoklu arızalar incelenmiştir. Veri seti olarak asenkron motordan toplanan 3-eksen titreşim verileri kullanılmıştır. Asenkron motorda meydana gelen tekil ve eş zamanlı çoklu arızaların çok etiketli sınıflandırılmasına odaklanılarak literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Sınıflandırmada 3-eksen titreşim sinyallerinin istatistiksel öznitelikleri çıkarılmıştır. Çıkarılan özniteliklere BR, CC ve LP problem dönüşüm yöntemleri uygulanarak DT, K-NN, SVM ve NB sınıflandırıcıları ile çok etiketli sınıflandırma yapılmıştır. Problem dönüşüm yöntemleri ve temel sınıflandırıcıların birlikte kullanımında çeşitli değerlendirme ölçütleri ile genel başarımlar ve etiket bazında başarımlar oranları karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde çok etiketli sınıflandırma yöntemi, üçüncü bölümünde veri ön işleme yöntemi verilmektedir. Dördüncü bölümde çok etiketli sınıflandırma yöntemi ile arıza analizi detaylı olarak verilmektedir. Çalışmanın sonuçları beşinci bölümde sunulmaktadır.

## **II. ÇOK ETİKETLİ SINIFLANDIRMA**

Geleneksel tek etiketli sınıflandırma (*single label classification*) birden fazla ve farklı etiketten oluşan bir kümeden ( $L$ ) tek bir etiketin ( $l$ ) öğrenilmesiyle ilgilidir. Öğrenme problemi etiket sayısı 2 ise ikili sınıflandırma (*binary classification*), 2'den fazla ise çok sınıflı sınıflandırma (*multi-class classification*) problemi olarak adlandırılır [14]. Bir etiketin iki ya da daha çok sınıftan sadece birine karşılık gelmesi tek etiketli sınıflandırma problemi, birden fazla sınıfa karşılık gelmesi ise çok etiketli sınıflandırma problemi olarak adlandırılır.

Gerçek dünya verileri, analiz edilen olgular üzerinde her zaman kesin olarak birbirinden ayrılmış sınıflar sunmamaktadır. Örneğin bir elektrik motorunun durumu, motordan elde edilen veriler kullanılarak ikili sınıflandırma ile 'çalışıyor ya da çalışmıyor' biçiminde, çoklu sınıflandırma ile 'rotor veya stator veya rulman veya mil arızası' biçiminde belirlenebilir. Çok etiketli sınıflandırma ile aynı veriler kullanılarak, çalışan bir motorun rotor, stator, rulman ve mil arızalarından hangilerini ve ne düzeyde barındırdığı tespit edilebilir.

Çok etiketli sınıflandırma için kullanılan iki temel yöntem problem dönüştürme (*problem transformation*) ve algoritma uyarlama (*algorithm adaptation*) olarak gruplanabilir. Problem dönüştürme çok etiketli problemin tek etiketli alt problemlere dönüştürülmesidir. Algoritma uyarlama ise çok etiketli verileri işlemek için öğrenme algoritmalarının genişletilmesi sürecidir [14].

Çok etiketli sınıflandırmada eğitim seti  $D$  olarak tanımlanır ve  $E_i = (x_i, Y_i)$ ,  $i = 1..N$  olmak üzere içinde  $N$  adet örnek bulunur. Her  $E_i$  örneği  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$  ile gösterilen bir öznitelik vektörü ve  $Y_i \subseteq L$  etiketlerinin bir alt kümesiyle ilişkilidir, burada  $L = \{y_j : j = 1..q\}$   $q$  olası etiketlerin kümesidir. Çok etiketli sınıflandırmada temel amaç,  $E = (x, ?)$  şeklinde etiketlenmemiş bir örnek verildiğinde  $Y$  etiketlerinin alt kümesini doğru bir şekilde tahmin edebilen  $H(E) \rightarrow Y$  şeklinde tanımlanan bir  $H$  sınıflandırıcısı oluşturmaktır. Burada  $Y$ ,  $E$  örneğiyle ilişkili etiketlerden oluşur.

### **A. PROBLEM DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ**

#### **A. 1. Basit Problem Dönüşüm Yöntemleri**

Tek etiketli sınıflandırıcının çok etiketli veri kümesine uygulanabilmesi için çok etiketli veri kümesini tek etiketli veri kümesine dönüştüren ve basit dönüşüm yöntemleri olarak anılan Kopya Dönüşümü (*Copy Transformation*), Seçme Dönüşümü (*Select Transformation*) ve Yok Say Dönüşümü (*Ignore Transformation*) yöntemleri kullanılmaktadır [15], [16]. Tablo 1'de çok etiketli bir veri seti örneği verilmiştir.



**Tablo 1.** Çok etiketli bir örnek veri seti.

Örnek	Öznitelikler	Etiketler	İlişkili Etiket Seti
E <sub>1</sub>	x <sub>11</sub> , x <sub>12</sub> , ..., x <sub>1m</sub>	L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>5</sub>	Y <sub>1</sub>
E <sub>2</sub>	x <sub>21</sub> , x <sub>22</sub> , ..., x <sub>2m</sub>	L <sub>3</sub> , L <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub>
E <sub>3</sub>	x <sub>31</sub> , x <sub>32</sub> , ..., x <sub>3m</sub>	L <sub>1</sub> , L <sub>4</sub> , L <sub>5</sub>	Y <sub>3</sub>
E <sub>4</sub>	x <sub>41</sub> , x <sub>42</sub> , ..., x <sub>4m</sub>	L <sub>2</sub>	Y <sub>4</sub>
E <sub>5</sub>	x <sub>51</sub> , x <sub>52</sub> , ..., x <sub>5m</sub>	L <sub>1</sub> , L <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>

Kopya dönüşümünde her çok etiketli örnek (*instance*) ilişkili etiket sayısına kopyalanır ve her kopyaya etiketlerden birisi atanır. Bu yöntemin düzeltilmiş ağırlıklı kopya (*dubbed copy-weight*) olarak adlandırılan bir türünde ise kopyalanarak üretilen her bir örnek için 0 ile 1 arasında bir ağırlık değeri belirlenir. Kopya dönüşümü yönteminde örneklerin sayısı artar ancak bilgi kaybı yoktur. Seçme dönüşümünde her çok etiketli örnek için ilişkili etiketlerden yalnızca biri seçilir. Seçim yöntemi olarak en yüksek sıklık (*select-max*), en düşük sıklık (*select-min*) ve rastgele (*select-random*) yaklaşımları kullanılır. Seçme dönüşümü yönteminde örneklerin sayısı aynı kalır ancak bilgi kaybı vardır. Yok say dönüşümünde çok etiketli örnekler yok sayılarak yalnızca tek etiketli örnekler alınır. Yok say dönüşümü yönteminde örneklerin sayısı azalır ancak yüksek bilgi kaybı vardır. Tablo 2’de basit dönüşüm yöntemlerinin Tablo 1’de verilen örnek veri setine uygulanmasından elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Basit dönüşüm yöntemlerinin örnek veri setine uygulanması: (a) Kopya dönüşümü, (b) Ağırlıklı kopya dönüşümü, (c) Seçme dönüşümü (en yüksek sıklık), (d) Seçme dönüşümü (en düşük sıklık), (e) Seçme dönüşümü (rastgele), (f) Yok say dönüşümü.

Örnek	Etiket	Örnek	Etiket	Ağırlık	Örnek	Etiket	Örnek	Etiket	Örnek	Etiket	Örnek	Etiket
1a	L <sub>1</sub>	1a	L <sub>1</sub>	0,33	1	L <sub>5</sub>	1	L <sub>2</sub>	1	L <sub>1</sub>	1	L <sub>2</sub>
1b	L <sub>2</sub>	1b	L <sub>2</sub>	0,50	2	L <sub>5</sub>	2	L <sub>3</sub>	2	L <sub>5</sub>		
1c	L <sub>5</sub>	1c	L <sub>5</sub>	0,25	3	L <sub>5</sub>	3	L <sub>4</sub>	3	L <sub>1</sub>		
2a	L <sub>3</sub>	2a	L <sub>3</sub>	1,00	4	L <sub>2</sub>	4	L <sub>2</sub>	4	L <sub>2</sub>		
2b	L <sub>5</sub>	2b	L <sub>5</sub>	0,25	5	L <sub>5</sub>	5	L <sub>1</sub>	5	L <sub>5</sub>		
3a	L <sub>1</sub>	3a	L <sub>1</sub>	0,33								
3b	L <sub>4</sub>	3b	L <sub>4</sub>	1,00								
3c	L <sub>5</sub>	3c	L <sub>5</sub>	0,25								
4	L <sub>2</sub>	4	L <sub>2</sub>	0,50								
5a	L <sub>1</sub>	5a	L <sub>1</sub>	0,33								
5b	L <sub>5</sub>	5b	L <sub>5</sub>	0,25								
(a)		(b)			(c)		(d)		(e)		(f)	

## A. 2. İkili Alâka Düzeyi (*Binary Relevance - BR*)

İkili Alâka Düzeyi, etiket kümesindeki her farklı etiket için bir tane olmak üzere ikili sınıflandırıcıları öğrenen bir problem dönüştürme yöntemidir. Bu yöntemde orijinal veri seti farklı etiket sayısı kadar alt veri setlerine dönüştürülür. Tüm örnekler için her alt veri setinde ilgili etiketi içeriyorsa pozitif (+) içermiyorsa negatif (-) şeklinde bir atama yapılır [17].

**Tablo 3.** İkili Alâka Düzeyi dönüşümünün örnek veri setine uygulanması.

Örnek	Y	Örnek	Y	Örnek	Y	Örnek	Y	Örnek	Y
E <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	¬y <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	¬y <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>	y <sub>5</sub>
E <sub>2</sub>	¬y <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	¬y <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	¬y <sub>4</sub>	E <sub>2</sub>	y <sub>5</sub>
E <sub>3</sub>	y <sub>1</sub>	E <sub>3</sub>	¬y <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	¬y <sub>3</sub>	E <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	y <sub>5</sub>
E <sub>4</sub>	¬y <sub>1</sub>	E <sub>4</sub>	y <sub>2</sub>	E <sub>4</sub>	¬y <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	¬y <sub>4</sub>	E <sub>4</sub>	¬y <sub>5</sub>
E <sub>5</sub>	y <sub>1</sub>	E <sub>5</sub>	¬y <sub>2</sub>	E <sub>5</sub>	¬y <sub>3</sub>	E <sub>5</sub>	¬y <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	y <sub>5</sub>

Tablo 1’de verilen örnek veri setine BR dönüşümünün uygulanması ile oluşan yeni veri setinin örnek bir görünümü Tablo 3’te verilmiştir. Bu dönüşüm ile orijinal veri setinde yer alan özniteliklerde bir

değişim meydana gelmemektedir. Dönüşüm etiketler üzerinden gerçekleşmektedir. Dönüşüm sonucunda elde edilen yeni gösterimde her farklı etiket için ilgili örneğin etiketi içerip içermediğini gösteren alt veri setleri oluşmaktadır [18].

### A. 3. Etiket Güç Seti (*Label Powerset - LP*)

Etiket Güç Seti, çok etiketli bir eğitim kümesinde bulunan her benzersiz etiket kümesini yeni bir tek etiketli sınıflandırma işlemi olarak değerlendirmeye alır. Bu yaklaşım basit ama etkili bir problem dönüştürme yöntemidir [17]. LP dönüşümünün tek etiketli sınıflandırıcısı yeni bir örnek verildiğinde aslında bir etiket kümesi olan en olası sınıfı sonuç olarak verir [19].

**Tablo 4.** Etiket Güç Seti dönüşümünün örnek veri setine uygulanması.

Örnek	Y	Örnek	Y
E <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub> ={y <sub>1</sub> ,y <sub>2</sub> ,y <sub>5</sub> }	E <sub>1</sub>	y <sub>1,2,5</sub>
E <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub> ={y <sub>3</sub> , y <sub>5</sub> }	E <sub>2</sub>	y <sub>3,5</sub>
E <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub> ={y <sub>1</sub> ,y <sub>4</sub> ,y <sub>5</sub> }	E <sub>3</sub>	y <sub>1,4,5</sub>
E <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub> ={y <sub>2</sub> }	E <sub>4</sub>	y <sub>2</sub>
E <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub> ={y <sub>1</sub> ,y <sub>5</sub> }	E <sub>5</sub>	y <sub>1,5</sub>

Tablo 1’de verilen örnek veri setine LP dönüşümünün uygulanması ile oluşan yeni veri setinin örnek bir görünümü Tablo 4’te verilmiştir. Bu dönüşüm ile orijinal veri setinde yer alan özniteliklerde bir değişim meydana gelmemektedir. Dönüşüm etiketler üzerinden gerçekleşmektedir. Dönüşüm sonucunda elde edilen yeni gösterimde etiketi temsil eden  $y_{i,j,\dots,k}$  gösterimi dönüştürülen örneğin sırasıyla  $y_i \wedge y_j, \dots, y_k$  etiketlerinin birleşiminden oluştuğunu ifade etmektedir [17].

### A. 4. Sınıflandırıcı Zincir (*Classifier Chain - CC*)

Sınıflandırıcı Zincir modeli, BR dönüşümünde olduğu gibi her etiket için bir tane olmak üzere ikili dönüşümler içerir. Model BR dönüşümünden farklı olarak her ikili model için öznitelik alanını önceki tüm sınıflandırıcıların 0/1 etiket alâkalarıyla genişletir ve böylece bir sınıflandırıcı zinciri oluşturur [20]. Sınıflandırıcı Zincir dönüşümünün Tablo 1’de verilen örnek veri setine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** Sınıflandırıcı Zincir dönüşümünün örnek veri setine uygulaması.

Örnek	Y <sub>1</sub>	Örnek	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Örnek	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Örnek	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
E <sub>1</sub>	1	E <sub>1</sub>	1	1	E <sub>1</sub>	1	1	0		E <sub>1</sub>	1	1	0	0	1
E <sub>2</sub>	0	E <sub>2</sub>	0	0	E <sub>2</sub>	0	0	1		E <sub>2</sub>	0	0	1	0	1
E <sub>3</sub>	1	E <sub>3</sub>	1	0	E <sub>3</sub>	1	0	0		E <sub>3</sub>	1	0	0	1	1
E <sub>4</sub>	0	E <sub>4</sub>	0	1	E <sub>4</sub>	0	1	0		E <sub>4</sub>	0	1	0	0	0
E <sub>5</sub>	1	E <sub>5</sub>	1	1	E <sub>5</sub>	1	1	0		E <sub>5</sub>	1	1	0	0	1

## B. ALGORİTMA UYARLAMA YÖNTEMLERİ

Bu yaklaşımda, tek etiketli sınıflandırıcıların çok etiketli problemlerde kullanımlarını mümkün kılmak amacıyla içyapıları uyarlanarak tek etiketli sınıflandırıcıların uzantıları geliştirilmiştir [21]. Çok etiketli sınıflandırma problemleri için geliştirilen belirli bir algoritmanın, algoritmadan bağımsız yaklaşıma dayalı yöntemlerden daha iyi bir performansa sahip olabileceği iddia edilmektedir [22]. Literatürde DT, lojistik regresyon (*logistic regression*), K-NN, olasılıksal (*probabilistic*) yöntemler, sinir ağları (*neural networks*), SVM, rastgele orman (*random forest*), tembel (*lazy*), ilişkisel (*associative*) yöntemler ve artırma (*boosting*) gibi farklı algoritmalara dayalı çeşitli algoritma uyarlama yöntemleri önerilmiştir [23], [24].

## C. TEMEL SINIFLANDIRICILAR

Problem Dönüştürme yöntemleri ile ikili ya da çok sınıflı sınıflandırma problemine uygun hale getirilen çok etiketli veri setine geleneksel sınıflandırıcılar uygulanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 4 farklı sınıflandırıcı yöntemi aşağıda açıklanmaktadır.

### C. 1. Naive Bayes

Naive Bayes sınıflandırıcısı, özniteliklerin verilen sınıftan bağımsız olduğunu varsayarak öğrenme sürecini büyük ölçüde basitleştirir. Bağımsızlık genellikle zayıf bir varsayım olsa da uygulamada çoğu zaman daha gelişmiş sınıflandırıcılarla iyi rekabet eder [25]. Bayes teoremi, eğitim veri setindeki örneklerden faydalanarak daha önce görmediği bir örneğin sınıfını en iyi şekilde tahmin etmeyle ilgilidir. Seçilen sınıf  $P(C_i | E) = (P(C_i)P(E | C_i))/P(E)$  değerini en büyük yapan olmalıdır. Burada  $C_i$   $i$ 'nci sınıf,  $E$  test edilen örnek,  $P(Y | X)$  verilen  $X$  için  $Y$ 'nin koşullu olasılığıdır ve olasılıklar eğitim örneğinden tahmin edilir. Bir örnek  $a$  adet öznitelikten oluşan bir vektör olsun. Eğer öznitelikler verilen sınıftan bağımsız ise  $P(E | C_i)$  ifadesi  $P(v_1 | C_i) \dots P(v_a | C_i)$  şeklinde ayrıştırılabilir. Burada  $v_j$ ,  $E$  örneğinin  $j$ 'inci özneliğinin değeridir [26].

### C. 2. Karar Ağacı (J48)

J48 isimlendirmesi C4.5 karar ağacı algoritmasının WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) [27] uygulaması içindeki kullanımı olup J harfi Java programlama dilini temsil etmektedir. Çok sayıda karar ağacı algoritması içerisinde bilinirliği en fazla olan C4.5 algoritmasıdır. C4.5 algoritması ID3 algoritmasının geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. C4.5 algoritması karar ağacını oluştururken “böl ve yönet” (*divide and conquer*) stratejisini kullanır. Ağaçtaki her düğüm bir dizi durumla ilişkilidir. Ayrıca, bilinmeyen öznitelik değerlerini hesaba katmak için örneklere ağırlıklar atanır. Başlangıçta, yalnızca kök mevcut olup tüm eğitim veri seti ile ilişkilidir ve tüm durum ağırlıkları 1'e eşittir [28].

### C. 3. K-En Yakın Komşu

K-En Yakın Komşu, gözetimli öğrenme ile sade ve etkin biçimde öğrenme ve sınıflandırma yapabilen bir algoritmaya sahiptir. Aynı zamanda parametrik değildir ve temel veri kümesi üzerinde herhangi bir varsayımda bulunmadan çalışır. Etiketlenmemiş verilerin sınıfının tahmin edilebilmesi için veri noktalarının çeşitli sınıflara ayrıldığı etiketli bir eğitim veri kümesi sağlanır. Belirli bir bölgedeki en yakın veya komşu eğitim örneklerine dayalı olarak verileri sınıflandırmak için kullanılır [29]. En Yakın Komşu sınıflandırmasının altında yatan sezgi oldukça basittir: Örnekler en yakın komşularının sınıfına göre sınıflandırılır. Bu yaklaşımda birden fazla komşuyu dikkate almak genellikle yararlıdır. Bu nedenle sınıfın belirlenmesinde yaygın olarak  $k$  adet en yakın komşunun kullanıldığı K-NN sınıflandırması olarak adlandırılır. Sınıflandırma, doğrudan eğitim örneklerine dayandığından, Örnek Tabanlı Sınıflandırma veya Vaka Tabanlı Sınıflandırma olarak da adlandırılır [30].

### C. 4. Destek Vektör Makinesi

Destek Vektör Makinesi bir taraftan verilere aşırı uyumdan kaçınırken diğer taraftan tahmin doğruluğunu en üst düzeye çıkarmak için makine öğrenimi teorisini kullanan gözetimli bir sınıflandırma ve regresyon tahmini aracıdır [31]. Vektör uzayında bir dizi  $p$ -boyutlu vektör verildiğinde vektör uzayını vektörlerin alt kümesine bölen ayırıcı hiperdüzlemi bulur. Ayrılmış her alt küme bir sınıfa atanır. Bu ayırıcı hiper düzlem için iki alt küme arasındaki marjı en büyükleme koşulu aranır [32].

## D. DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ (EVALUATION METRICS)

Değerlendirme ölçütleri üç farklı kategoride incelenebilir. Örnek tabanlı (*example-based*) değerlendirmede önce etiketlerdeki her bir örnek için hesaplama yapıp ardından tüm örneklerdeki

ortalama alınır. Etiket tabanlı (*label-based*) değerlendirmede önce örneklerdeki her bir etiket için hesaplama yapıp ardından tüm etiketlerdeki ortalama alınır. Sıralama tabanlı (*ranking-based*) değerlendirmede her etiketin tahminine güven duymaya dayalı olarak etiketler sıralanır [33].

Örnek tabanlı ölçütlerden Hamming Puanı (*Hamming Score*), Hamming kaybına (*Hamming Loss*) dayanılarak  $1 - \text{Hamming Kaybı}$  şeklinde hesaplanır. Hamming kaybı, yanlış sınıflandırılmış örnek-etiket çiftlerinin oranıdır [34]. Doğruluk (*Accuracy*), tahmin edilen ve gerçek etiket setlerinin benzerliğini ve farklılığını karşılaştırır [35]. Alt Küme Doğruluğu (*Subset Accuracy*), ya da tam eşleşme (*exact match*) tüm etiketleri doğru olarak sınıflandırılmış örneklerin yüzdesini gösterir [36]. Etiket tabanlı ölçütler makro-ortalama ve mikro-ortalama olmak üzere 2 kategoriye ayrılır. Bu ölçütler çok etiketli sınıflandırmada kesinlik (*precision*), duyarlılık (*recall*) ve F1 ölçüsü (*F1 measure*) için makro-ortalama ve mikro-ortalama türünde kullanılmaktadır [37].

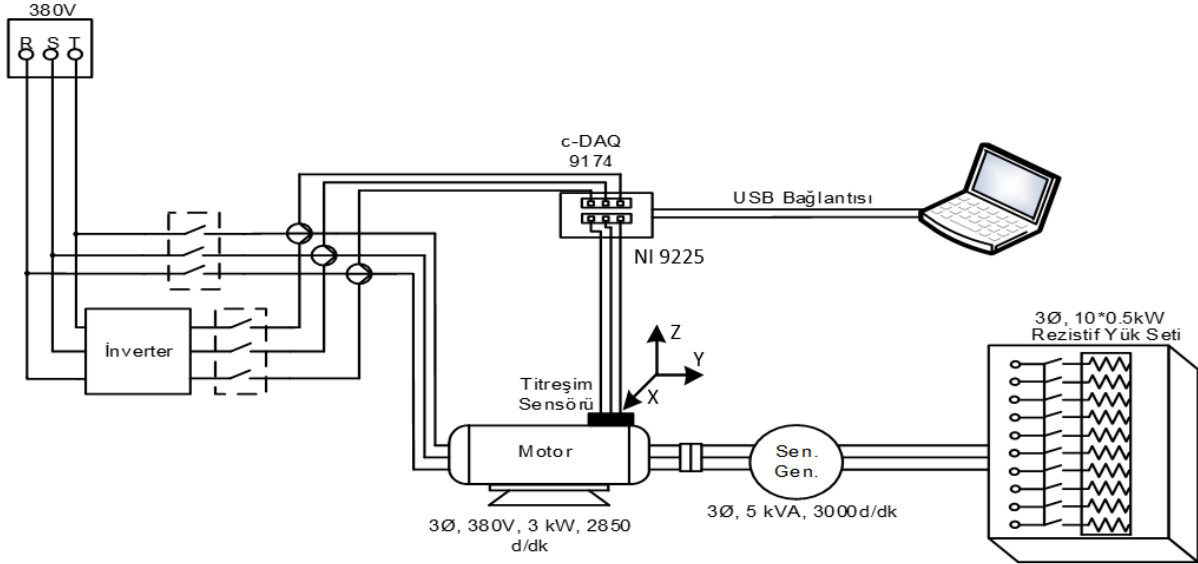
Sıralama tabanlı ölçütlerden Tek Hata (*OneError*), sıralamada en üstte olan etiketin örneğe uygun etiket kümesinde kaç kez bulunmadığını, Sıralama Kaybı (*Ranking Loss*) ise her örnek için ters sıralı etiket çiftlerinin ortalama oranını verir [34]. Ortalama Kesinlik (*Average Precision*), belirli bir  $y_i \in Y$  etiketinin üzerinde sıralanan ve gerçekte  $Y$ 'de bulunan etiketlerin ortalama oranını verir [34]. Ayrıca sınıflandırma performansından bağımsız olarak veri setine ilişkin değerlendirme ölçütleri de kullanılmaktadır. Etiket Önem Düzeyi (*Label Cardinality*), veri seti içerisindeki örneklerin etiketlerinin sayısının ortalamasıdır. Etiket Yoğunluğu (*Label Density*), veri setinin etiket önem düzeyinin veri setinin etiket sayısına oranıdır [14]. Çok etiketli sınıflandırmada sıklıkla kullanılan değerlendirme ölçütleri Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Çok etiketli sınıflandırma için değerlendirme ölçütleri.

Değerlendirme Ölçütü	Denklem	En İyi Değer	
Örnek Tabanlı	Hamming Puanı	$1 - \left( \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{1}{q}  h(x_i) \Delta Y_i  \right)$	1
	Doğruluk	$\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{ h(x_i) \cap Y_i }{ h(x_i) \cup Y_i }$	1
	Alt Küme Doğruluğu	$\sum_{i=1}^p \mathbb{I}[h(x_i) = Y_i]$	1
Etiket Tabanlı	B <sub>Makro-Ortalama</sub> (B Kesinlik, Duyarlılık, F1 ölçüsü yerine kullanılır)	$\frac{1}{q} \sum_{j=1}^q B(TP_j, FP_j, FN_j)$	1
	B <sub>Mikro-Ortalama</sub> (B Kesinlik, Duyarlılık, F1 ölçüsü yerine kullanılır)	$B \left( \sum_{j=1}^q TP_j, \sum_{j=1}^q FP_j, \sum_{j=1}^q FN_j \right)$	1
Sıralama Tabanlı	Tek Hata	$\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \mathbb{I} \left[ \left[ \arg \max_{y \in Y} f(x_i, y) \right] \notin Y_i \right]$	0
	Sıralama Kaybı	$\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{1}{ Y_i   \bar{Y}_i }  \{(y', y'') : f(x_i, y') \leq f(x_i, y''), (y', y'') \in Y_i \times \bar{Y}_i\} $	0
	Ortalama Kesinlik	$\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{1}{ Y_i } \sum_{y \in Y_i} \frac{ \{y' : \text{rank}_f(x_i, y') \leq \text{rank}_f(x_i, y), y' \in Y_i\} }{\text{rank}_f(x_i, y)}$	1
Veri Seti	Etiket Önem Düzeyi	$\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p  Y_i $	Yok
	Etiket Yoğunluğu	$\frac{1}{pq} \sum_{i=1}^q  Y_i $	Yok

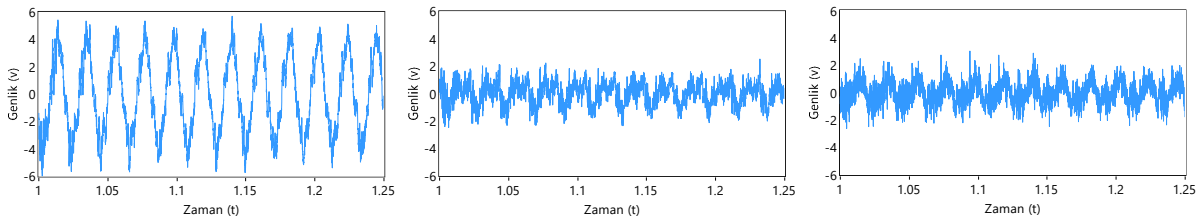
### III. VERİ ÖN İŞLEME

Bu çalışmada “116E302” numaralı “Asenkron Motorlar Arızalarının Tespiti ve Entropi Analizi ile Arıza Şiddetinin Belirlenmesi” başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında elde edilen titreşim verileri kullanılmıştır [38]. Titreşim verileri, PCB356A31 ivme sensörü ve NI cDAQ-9174 CompactDAQ sistemi (NI 9225 modülü ile birlikte) kullanılarak 25 kHz’lik bir örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. Veriler, 380V, 50 Hz, 3-fazlı, 3 kW, 2 kutuplu bir asenkron motor şebekeden beslenerek ve %100 oranında yüklenerek kaydedilmiştir. Veri toplama deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir.

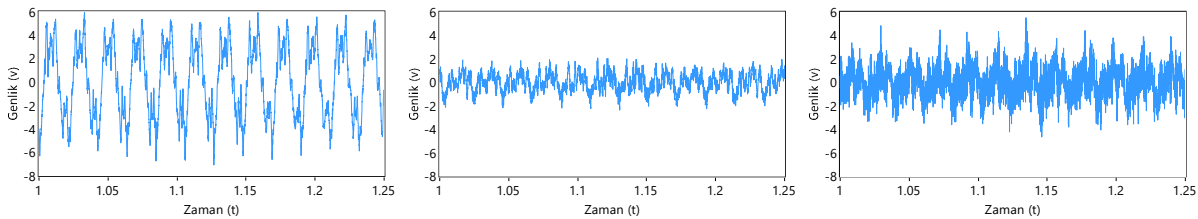


Şekil 1. Veri toplama deney düzeneği [38].

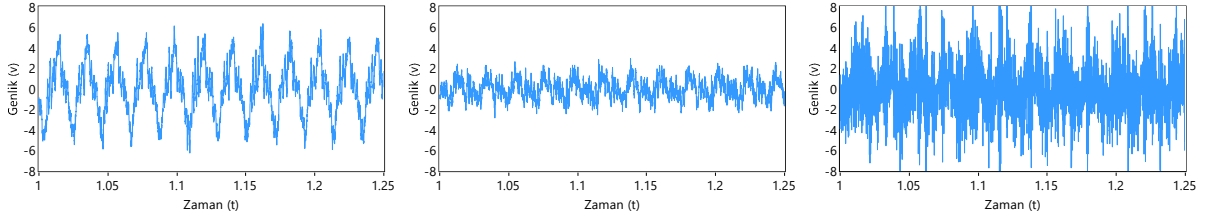
Şekil 2 - Şekil 6’da asenkron motorun farklı durumlarında elde edilen 3-eksen titreşim sinyallerinden örnekler soldan sağa x, y ve z eksenı sırasıyla verilmektedir. Şekil 2’de asenkron motorun sağlam durumu, Şekil 3’te 3-Kırıklı rotor durumu, Şekil 4’te Dış-Bilezik rulman arızası durumu, Şekil 5’te Eksenel Kaçıklık durumu ve Şekil 6’da 3-Kırıklı rotor + Dış-Bilezik rulman arızası + Eksenel kaçıklık (3’lü eş zamanlı arıza) durumu için 3-eksen titreşim sinyalleri gösterilmiştir.



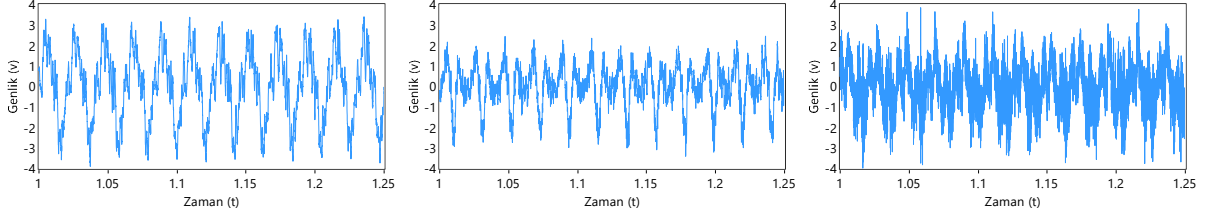
Şekil 2. Sağlam motor durumu için 3-eksen titreşim sinyalleri.



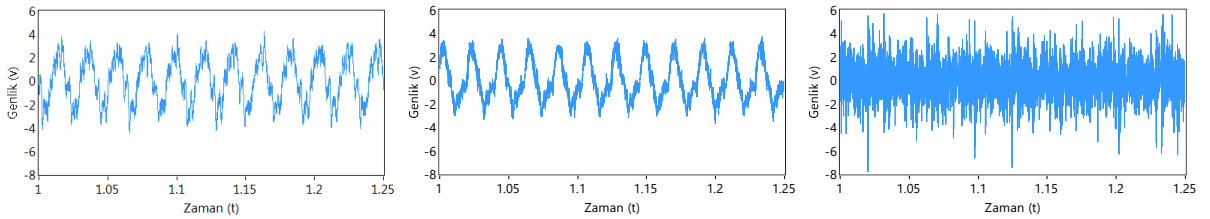
Şekil 3. Üç-Kırıklı rotor durumu için 3-eksen titreşim sinyalleri.



Şekil 4. Dış-Bilezik rulman arızası durumu için 3-eksen titreşim sinyalleri.

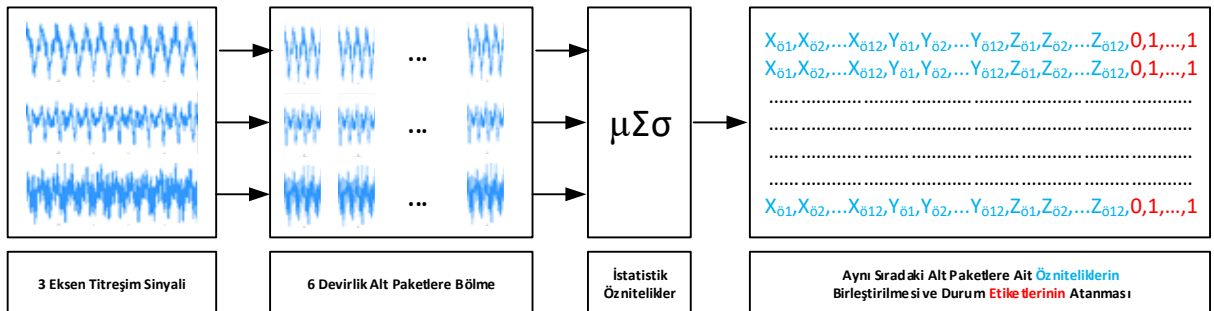


Şekil 5. Eksenel kaçıklık durumu için 3-eksen titreşim sinyalleri.



Şekil 6. Üç-Kırıklı rotor + Dış-Bilezik rulman arızası + Eksenel kaçıklık (3'lü eş zamanlı arıza) durumu için 3-eksen titreşim sinyalleri.

Her bir tekil ve eş zamanlı çoklu arıza ile sağlam motor durumu için toplamda 21 adet 3-eksen titreşim sinyali ham veri olarak bulunmaktadır. Verilerin elde edildiği test motoru %100 yük altında ve 2850 dev/dak ile çalıştırılmıştır. Öznitelik çıkarımında veriler eşit uzunlukta küçük parçalara ayrılarak kullanılmıştır. Bu doğrultuda her bir titreşim eksenini için veriler 6 devirlik alt veri paketlerine bölünmüştür. Her alt veri paketinden her bir eksen için 12 adet olmak üzere toplam 36 adet istatistiksel öznitelik elde edilmiştir. Veri ön işleme sürecinin bir parçası olan öznitelik çıkarım süreci Şekil 7'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 7. Veri ön işleme süreci.

Çalışmada, aritmetik ortalama (*mean*), ortanca (*median*), tepe noktası (*mod*), toplam (*sum*), RMS, standart sapma (*standard deviation*), varyans (*variance*), çarpıklık (*skewness*), basıklık (*kurtosis*), en büyük (*maximum*), en küçük (*minimum*) ve değer aralığı (*range*) öznitelikleri kullanılmıştır. Bu özniteliklerin denklemleri/yöntemleri Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** İstatistiksel değerlerin elde edilmesinde kullanılan denklemler/yöntemler.

İstatistiksel Değer	Denklemler/Yöntem
Aritmetik Ortalama	$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i$
Ortanca	n tek ise $\rightarrow \text{median}(x) = x_{(n+1)/2}$ n çift ise $\rightarrow \text{median}(x) = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2}$
Tepe Noktası	Bir sayısal veri serisi içinde en çok tekrar eden sayıdır.
Toplam	$\text{sum} = \sum_{i=1}^n x_i$
RMS	$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$
Standart Sapma	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$
Varyans	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}$
Çarpıklık	$\text{skewness} = E \left[ \left( \frac{X - \mu}{\sigma} \right)^3 \right]$
Basıklık	$\text{kurtosis} = E \left[ \left( \frac{X - \mu}{\sigma} \right)^4 \right]$
En Büyük	Bir sayısal veri serisi içinde en büyük sayıdır.
En Küçük	Bir sayısal veri serisi içinde en küçük sayıdır.
Değer Aralığı	Range = En Büyük – En Küçük

Çok etiketli sınıflandırma yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan etiket kümesi veri setinde yer alan farklı arıza tipleri ve sağlam motor durumunu da içerecek şekilde oluşturularak Tablo 8’de verilmiştir. Farklı arıza tipleri 8 adet olmak üzere sağlam motor durumu ile birlikte toplam 9 adet etiket bulunmaktadır. Her bir etiket için etiketin işaret ettiği durumun/sınıfın var olup olmadığını ikili olarak 0 veya 1 ile temsil eden bir etiket vektörü oluşturulur. Etiket vektörünün eleman sayısı etiket sayısına eşittir.

**Tablo 8.** Etiket kümesi ve etiket vektörleri.

Etiket	Etiket Açıklaması	Etiket Vektörü
L1	1-Kırıklı Rotor	1,0,0,0,0,0,0,0,0
L2	2-Kırıklı Rotor	0,1,0,0,0,0,0,0,0
L3	3-Kırıklı Rotor	0,0,1,0,0,0,0,0,0
L4	Dış-Bilezik Rulman Arızası	0,0,0,1,0,0,0,0,0
L5	İç-Bilezik Rulman Arızası	0,0,0,0,1,0,0,0,0
L6	Eksenel Kaçıklık	0,0,0,0,0,1,0,0,0
L7	%3 Sargı Kısa-Devre	0,0,0,0,0,0,1,0,0
L8	%5 Sargı Kısa-Devre	0,0,0,0,0,0,0,1,0
L9	Sağlam Motor	0,0,0,0,0,0,0,0,1

Çok etiketli sınıflandırma yapılması ihtiyacını ortaya çıkaran birden fazla arızanın eş zamanlı var olması olasılığıdır. Tablo 9’da tekil ve eş zamanlı çoklu arıza durumları ve atanan etiket vektörleri gösterilmektedir. İlgili sınıfta arıza tipi var ise 1 atanır aksi halde 0 atanmıştır. Çok etiketli veri setinin etiket önem düzeyi 1,859 olarak hesaplanmıştır. Etiket yoğunluğu ise 0,207 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 9.** Tekil ve eş zamanlı çoklu arıza durumları ve etiket vektörleri.

Tekil ve Eş Zamanlı Çoklu Arıza Durumları	Etiket Vektörü								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
1-Kırıklı Rotor	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2-Kırıklı Rotor	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3-Kırıklı Rotor	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Dış-Bilezik Rulman Arızası	0	0	0	1	0	0	0	0	0
İç-Bilezik Rulman Arızası	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Eksenel Kaçıklık	0	0	0	0	0	1	0	0	0
%3 Sargı Kısa-Devre	0	0	0	0	0	0	1	0	0
%5 Sargı Kısa-Devre	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Eksenel Kaçıklık + 3-Kırıklı Rotor + Dış-Bilezik Rulman Arızası	0	0	1	1	0	1	0	0	0
Eksenel Kaçıklık + 3-Kırıklı Rotor + İç-Bilezik Rulman Arızası	0	0	1	0	1	1	0	0	0
%3 Sargı Kısa-Devre + Dış-Bilezik Rulman Arızası	0	0	0	1	0	0	1	0	0
%3 Sargı Kısa-Devre + İç-Bilezik Rulman Arızası	0	0	0	0	1	0	1	0	0
%3 Sargı Kısa-Devre + 3-Kırıklı Rotor Arızası	0	0	1	0	0	0	1	0	0
%3 Sargı Kısa-Devre + 3-Kırıklı Rotor + Dış-Bilezik Rulman Arızası	0	0	1	1	0	0	1	0	0
%3 Sargı Kısa-Devre + 3-Kırıklı Rotor + İç-Bilezik Rulman Arızası	0	0	1	0	1	0	1	0	0
%5 Sargı Kısa-Devre + Dış-Bilezik Rulman Arızası	0	0	0	1	0	0	0	1	0
%5 Sargı Kısa-Devre + İç-Bilezik Rulman Arızası	0	0	0	0	1	0	0	1	0
%5 Sargı Kısa-Devre + 3-Kırıklı Rotor Arızası	0	0	1	0	0	0	0	1	0
%5 Sargı Kısa-Devre + 3-Kırıklı Rotor + Dış-Bilezik Rulman Arızası	0	0	1	1	0	0	0	1	0
%5 Sargı Kısa-Devre + 3-Kırıklı Rotor + İç-Bilezik Rulman Arızası	0	0	1	0	1	0	0	1	0
Sağlam Motor	0	0	0	0	0	0	0	0	1

## IV. ARIZA ANALİZİ

Çok etiketli sınıflandırma işlemi MEKA (*A Multi-label/Multi-target Extension to WEKA*) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. MEKA yazılımı çok etiketli sınıflandırma problemlerinin üzerinde çalışılabilmesi amacıyla WEKA üzerinde geliştirilmiştir. WEKA geleneksel tek etiketli sınıflandırıcıları içeren bir yapıya sahiptir. MEKA çok sayıda çok etiketli sınıflandırıcıyı, değerlendirme ölçütlerini ve ilgili araçları içeren çok etiketli sınıflandırıcı deneyimini ve gelişimini sağlayan bir ortam sunmaktadır [39].

**Tablo 10.** Sınıflandırma veri setinin eğitim (2/3) ve test (1/3) olarak ayrılması ile elde edilen sonuçlar.

Değerlendirme Ölçütü	BR				LP				CC				
	NB	DT	K-NN	SVM	NB	DT	K-NN	SVM	NB	DT	K-NN	SVM	
Örnek Tabanlı	Doğruluk	0,5528	<b>0,9780</b>	0,9695	0,7863	<b>0,9998</b>	0,9971	0,9711	0,9714	0,5478	<b>0,9939</b>	0,9711	0,8114
	Hamming Puanı	0,8745	<b>0,9934</b>	0,9916	0,9533	<b>0,9999</b>	0,9990	0,9920	0,9926	0,8795	<b>0,9983</b>	0,9920	0,9466
	Alt Küme Doğruluğu	0,3056	0,9440	<b>0,9550</b>	0,6456	<b>0,9998</b>	0,9965	0,9648	0,9667	0,3228	<b>0,9894</b>	0,9646	0,7203
Etiket Tabanlı	Makro Kesinlik	0,7896	<b>0,9825</b>	0,9827	0,9339	<b>0,9999</b>	0,9976	0,9863	0,9874	0,8052	<b>0,9974</b>	0,9863	0,8742
	Makro Duyarlılık	0,8027	<b>0,9952</b>	0,9891	0,9272	<b>0,9999</b>	0,9981	0,9861	0,9871	0,7719	<b>0,9951</b>	0,9860	0,9274
	Makro F1	0,7800	<b>0,9882</b>	0,9858	0,9300	<b>0,9999</b>	0,9979	0,9862	0,9871	0,7732	<b>0,9963</b>	0,9861	0,8897
	Mikro Kesinlik	0,6925	0,9737	<b>0,9747</b>	0,8942	<b>0,9999</b>	0,9977	0,9804	0,9820	0,7280	<b>0,9970</b>	0,9803	0,8650
	Mikro Duyarlılık	0,6984	<b>0,9949</b>	0,9848	0,8762	<b>0,9998</b>	0,9976	0,9807	0,9820	0,6595	<b>0,9949</b>	0,9806	0,8765
	Mikro F1	0,6954	<b>0,9841</b>	0,9797	0,8851	<b>0,9999</b>	0,9976	0,9805	0,9820	0,6920	<b>0,9959</b>	0,9804	0,8707
Sıralama Tabanlı	Tek Hata	0,2333	<b>0,0027</b>	0,0168	0,1966	<b>0,0001</b>	0,0022	0,0194	0,0194	0,3445	<b>0,0036</b>	0,0194	0,1844
	Sıralama Kaybı	0,0888	<b>0,0022</b>	0,0035	0,0789	<b>0,0001</b>	0,0018	0,0212	0,0207	0,2029	<b>0,0031</b>	0,0213	0,0865
	Ortalama Kesinlik	0,8153	<b>0,9965</b>	0,9885	0,8098	<b>0,9999</b>	0,9975	0,9737	0,9739	0,6105	<b>0,9947</b>	0,9736	0,8336



Çalışmada BR, LP ve CC olmak üzere üç temel problem dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Her bir dönüşüm yöntemi ile NB, DT, K-NN ve SVM olmak üzere 4 farklı sınıflandırıcı çalışılmıştır. Problem dönüşüm yöntemleri ve sınıflandırıcıların birlikte kullanımlarında elde edilen sonuçlar Tablo 10 ve Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11.** Sınıflandırma veri setinden 10 kat çapraz doğrulama ile elde edilen sonuçlar.

Değerlendirme Ölçütü	BR				LP				CC				
	NB	DT	K-NN	SVM	NB	DT	K-NN	SVM	NB	DT	K-NN	SVM	
Örnek Tabanlı	Doğruluk	0,5602	<b>0,9821</b>	0,9667	0,8025	<b>0,9998</b>	0,9975	0,9737	0,9804	0,5517	<b>0,9953</b>	0,9737	0,8169
	Hamming Puanı	0,8767	<b>0,9945</b>	0,9922	0,9567	<b>0,9999</b>	0,9992	0,9927	0,9946	0,8805	<b>0,9988</b>	0,9927	0,9478
	Alt Küme Doğruluğu	0,3145	0,9525	<b>0,9538</b>	0,6721	<b>0,9998</b>	0,9971	0,9683	0,9758	0,3242	<b>0,9917</b>	0,9680	0,7344
Etiket Tabanlı	Makro Kesinlik	0,7964	<b>0,9871</b>	0,9865	0,9375	<b>0,9999</b>	0,9983	0,9875	0,9908	0,8064	<b>0,9980</b>	0,9875	0,8776
	Makro Duyarlılık	0,8050	<b>0,9942</b>	0,9870	0,9351	<b>0,9999</b>	0,9978	0,9873	0,9905	0,7759	<b>0,9959</b>	0,9873	0,9288
	Makro F1	0,7855	<b>0,9903</b>	0,9866	0,9357	<b>0,9999</b>	0,9980	0,9874	0,9906	0,7763	<b>0,9969</b>	0,9874	0,8916
	Mikro Kesinlik	0,7014	<b>0,9806</b>	0,9803	0,9003	<b>0,9999</b>	0,9980	0,9821	0,9870	0,7317	<b>0,9977</b>	0,9821	0,8690
	Mikro Duyarlılık	0,7010	<b>0,9932</b>	0,9821	0,8883	<b>0,9999</b>	0,9980	0,9826	0,9870	0,6645	<b>0,9964</b>	0,9825	0,8797
	Mikro F1	0,7011	<b>0,9867</b>	0,9811	0,8943	<b>0,9999</b>	0,9980	0,9823	0,9870	0,6965	<b>0,9970</b>	0,9823	0,8743
Sıralama Tabanlı	Tek Hata	0,2391	<b>0,0023</b>	0,0156	0,1824	<b>0,0000</b>	0,0019	0,0182	0,0105	0,3423	<b>0,0033</b>	0,0182	0,1802
	Sıralama Kaybı	0,0892	<b>0,0017</b>	0,0032	0,0710	<b>0,0001</b>	0,0016	0,0195	0,0137	0,2000	<b>0,0020</b>	0,0195	0,0859
	Ortalama Kesinlik	0,8125	<b>0,9970</b>	0,9894	0,8235	<b>0,9999</b>	0,9978	0,9760	0,9819	0,6137	<b>0,9959</b>	0,9760	0,8387

Tablo 10’da verilen sonuçlar öznitelik vektörlerini içeren verilerin 2/3’ünün eğitim ve kalan 1/3’ünün test verisi olarak ayrıldığı durumda 5 kez tekrarlanıp ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Tablo 11’de ise k-katlı çapraz doğrulama (*k-fold cross validation*) ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çapraz doğrulamada k sayısı 10 olarak belirlenmiş ve işlem 5 kez tekrarlanıp ortalamaları alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Her iki yaklaşımda da aynı sürecin tekrarlanarak ortalamalarının alınmasında eğitim ve test veri setlerinin seçimindeki rastgeleliğin etkisini en aza indirmek amaçlanmıştır. Tablolar incelendiğinde benzer sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu tablolarda koyu yazı biçimi ile vurgulanan değerler BR, LP ve CC dönüşüm yöntemleri için ilgili satırda belirtilen değerlendirme ölçütüne göre en başarılı sınıflandırıcıyı göstermektedir. Benzer şekilde altı çizili yazı biçimi ile vurgulanan değer tüm dönüşüm yöntemleri ve sınıflandırıcıların birlikte kullanımında, ilgili satırda belirtilen değerlendirme ölçütü için en başarılı sınıflandırıcıyı göstermektedir.

**Tablo 12.** BR dönüşüm yöntemi ile NB sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,621	0,948	0,904	0,887	0,774	0,712	1,000
Harmonik	1,000	1,000	0,475	0,910	0,925	0,815	0,569	0,746	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	0,603	0,967	0,757	0,598	0,682	0,492	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	0,331	0,842	0,987	0,736	0,412	0,885	1,000

**Tablo 13.** BR dönüşüm yöntemi ile DT sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,993	0,999	0,998	0,996	0,995	0,992	1,000
Harmonik	1,000	0,996	0,993	0,998	0,998	0,995	0,992	0,992	1,000
Kesinlik	0,993	1,000	0,990	1,000	0,996	0,982	0,995	0,979	1,000
Duyarlılık	1,000	0,992	0,994	0,996	0,996	0,993	0,986	0,993	1,000

**Tablo 14.** BR dönüşüm yöntemi ile K-NN sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	1,000	0,963	0,962	1,000
Harmonik	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,999	0,954	0,954	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	0,992	1,000	1,000	1,000	0,938	0,925	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,998	0,934	0,939	1,000

**Tablo 15.** BR dönüşüm yöntemi ile SVM sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,800	0,998	0,984	1,000	0,910	0,896	1,000
Harmonik	1,000	0,996	0,782	0,997	0,977	1,000	0,903	0,877	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	0,795	0,996	0,985	1,000	0,820	0,798	1,000
Duyarlılık	1,000	0,992	0,716	0,996	0,960	1,000	0,885	0,839	1,000

BR problem dönüştürme yöntemi ile 4 farklı sınıflandırıcı için etiket bazında elde edilen sonuçlar Tablo 12, 13, 14 ve 15’te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde NB sınıflandırıcısında L1, L2 ve L9; DT sınıflandırıcısında L9; K-NN sınıflandırıcısında L1, L2, L4, L5 ve L9; SVM sınıflandırıcısında L1, L6 ve L9 etiketlerinin tam doğrulukta sınıflandırıldığı görülmektedir. En düşük başarımları NB sınıflandırıcısı ile L3 etiketinde görülmektedir.

**Tablo 16.** LP dönüşüm yöntemi ile NB sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Harmonik	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

**Tablo 17.** LP dönüşüm yöntemi ile DT sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	0,997	0,997	1,000
Harmonik	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	0,999	0,998	0,995	1,000
Kesinlik	1,000	0,984	1,000	1,000	0,999	1,000	0,992	0,998	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	0,998	0,999	0,991	1,000

**Tablo 18.** LP dönüşüm yöntemi ile K-NN sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	1,000	0,962	0,962	1,000
Harmonik	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,999	0,952	0,954	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	0,992	1,000	1,000	1,000	0,938	0,927	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,998	0,930	0,936	1,000

**Tablo 19.** LP dönüşüm yöntemi ile SVM sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,972	0,972	1,000
Harmonik	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,960	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	0,965	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,967	0,934	1,000

LP problem dönüştürme yöntemi ile 4 farklı sınıflandırıcı için etiket bazında elde edilen sonuçlar Tablo 16, 17, 18 ve 19’da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde NB sınıflandırıcısında tüm etiketlerin; DT sınıflandırıcısında L1, L4 ve L9; K-NN sınıflandırıcısında L1, L2, L4, L5 ve L9; SVM sınıflandırıcısında L1, L2, L3, L4, L5, L6 ve L9 etiketlerinin tam doğrulukta sınıflandırıldığı görülmektedir. En düşük başarımlar K-NN sınıflandırıcısı ile L7 ve L8 etiketinde görülmektedir.

**Tablo 20.** CC dönüştürme yöntemi ile NB sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,621	0,949	0,907	0,905	0,745	0,743	1,000
Harmonik	1,000	1,000	0,474	0,910	0,926	0,769	0,458	0,765	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	0,604	0,969	0,764	0,696	0,625	0,526	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	0,331	0,842	0,982	0,646	0,304	0,833	1,000

**Tablo 21.** CC dönüştürme yöntemi ile DT sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,995	0,999	0,998	0,999	0,994	0,994	1,000
Harmonik	1,000	0,996	0,994	0,998	0,998	0,995	0,991	0,994	1,000
Kesinlik	0,993	1,000	0,997	1,000	0,996	1,000	0,993	0,987	1,000
Duyarlılık	1,000	0,992	0,991	0,996	0,996	0,991	0,986	0,993	1,000

**Tablo 22.** CC dönüştürme yöntemi ile K-NN sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

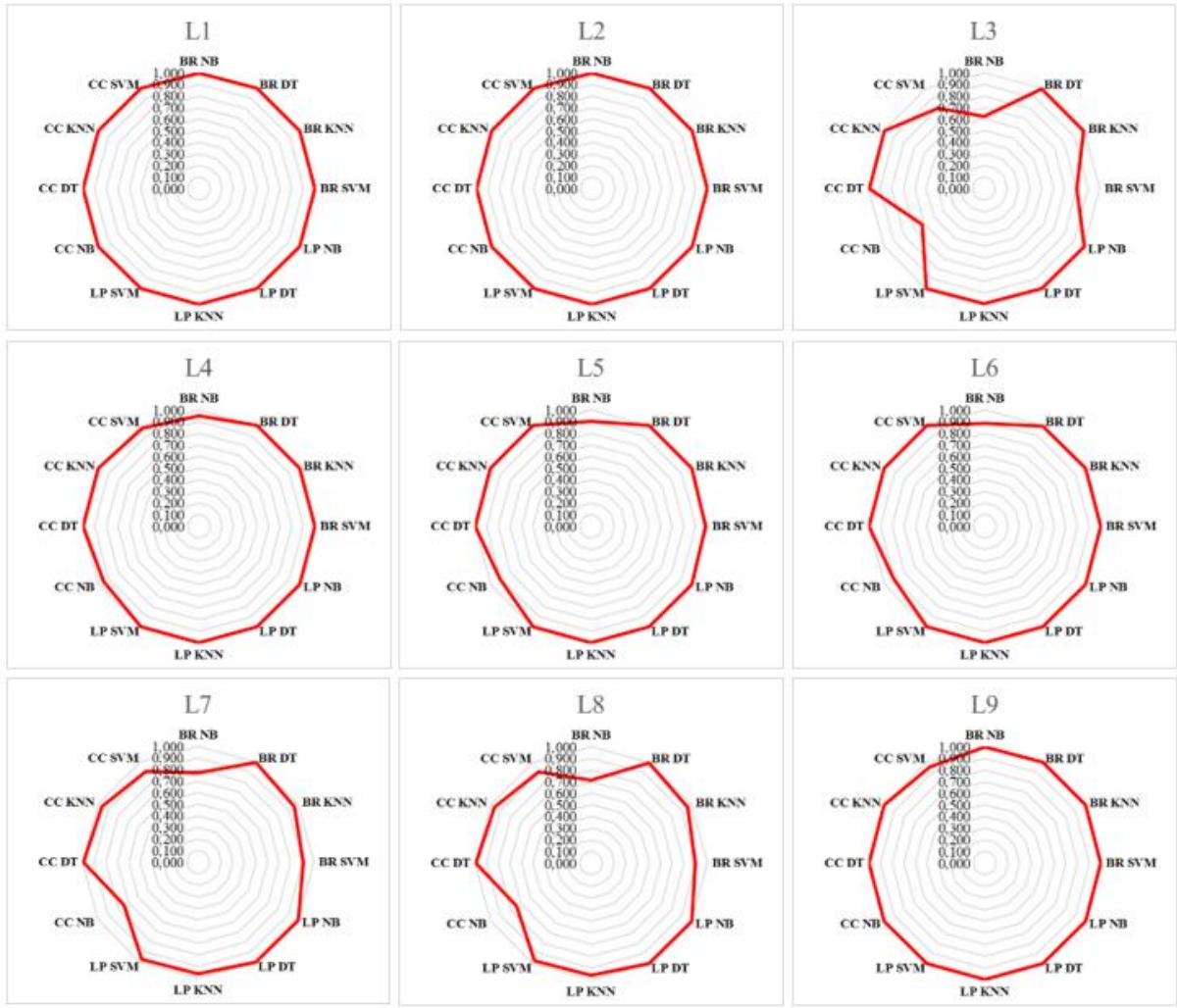
Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	1,000	0,962	0,962	1,000
Harmonik	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,999	0,952	0,954	1,000
Kesinlik	1,000	1,000	0,992	1,000	1,000	1,000	0,938	0,927	1,000
Duyarlılık	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,998	0,930	0,936	1,000

**Tablo 23.** CC dönüştürme yöntemi ile SVM sınıflandırıcısı için etiket bazında değerlendirme ölçütleri.

Ölçüt	Etiketler								
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Doğruluk	1,000	1,000	0,800	0,971	0,999	1,000	0,902	0,902	0,954
Harmonik	1,000	0,996	0,783	0,979	0,998	1,000	0,905	0,837	0,975
Kesinlik	1,000	1,000	0,795	0,906	0,998	1,000	0,784	0,892	0,496
Duyarlılık	1,000	0,992	0,717	0,999	0,998	1,000	0,912	0,739	1,000

CC problem dönüştürme yöntemi ile 4 farklı sınıflandırıcı için etiket bazında elde edilen sonuçlar Tablo 20, 21, 22 ve 23’te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde NB sınıflandırıcısında L1, L2 ve L9; DT sınıflandırıcısında L1; K-NN sınıflandırıcısında L1, L2, L4, L5 ve L9; SVM sınıflandırıcısında L1 ve L6 etiketlerinin tam doğrulukta sınıflandırıldığı görülmektedir. En düşük başarımlar NB sınıflandırıcısı ile L3 etiketinde görülmektedir.

Etiket bazında elde edilen sonuçlar tüm problem dönüştürme yöntemleri ve tüm sınıflandırıcılarla birlikte Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 8’de daire şekline yakınsayan çokgenin her bir köşesi bir problem dönüştürme yöntemi ile bir sınıflandırıcının birlikte kullanımı ile elde edilen doğruluk oranını göstermektedir. Çokgen biçiminden çokgenin merkezine doğru olan köşegen sapmaları ilgili etiket için doğruluk oranının azaldığını göstermektedir. Aynı zamanda problem dönüştürme yöntemlerinin performansı da Şekil 8’de verilen doğruluk oranı grafikleri kullanılarak karşılaştırılabilir.



Şekil 8. Etiket bazında sınıflandırma doğruluğunun grafiksel gösterimi.

## V. SONUÇLAR

Bu çalışmada 3-fazlı, 380 V, 50 Hz şebekeden beslenen ve %100 yük altında çalışan bir asenkron motorda meydana gelen tekil ve eş zamanlı çoklu arızaların çok etiketli sınıflandırılmasına odaklanılmıştır. LP yöntemi ile NB sınıflandırıcısının birlikte kullanımında %99,9 oranında, CC yöntemi ile DT sınıflandırıcısının birlikte kullanımında %99,3 oranında ve BR yöntemi ile DT sınıflandırıcısının birlikte kullanımında %97,8 oranında doğrulukla sınıflandırma başarımına ulaşılmıştır.

Etiket bazında sonuçlar değerlendirildiğinde L1, L2 ve L9 etiketleri için yüksek doğrulukta; L3, L7 ve L8 etiketleri için ise diğerlerine nazaran daha düşük doğrulukta sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Benzer şekilde CC problem dönüştürme yöntemi ile NB sınıflandırıcısı birlikte kullanıldığında da en düşük doğruluk oranının elde edildiği Şekil 8’de görülmektedir.

Problem dönüştürme yöntemleri, çok etiketli sınıflandırma sonuçları üzerinden genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek başarımları LP ile elde edilmiştir. Diğer yöntemlerden CC ve BR’nin DT ve K-NN sınıflandırıcıları ile birlikte kullanımında başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Sınıflandırıcılar karşılaştırıldığında, DT sınıflandırıcısı ile tüm problem dönüştürme yöntemlerinde en yüksek başarımların elde edildiği görülmektedir. Diğer sınıflandırıcılar başarımlarına göre yüksekten

düşüğe doğru K-NN, SVM ve NB şeklinde sıralanmaktadır. En yüksek başarımlı oranı LP ile NB birlikteliğinden elde edilmiştir.

Yapılan çalışma, çok etiketli sınıflandırma yönteminin elektrik makinalarının eş zamanlı çoklu arızalarının sınıflandırılmasında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışmada “116E302” numaralı “Asenkron Motorlar Arızalarının Tespiti ve Entropi Analizi ile Arıza Şiddetinin Belirlenmesi” başlıklı TÜBİTAK projesi verileri kullanılmıştır. TÜBİTAK Başkanlığına teşekkür ederiz.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] Y. B. Koca ve A. Ünsal, “Asenkron motor arızalarının değerlendirilmesi,” *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 37-46, 2017.
- [2] A. Dineva, A. Mosavi, M. Gyimesi, I. Vajda, N. Nabipour, and T. Rabczuk, “Fault Diagnosis of Rotating Electrical Machines Using Multi-Label Classification,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 23, p. 5086, 2019, doi: 10.3390/app9235086.
- [3] M. Juez-Gil, J. J. Saucedo-Dorantes, Á. Arnaiz-González, C. López-Nozal, C. García-Osorio, and D. Lowe, “Early and extremely early multi-label fault diagnosis in induction motors,” *ISA transactions*, vol. 106, pp. 367-381, 2020
- [4] C. M. Vong, P. K. Wong, and W. F. Ip, “A New Framework of Simultaneous-Fault Diagnosis Using Pairwise Probabilistic Multi-Label Classification for Time-Dependent Patterns,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 8, pp. 3372-3385, 2013
- [5] G. Georgoulas, V. Climente-Alarcon, J. A. Antonino-Daviu, I. P. Tsoumas, C. D. Stylios, A. Arkkio, and G. Nikolakopoulos, “The use of a multilabel classification framework for the detection of broken bars and mixed eccentricity faults based on the start-up transient,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 13, no. 2, pp. 625-634, 2016
- [6] J. Shen, S. Li, F. Jia, H. Zuo, and J. Ma, “A deep multi-label learning framework for the intelligent fault diagnosis of machines,” *IEEE Access*, vol. 8, pp 113557-113566, 2020
- [7] S. Han, S. Zhang, Y. Li, and L. Chen, “The multilabel fault diagnosis model of bearing based on integrated convolutional neural network and gated recurrent unit,” *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*, vol. 15, no. 3, pp 401-413, 2021
- [8] C. Yu, Y. Ning, Y. Qin, W. Su, and X. Zhao, “Multi-label fault diagnosis of rolling bearing based on meta-learning,” *Neural Computing and Applications*, vol. 33, no. 10, pp. 5393-5407. 2021
- [9] F. Li, X. Ma, and Y. Wang, “A multi-label method of state partition and fault diagnosis based on binary relevance algorithm,” in *2020 IEEE 9th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS)*, Liuzhou, China, 2020, pp. 567-572
- [10] P. Gangsar, and R. Tiwari, “Signal based condition monitoring techniques for fault detection and diagnosis of induction motors: A state-of-the-art review,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 144, 106908, 2020

- [11] J. J. Saucedo-Dorantes, M. Delgado-Prieto, J. A. Ortega-Redondo, R. A. Osornio-Rios, and R. D. J. Romero-Troncoso, "Multiple-fault detection methodology based on vibration and current analysis applied to bearings in induction motors and gearboxes on the kinematic chain," *Shock and Vibration*, vol. 2016, no. Special Issue, pp. 1–13, 2016
- [12] A. Alwodai, F. Gu, and A. D. Ball, "A comparison of different techniques for induction motor rotor fault diagnosis," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 364, no. 1, p. 012066, 2012
- [13] M. K. Saini, and A. Aggarwal, "Detection and diagnosis of induction motor bearing faults using multiwavelet transform and naive Bayes classifier," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 28, no. 8, e2577, 2018
- [14] G. Tsoumakas, and I. Katakis, "Multi-label classification: An overview," *International Journal of Data Warehousing and Mining (IJDWM)*, vol. 3, no. 3, pp. 1-13, 2007
- [15] H. Modi, and M. Panchal, "Experimental comparison of different problem transformation methods for multi-label classification using MEKA," *International Journal of Computer Applications*, vol. 59, no. 15, pp. 10-15, 2012
- [16] J. M. Nareshpalsingh, and H. N. Modi, "Multi-label classification methods: A comparative study," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 12, pp. 263-270, 2017.
- [17] G. Tsoumakas, I. Katakis, and I. Vlahavas, "Mining multi-label data" in *Data mining and knowledge discovery handbook*, 2nd ed., Boston, USA : Springer, 2009, pp. 667-685.
- [18] E. A. Cherman, M. C. Monard, and J. Metz, "Multi-label problem transformation methods: a case study," *CLEI Electronic Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 1-10, 2011.
- [19] S. Vogrinčić, and Z. Bosnić, "Ontology-based multi-label classification of economic articles," *Computer Science and Information Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 101-119, 2011
- [20] J. Read, "Scalable multi-label classification," Ph.D. dissertation, Department of Computer Science, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2010.
- [21] A. Santos, A. Canuto, and A. F. Neto, "A comparative analysis of classification methods to multi-label tasks in different application domains," *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, vol. 3, pp. 218-227, 2011.
- [22] R. Cerri, R. R. da Silva, and A. C. P. L. F. de Carvalho, "Comparing methods for multilabel classification of proteins using machine learning techniques", *Brazilian Symposium on Bioinformatics (BSB)*, Porto Alegre, Brazil, 2009, pp. 109-120
- [23] D. Ganda, and R. Buch, "A survey on multi label classification," *Recent Trends in Programming Languages*, vol. 5, no. 1, pp. 19-23, 2018.
- [24] N. Endut, W. A. F. W. Hamzah, I. Ismail, M. K. Yusof, Y. A. Baker, and H. Yusoff, "A Systematic Literature Review on Multi-Label Classification based on Machine Learning Algorithms," *TEM Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 658-666, 2022
- [25] I. Rish, "An empirical study of the naive Bayes classifier," *IJCAI 2001 workshop on empirical methods in artificial intelligence*, vol. 3, no. 22, pp. 41-46, 2001.



- [26] P. Domingos, and M. Pazzani, "Beyond independence: Conditions for the optimality of the simple bayesian classifier," *13th International Conference Machine Learning (ICML)*, Bari, Italy, 1996, pp. 105-112.
- [27] WEKA, *Bilgisayar Programı*, Versiyon 3.8.6, Hamilton – New Zealand: The University of Waikato, 2022.
- [28] S. Ruggieri, "Efficient C4. 5 [classification algorithm]," *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, vol. 14 no. 2, pp. 438-444, 2002
- [29] K. Taunk, S. De, S. Verma, and A. Swetapadma, "A Brief Review of Nearest Neighbor Algorithm for Learning and Classification," *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, Madurai, India, 2019, pp. 1255-1260
- [30] P. Cunningham, and S. J. Delany, "k-Nearest Neighbour Classifiers - A Tutorial," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 54, no. 6, pp. 1-25, 2021
- [31] V. Jakkula, "Tutorial on support vector machine (SVM)," *School of EECS - Washington State University*, vol. 37, no. 2.5, pp. 1-13, 2006.
- [32] L. Nguyen, "Tutorial on support vector machine," *Applied and Computational Mathematics*, vol. 6, no. 4-1, pp. 1-15, 2017
- [33] E. K. Yapp, X. Li, W. F. Lu, and P. S. Tan, "Comparison of base classifiers for multi-label learning," *Neurocomputing*, vol. 394, pp. 51-60, 2020
- [34] R. E. Schapire, and Y. Singer, "BoosTexter: A boosting-based system for text categorization," *Machine Learning*, vol. 39, pp. 135-168, 2000
- [35] S. Godbole, and S. Sarawagi, "Discriminative methods for multi-labeled classification," in *Pacific-Asia conference on knowledge discovery and data mining*, Berlin, Heidelberg, 2004, pp. 22-30
- [36] N. Ghamrawi, and A. McCallum, "Collective multi-label classification," in *Proceedings of the 14th ACM international conference on Information and knowledge management*, Shanghal, China, 2005, pp. 195-200
- [37] Y. Yang, "An evaluation of statistical approaches to text categorization," *Information retrieval*, vol. 1, no. 1-2, pp. 69-90, 1999
- [38] A. Ünsal, "Asenkron Motorlar Arızalarının Tespiti ve Entropi Analizi ile Arıza Şiddetinin Belirlenmesi," Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Türkiye, Rap. 116E302, 2019.
- [39] J. Read, P. Reutemann, B. Pfahringer, and G. Holmes, "Meka: A Multi-label/Multi-target Extension to WEKA," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 17, pp. 1-5, 2016.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Review Article

## A Short Review: The Use and Application of Matrix Resins Formed with Some Plant-Based Oils in Bio-Composite Materials

 Berkay KARAÇOR <sup>a,\*</sup>,  Mustafa ÖZCANLI <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Automotive Engineering, Faculty of Engineering, Çukurova University, Adana, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Automotive Engineering, Faculty of Engineering, Çukurova University, Adana, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: bkaracor@cu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1265905

### ABSTRACT

Increasing environmental problems, waste recycling problems, and non-biodegradable resources have led researchers to different searches for composite materials in recent years. In these studies, interest in bio-composite materials known as green composites has increased significantly due to their potential to replace traditional materials in material production. The creation of biocomposite materials from natural fibers or natural resins instead of synthetic fibers and synthetic resins has made natural resources the focus of researchers. Among these natural resin formations, the use of vegetable-based oils in various applications has started to be seen frequently due to their low cost, biodegradability, and availability. In addition to being recyclable, vegetable-based oils are an important alternative in many sectors, especially in the chemical industry, both environmentally and economically, with a wide variety of chemical conversion possibilities. The desire to explore the versatility of vegetable oil components formed by the complex multi-component mixtures of fatty acids and glycerol ester accelerates the studies in this field even more. In this study, the chemical compositions of vegetable oils hybridized with different resins, the chemical structures of pure vegetable oils, the different varieties among these vegetable oils, and various types of biocomposites produced using vegetable oil-based resins were investigated. In addition, the latest trends in other applications of these bio-composites, especially in automotive, were examined.

**Keywords:** Composites, Bio-composites, Matrix, Vegetable oils

## Kısa Bir İnceleme: Biyo-Kompozit Malzemelerde Bazı Bitki Bazlı Yağlarla Oluşturulan Matris Reçinelerin Kullanımı ve Uygulaması

### ÖZ

Artan çevre sorunları, atık geri dönüşüm sorunu ve biyolojik olarak parçalanamayan kaynaklar son yıllarda araştırmacıları farklı kompozit malzeme arayışlarına yöneltmiştir. Bu çalışmalarda, malzeme üretiminde geleneksel malzemelerin yerini alma potansiyeli nedeniyle yeşil kompozitler olarak bilinen biyo-kompozit malzemelere olan ilgi önemli ölçüde artmıştır. Sentetik lifler ve sentetik reçineler yerine doğal liflerden veya doğal reçinelerden biyokompozit malzemelerin oluşturulması, doğal kaynakları araştırmacıların odak noktası haline getirmiştir. Bu doğal reçine oluşumları arasında bitkisel bazlı yağların düşük maliyeti, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve bulunabilirliği nedeniyle çeşitli uygulamalarda kullanımı sık görülmeye başlanmıştır. Bitkisel bazlı yağlar geri dönüştürülebilir olmasının yanı sıra çok çeşitli kimyasal dönüşüm olanakları ile başta kimya sektörü olmak üzere birçok sektörde hem çevresel hem de ekonomik olarak önemli bir alternatiftir. Yağ asitleri ve gliserol esterinin karmaşık çok bileşenli karışımlarından oluşan bitkisel yağ bileşenlerinin çok yönlülüğünü keşfetme isteği bu alandaki çalışmaları daha da hızlandırmaktadır. Bu çalışmada farklı reçinelerle bitkisel yağların kimyasal bileşimleri, bitkisel yağların kimyasal yapıları, bu bitkisel yağlar arasında hangi



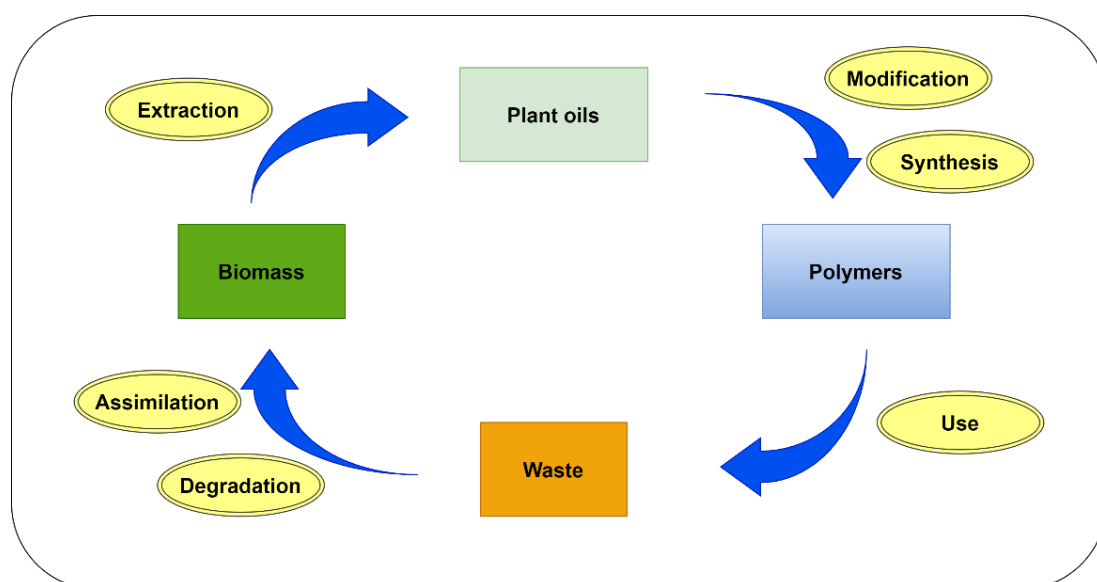
çeşitlerin ön planda olduğu ve bitkisel yağ bazlı reçineler kullanılarak üretilen çeşitli biyokompozit türleri incelenmiştir. Ayrıca bu biyokompozitlerin başta otomotiv olmak üzere diğer uygulamalardaki son trendlerin neler olduğu incelenmiştir.

*Anahtar Kelimeler: Kompozitler, Biyokompozitler, Matris, Bitkisel yağlar*

## **I. INTRODUCTION**

Efforts to ensure proper fuel economy, emissions requirements, and reduce dependence on unnatural energy sources are key drivers in improving vehicle efficiency in the automobile industry. Keyways to improve efficiency are through powertrain improvement and mass reduction by using lighter materials. In an industry where material properties are important, such as the automotive industry, researchers have turned to many different areas to reveal safe, light, and inexpensive materials. In these researches, bio-based composites are one of the prominent areas for future applications in the automotive industry. However, the increased awareness of environmental protection in the world encourages manufacturers and researchers to innovate in the field of composite and bio-composite materials [1],[2]. Composites are heterogeneous material combinations consisting of a load-bearing reinforcing element and a matrix material that holds these elements together. Especially in the automotive, construction, aviation, defense industry, and food sector, it has found an important commercial use area and has recently covered more and more space in the material sector. Estimates in the global composites industry indicate that a product market of 113.2 billion dollars will be formed by 2022 [3]–[5]. Characteristics of polymers in these areas are modified to meet high strength/high modulus requirements through fillers and fibers. Fiber-reinforced polymers emerge as materials that show significant advantages in comparison to other conventional materials in certain properties [6], [7]. Natural fibers are the most preferred for reinforcement elements in composite materials because they are easy to process, light, non-abrasive, cost-effective, and biodegradable. In addition, natural fiber usage as a reinforcement in polymer materials provides appropriate strength and hardness values, as well as weight reduction. These materials, which have significantly superior properties to traditional materials, increase the tendency towards natural fibers in various sectors such as construction, space and aerospace, the defense industry, and automotive [8]–[12]. Commonly used natural fiber types comprise jute, hemp, flax, ramie, kenaf, abaca, sisal, cotton, and kapok. Matrix structure is the main factor in determining the overall durability, shape, environmental tolerance, and surface appearance of composites. In general, matrix structures are also used in polymer materials such as petrochemical-based thermosets and thermoplastics, and bio-based resins [13]–[15]. Although thermoplastics are the most widely used matrix materials with natural fiber polymer composites, unlike thermosets, their remouldability features reveal the possibility of using raw materials effectively in the recycling of materials. Thermosets are a type of polymer that irreversibly transforms from a liquid solution to a solid material after curing by an external effect such as heating or ultraviolet radiation. Examples of thermoplastics are polyethylene, polyvinyl chloride, polypropylene, and polystyrene, while thermosets are polyester, epoxy, vinylester, and polyurethane [16]–[18]. Among the thermosets, epoxy resins are known for their excellent modulus and strength, good chemical resistance, and high dimensional stability, while various green approaches are also being studied to minimize the brittleness of the epoxy, significantly reduce the viscosity and increase the workability [19], [20]. Biocomposites formed by synthetic or natural polymer matrices and natural fibers come to the fore with their cost-effectiveness, not harming the environment, and having characteristics that can compete with synthetic composites. Although biocomposite materials do not currently provide the same performance as synthetic composites, it is stated that they will become more common as new materials and production technologies develop [21]–[23]. The development of partially green composites in which the matrix and reinforcing elements are biodegradable, and wholly green composites, where obtained from renewable resources and encompass reinforcement and matrix materials are biodegradable, are also ongoing [24]. The danger of risk of petroleum sources, the increase in recognition for environmental protection, and the increasing concern for non-biodegradable wastes have accelerated the emergence of bioresins, which are called green resins instead of thermosets and thermoplastics and have begun to

popularize their use. Although bioresin is a resin that depends on vegetable oil and other natural components, it also has the potential to be seen as an important resin for use in various applications, sensitive to the atmosphere, and with minimized toxic effects [25]–[27]. Vegetable oils are an important auxiliary element for polymers, which have emerged as an important alternative to petroleum-based polymers at this point, on the way to becoming renewable materials [28]–[30]. Vegetable oils have increasingly become a focus in both academia and industry, with low environmental impact and sustainability. In addition to its use in foods since the past, vegetable oils have taken their place in many areas such as paint solvents, polishes, and lubricants [31]–[33]. In Figure 1, the life cycle of vegetable oil-based polymers is given.



*Figure 1. Life-cycle of vegetable oil-based polymers [34]*

Natural oils, which are known as the most important group in renewable resources, can be obtained from plants found in nature such as flaxseed, cotton, and sunflower. While 20% share in fat production and global oil is from animal sources, approximately 80% belongs to vegetable oil. Soybean is the leading vegetable oil with 25%, followed by palm oil, rapeseed, and sunflower oil [34], [35]. The composition of vegetable oils from unsaturated triglycerides indicates a promising potential for forming cross-linkable bioresins. The use of chemically modified fatty acids and vegetable oils as sustainable polymer formation and reactive modifiers is increasing. Saturated and unsaturated fatty acids form the main component in triglyceride vegetable oils. Chemical modification and back-polymerization, direct polymerization of double bonds, and polymerization of monomers synthesized using vegetable oil-derived chemicals are preferred in converting vegetable oils into polymeric materials [36]–[38]. While natural triglyceride oils are used for composite materials, polymers, and adhesives, epoxidized triglyceride oil also has the ability to react with an amine or anhydride hardener to produce an epoxy matrix resin [39]. When it comes to epoxy resins, epoxidized vegetable oils are the focus of research as resin components of renewable origin in composite matrices formed by epoxidation of various bio-based oils [40]. Epoxidation is an important and useful exchange modification using double bonds in unsaturated fatty compounds [41]. Epoxidation can be performed especially when the product is used in other chemical transformations, to achieve maximum transformation or to obtain a product in the most economical way [42]. The bond angles between the molecules are approximately 60°, causing the ring to become highly tense and reactive. The presence of these high-energy rings of fatty acid chains leads to crosslinking during the curing of the epoxy resin, and the high amount of epoxy rings opened can cause the cross-linking to be at the same rate and the quality of the obtained material increases at that rate [43]. There are many studies in which the epoxidation of unsaturated fatty acid derivatives such as long chain olefins, soybean oil, and other vegetable oils has been applied in the industrial field [44]. Parada Hernandez et al. [45] investigated the epoxidation process of castor oil using different reagents and aimed to create a green system by

freeing the catalyst system from heavy metals and poisoning effects. The outcomes of the research indicate that the use of epoxidized castor oil can provide a significant increase in the efficiency of the system and that the catalyst system can be used in different areas with an environmentally friendly approach. Esen et al. [46] aimed to create a new thermoset polymer material from renewable resources by reacting epoxidized soybean oil with a different catalyst. They showed that the new polymer they created revealed a new type of liquid resin potential with superior physical properties. Akesson et al. [47] tried to create a composite structure with different fibers without adding a reactive comonomer to acrylate epoxidized soybean oil. As a result of the different mechanical tests of the composite structure they produced, they concluded that a product with superior properties could be fabricated without the addition of reactive comonomers such as styrene. Liu et al. [48] combined four diverse bio-based thermoset resins and two distinct fibers to specify the mechanical and physical characteristics of their composites. The results of the study stated that in addition to maintaining the high bio-based content in the bio-composites they produce, they show superior properties as compared to their traditional bio-based or petroleum-based counterparts. Can et al. [49] aimed to produce rigid thermosetting resins such as vinyl ester and polyester from soybean oil monoglyceride maleates with styrene. As the mechanical properties and swelling behavior of the obtained materials were examined, an environmentally friendly, cost-effective material whose mechanical characteristics are close to polyesters and vinyl ester was obtained. The effect of bioresins on the mechanical and thermomechanical features of the composites prepared in the search [50], in which two bioresins such as epoxy methyl soybean and epoxidized soybean oil and sisal fiber used, were investigated. While the tensile and flexural properties of bioresin-modified epoxy composites gave better results than petroleum-based epoxy composites due to cellulosic fiber-matrix interaction. The morphological results showed that strong interface adhesion provided improved mechanical characteristics in bioresin-modified epoxy composites. Sahoo et al. [51] examined to prepare an environmentally friendly composite material by combining sisal fibers and petroleum-based epoxy with epoxidized linseed and castor oils. Mechanical, morphological, thermal, and dynamic mechanical tests have revealed that a sustainable bio-composite with approximately 60% biological origin content has been developed for automotive and structural applications with a significant shock absorbing ability. Park et al. [52] prepared and thermally tested novel types of epoxy resins using epoxidized castor oil and epoxidized soybean oil. It was seen in the results that epoxidized castor oil resin added to N-benzylpyrazinium hexafluoroantimonate had a lower coefficient of thermal expansion and higher glass transition temperature than epoxidized soybean oil resin. In their study, Tan and Chow [53] examined the cure rate, crosslink density, water absorption capacity, flat strain fracture toughness, and degree of transformation in the resin formed by adding three different curing agents to epoxidized palm oil. They found that as the amount of epoxidized palm oil in the resin increased, higher fracture toughness, more water absorption capacity, and lower crosslink density were observed. Jin and Park [54] compared the thermal and thermomechanical properties of homogeneous resin and the resin they prepared by introducing bioresin from epoxidized castor oil and epoxidized soybean oil and diglycidyl ether of bisphenol A materials. In the analyses, the coefficient of thermal expansion increased linearly with increasing epoxidized vegetable oil-based content, while the thermal stability decreased due to the lower crosslinking density with increasing epoxidized vegetable oil-based content. In the study of [55] on bioresin, epoxidized hemp oil-based bioresin and epoxidized soybean bioresins reinforced with jute fiber were prepared. The biocomposites were compared mechanically, thermally, and physically, both as two different bioresins and with biocomposites formed with synthetic epoxy resin. The mechanical characteristics of both epoxidized hemp oil biocomposites and epoxidized soybean oil biocomposites were adversely affected with bioresin content exceeding 30%. Miyagawa et al. [56], [57] applied thermal, mechanical, and dynamic tests to the new biobased resins they created by treating biobased epoxies including epoxidized linseed oil with anhydride and amine hardener. While there is a decrease in dynamic mechanical properties and glass transition temperature due to the increase in the amount of epoxidized linseed oil, no phase separation was detected because of morphological analysis. This article focuses on the chemical structure, epoxidation, production methods, availability, mechanical and chemical properties, and areas of use of vegetable-based oils most commonly used in the literature in biocomposites. Moreover, it includes the latest studies on products produced for use in different sectors related to biocomposites formed by vegetable oil-based matrices.

## II. PLANT OILS

In general, while there are different types of vegetable oil such as soybean oil, cottonseed oil, canola oil, olive oil, palm oil, corn oil, linseed oil, and rapeseed oil, it has been determined that the four most important vegetable oil types on a global scale are sunflower oil, palm oil, soybean oil, and rapeseed oil. It has been determined that these four oil types cover more than 80% of the sector. Oil production has been increasing year by year in the world since the 1980s, with the increase of mechanization, better farming methods, science, and technological advances. Palm oil production in Malaysia or soybean production in Brazil is of great importance due to the palm tree's adaptation to growing conditions and mechanized agriculture [58], [59]. Vegetable oils are triglyceride structures consisting of three fatty acids linked to glycerol by ester bonds as in Figure 2. The combination of fatty acids shifts depending on growing states and oil source. The diversity of the fatty acids in the triglyceride and their chemical structures have differentiated the usage area of each triglyceride. For instance, because linseed oil contains reactive unsaturated fatty acids, its unsaturated bonds enter a curing reaction with atmospheric oxygen and are preferred as a paint binder. In current studies, three-dimensional networks formed by vegetable oils, defined linear structures, and the use of matrices in biocomposites and hybrid materials are examined [60], [61]. Figure 3 indicates the chain structure of the commonly used fatty acid in polymers.

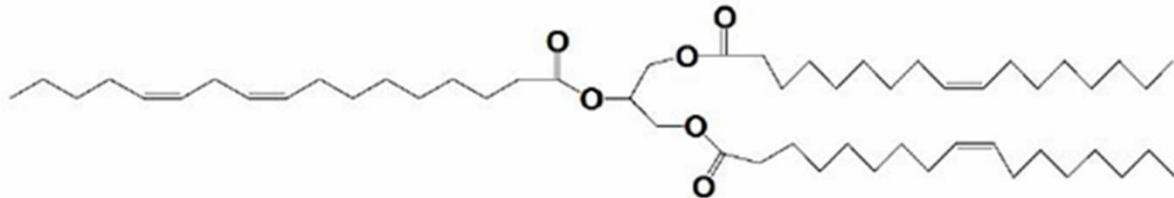


Figure 2. Triglyceride molecule structure[60]

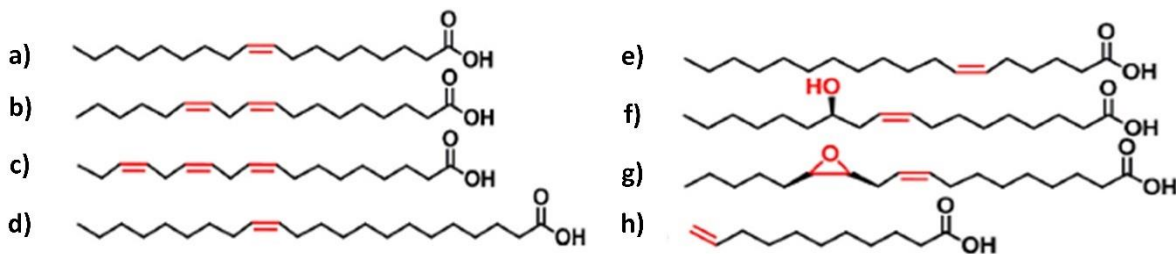
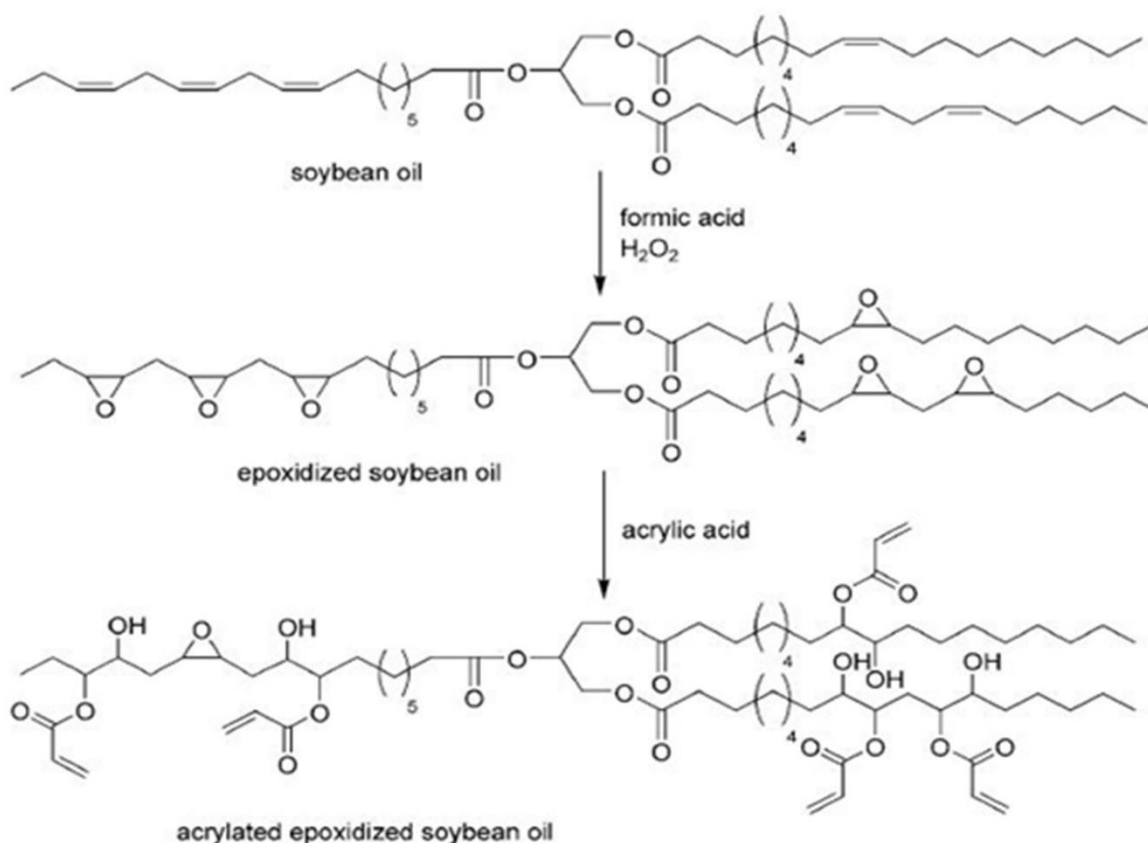


Figure 3. Commonly used fatty acids in polymers; (a) oleic acid, (b) linoleic acid, (c) linolenic acid, (d) erucic acid, (e) petroselinic acid, (f) ricinoleic acid, (g) vernolic acid, (h) 10-undecenoic acid [62]

### A. SOYBEAN OIL

Soybean oil is known to be the most attractive type of vegetable oil because it is very affordable and available in ample supply. Soybean oil is distinguished from other vegetable oils due to its different composition as indicated in Table 1 and an effective reactive diluent or hardener after epoxidation treatment. Resins and plastics are also major classes in industrial soybean oil use. Soybean oil is basically a kind of oil constitute of triglyceride molecules derived from unsaturated acids. While unsaturated acids are required to be functionalized by adding epoxy, carboxyl, or hydroxyl groups for use in the formation of polymeric materials, they have double bonds that are reactive sites for paints and coatings [63]–[65]. By changing the triglyceride structure from soybean oil by epoxidation and acrylation process, acrylated epoxidized soybean oil (AESO) is obtained as in Figure 4.



**Figure 4.** Demonstration of acrylated epoxidized soybean oil synthesis [66]

Thus, soybean oil can be turned into a green composite matrix. Epoxidized soybean oil (ESO) is utilized as a plasticizer in polyvinyl chloride. Mechanical strength in cured ESO can be improved by the addition of fiber reinforcement or nano-reinforcements. However, its low glass transition temperature limits the use of the resin in practical applications. The acrylate epoxidized soybean oil, known for its non-volatile and non-toxic properties, is obtained by the epoxidation process of soybean oil and its reaction with acrylic acid. The low degree of unsaturation and long aliphatic chains cause low crosslinking capacity in acrylate epoxidized soybean oil, while at the same time, this oil is known to be highly viscous at room temperature [67]–[69]. By mixing AESO with some reactive diluents, its workability is improved and thermosets and composites suitable for structural applications can be produced. This situation creates the opportunity to use biopolymers in different properties and applications, making it an important option to use instead of petroleum-based polymers [70]. With alterations that can simplify the polymerization of soybean oil, solid films, and composite materials that can be used in automotive, aviation, military, marine, infrastructure, sports, and industrial areas are revealed [71].

**Table 1.** Compositions of certain plant-based oils [9], [72]

Natural oils	Fatty acids (%)						
	Oleic	Palmitic	Stearic	Linoleic	Linolenic	Arachidic	Gadoleic
Soybean oil	23.4	11.0	4.0	53.3	7.8	0.5	0.37
Palm oil	40.5	42.8	4.2	10.1	-	-	-
Rapeseed oil	56.0	4.0	4.2	26.0	10.0	-	-
Cottonseed oil	18.6	21.6	2.6	54.4	0.7	0.21	0.12
Linseed oil	19.1	5.5	3.5	15.3	56.6	0.5	0.12
Canola oil	64.0	4.3	2.0	18.4	7.2	0.6	1.1

## **B. RAPESEED OIL**

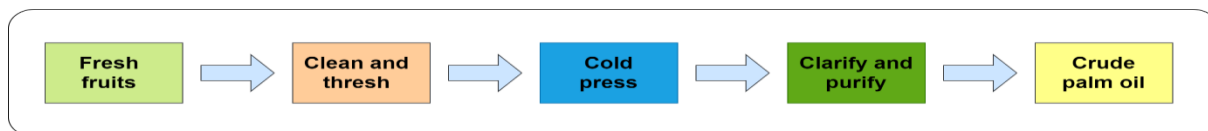
In vegetable oil-based polyols, seed oils consisting of rapeseed, sunflower, and flowering plants of the *Camelina sativa* type are the subject of research as sustainable sources [59]. The formation of rapeseed oil consists of chemically saturated and unsaturated fatty acid triglycerides. Unsaturated C=C bonds cause poor oxidative stability as well as polyunsaturated compounds such as linolenic and linoleic acids [73]. It is stated that the conversion efficiency of unsaturated triglycerides in rapeseed oil is 95% and can be epoxidized enzymatically [74]. For use in industrial applications, rapeseed oil is most abundant in Europe and palm oil in Asian countries, while soybean oil is the most abundant oil in the United States and South America. Classification of vegetable oils according to their iodine values. The iodine value (IV) for oils is known as the amount of iodine (mg) reacting with the double bonds in 100 grams of oil and is the critical point in understanding the degree of unsaturation of vegetable oil. Those with  $IV > 130$  are defined as drying oils, those with  $100 < IV < 130$  as semi-drying oils, and those with  $IV < 100$  as non-drying oils. Soybean and rapeseed oils are known as semi-drying oils, and fish oils and linseed are drying oils [66], [75]. Fatty acid esters of rapeseed oil may find use as a solvent for printing ink, replacing conventional organic solvents, or in some detergent applications such as car shampoos. It is also stated that epoxidized rapeseed can be used as a biodegradable lubricant by tribo-polymerization on the friction surface, revealing a polyether material [59], [76].

## **C. CANOLA OIL**

In canola oil, Canada appears to be the second largest oil producer and largest exporter country in the world. The fact that canola oil consists of approximately 60% oleic acid makes it the most important choice for epoxidation. In terms of the amount of oleic acid it has, canola oil differs in terms of fatty acid profile compared to the polyunsaturated linoleic acid content (53%) in soybean oil. Another notable distinction between these oils is that canola oil (6%) has a lower content of saturated fatty acids than soybean oil (15%). Therefore, the general characteristic in canola oil-based resins is attributed to both unsaturation and saturation levels. This fatty acid form of canola oil explains why it is a suitable choice for epoxy resins, as saturated fatty acids cannot be epoxidized and therefore cannot accompany the formation of polymers. It is stated that epoxidized canola oil (ECO) can be used as a raw material for the chemical industry and also as a promising source of biological lubricating oil [77]–[79]. While maleinized acrylate epoxidized canola oil and acrylated epoxidized canola oil-based resins are synthesized with various resins in the industry, the acrylated epoxidized canola oil-based resin shows a superior character in resin impregnation ratio [59].

## **D. PALM OIL**

Palm oil is of particular importance in the Asia-Pacific region, with Malaysia and Indonesia being the main producers. In addition to these countries, Thailand can also produce large amounts of palm oil for both domestic consumption and export. However, palm trees provide an economic advantage at affordable costs, with the highest vegetable oil yield compared to other sources such as castor oil and coconut, with 3.8 tons per hectare per year [80], [81]. Figure 5 demonstrates the processing steps of crude palm oil. Palm oil biomass has come to the fore recently, as it is readily available in some tropical countries and attracts great interest in the composite industries [82]. Palm oil can be used as a good reinforcement in polyester resins due to its porous surface morphology, toughness, and hardness, and better mechanical bonding in composite production [59]. In addition to the non-food sector, the usage area of palm oil products is increasing in the fabrication of pharmaceutical products, soap and detergent production, and cosmetic products. Palm oil holds promising potential as a renewable raw material that can be used as a substitute for industrial chemicals. It is stated that most of the palm oil-based products in coatings that can be cured with ultraviolet rays are obtained from epoxidized palm oil [83], [84].



*Figure 5. Palm oil production steps [59]*

## **E. LINSEED OIL**

Natural oils from products obtained from agricultural sources can form useful raw materials for polymer synthesis. Generally, unsaturated fatty acids such as linseed oil are preferred in covering and printing inks, and epoxidized oils are preferred as supplements in thermoplastics to enhance flexibility and stability [85], [86]. Its unique structure in non-edible oils makes flaxseed oil stand out in applications such as reducing the natural fragility effect of epoxy. Linseed oil is known as drying oil with its high iodine values. It indicates that the higher the iodine value in the oil, the more double bonds it has in the oil. Thus, flaxseed oil has a good chemical reaction with its many double C bonds. This, in turn, leads researchers to explore higher performance bio-based or sustainable polymers with highly unsaturated or reactive regions [87]–[89]. In addition, many researchers have examined the drying properties of linseed oil in commercial applications such as varnishes, oil-based paints, linoleum, paste, and so on [90]. Epoxidized linseed oil is also widely chosen as a plasticizer in epoxy resins, Polyvinyl chlorides for flexibility, and coatings and adhesive applications [91].

## **F. COTTONSEED OIL**

Cotton seeds are not only preferred as animal feed but are also used as edible oil and lubricant. India, which has the second largest share in cotton seed production in the world, is also known for being an agricultural country. When the situation of cottonseed oil in India is examined in this way, it is a cost-effective and useful oil type during resin production in surface coating applications [92], [93]. The rate of unsaturated (65-75%) fatty acids to saturated (26-35%) fatty acids in cottonseed oil is 2:1. Unsaturated fatty acids contain 18-24% monounsaturated and 42-52% polyunsaturated fats. In addition, the existence of double bonds and ester bonds makes cottonseed oil a potential crude material for the manufacturing of vegetable oil-based resins. This high degree of unsaturation of cottonseed oil creates different solutions in terms of chemical conversion in producing polyurethanes with various characteristics [94], [95]. Although cotton crops are primarily cultivated for cotton fiber production, they are also the sixth largest source of vegetable oil in the world. A small amount of the oil produced is used in the formulation of cosmetics and other industrial uses, in the production of pesticides, explosives, and rubber [96]. Cottonseed oil emerges as a by-product of high cotton plant production in the cotton industry and is also used for some applications in the food industry. However, new additional uses are being developed for the production of high-volume cottonseed oil [82].

## **III. APPLICATIONS OF PLANT OILS IN DIFFERENT INDUSTRIES**

Researchers have turned to biodegradable biomaterial applications consisting of bioderived components, with low energy consumption, due to the expensiveness of the materials that make up most traditional composite material systems, and the low probability of the materials that make up the synthetic composites dissolving and decomposing again. Bio-composites can be used with or replace petroleum-based composite materials in a variety of applications, thus opening beneficial possibilities for production and consumer as well as environmental and agricultural aspects. As the number of raw materials obtained from renewable resources increases, the possibility of integrating bio-composites into the natural cycle increases. Environmental awareness on a global basis, laws, and agreements put forward by governments will lead to more environmentally friendly bio-based materials, especially in the automotive sector [97], [98]. In the automotive industry, it is aimed to use of biocomposites in

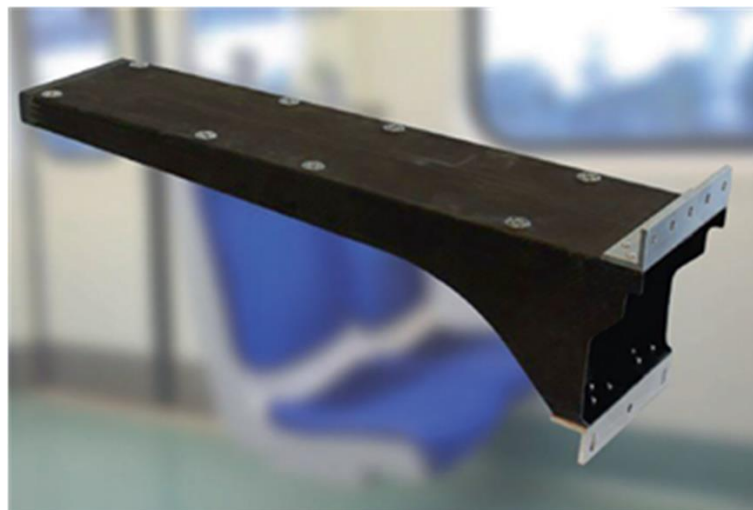
order to provide better insulation against sound and heat in the door panel, ceiling panel, and panels separating the engine and passenger compartments, to reduce costs and to ensure sustainability, and biocomposite integrated studies are tried [99]. In addition, the good damping characteristics found in soybean oil biopolymers make them widely used in automobile, aircraft, and machinery industries as damping materials to reduce unwanted noise, and prevent vibration fatigue [100]. In a research conducted by Ford Motor, composites were developed using natural fibers, soy resin, sisal, and hemp in the production of exterior body panels, and other automotive companies such as Toyota, Mercedes Benz, and General Motors have been developing bio-based composites in recent years [101]. Moreover, it is also stated that with the development of bio-based resins such as bio-based polyols and biodegradable polyesters for automotive designers, completely bio-based composite options will emerge [102]. Oztemur et al. [103] aimed to design shock absorbing panels using denim waste and bio resin. It was revealed that as the amount of AESO mixture in the epoxy resin they used with the reinforcement material increased, the composite material showed a more ductile feature and the impact absorption capacity of the composite material increased. Considering the results, it has been observed that both environmental and especially AESO-added samples can serve as shock absorbing panels in different usage areas such as automotive and construction, due to their impact resistance features, with the contribution of the material with bio-resin content to solid waste management. Flanigan et al. [104] used hemp fiber as natural fiber and soy-based vinyl ester and vinyl ester resin as resin in their study. They concluded that by using soy polyol, flexible, polyurethane foams with soy content can be created fulfilling the material requirements for automotive interior applications. The foam compositions created meet the required norms of indoor applications, such as flammability, density, and odor. Pin et al. [105] searched the use of biobased materials depending on epoxidized linseed oil in electronic applications by improving the mechanical properties. The side reaction of the polymerization was strengthened by selecting the appropriate hardener with the cross-linking carried out. In the results of the study, improved mechanical characteristics were found in the materials with crosslinking. Thus, a very high glass transition temperature was obtained and the possibility of using them in industrial applications was revealed. Haq et al. [21] aimed to produce biocomposites with unsaturated polyester and epoxidized soybean oil, which are both environmentally friendly and with enhanced mechanical features. However, they found that hygro-thermal and hardness characteristics worsened compared to materials formed with the polyester resin used without epoxidized soybean oil. They tried to achieve optimum resin and fiber compatibility by reinforcing this deficiency with nano clays at a certain rate. As a result of the study, it has been stated that sustainable bio-based materials with improved versatile characteristics can be used in structural application areas such as transportation and housing. In research on bio-epoxies, it was found that remarkable tensile and impact strengths could be obtained with composites containing four-layer denim fabric with bio-epoxy and AESO content. The products produced as a result of the study are automotive interiors, construction, entertainment, furniture, etc. has the opportunity to be used in application areas [106]. The use of bio-based polyurethane foams in automotive applications is given in Table 2.

*Table 2. Applications of bio-based materials in the automotive industry [107]*

<b>Materials</b>	<b>Type</b>	<b>Applications</b>
Soybean oil	Flexible foams	Seatbacks and seat-cushion, soy-foam headliner, arm and headrest
	Flexible and rigid foams	Instrument panels, impact-absorbing foams, headliners, arm and headrests, noise, vibration, and harshness/under carpet foams, consoles and door panels and automobile seats, bumper ribbon, and body panels
Castor oil	Flexible and rigid foams	Arm and headrests and automobile seats
Sunflower oil or castor oil	Flexible and rigid foams	Automobile seats
	Flexible foams	Feasible for automobile seats



Developed oil-based plastics have been widely used in applications such as railway infrastructure, bridges and highway components, offshore equipment, pipes in marine structures, chipboard in the construction industry, ceilings, and processed timber, apart from the automotive field [108]. In their study, Hong and Wool used keratin fibers as a reinforcing element compatible with AESO resin. They stated that the biocomposites they created using keratin and AESO are low-k dielectric materials that can be applied in modern high-speed microelectronics [109]. Miao et al. created epoxidized soybean oil-based paper composites using poly-epoxidized soybean oil. They stated that with this biocomposite material they created, vegetable oil-based water-resistant composites can be used in the packaging material sector [110]. In their study, Kumar et al. examined the use of AESO resin in paper coating applications. They presented that the AESO resin coatings they created have high thermal stability, that their mechanical properties give better results than uncoated papers, and that they will have wide application possibilities in food and industrial packaging materials with their high transparency characteristics [111]. O'Donnell et al. [112] create re-composite products based on vegetable oil using natural fiber supplements of hemp, flax, cellulose, and pulp. It has been understood that composites, which have become cost-effective with the use of natural fiber and plant-based resin, have the necessary mechanical durability and characteristics that can be used in automotive parts, construction materials, and furniture applications. In the field of agricultural machinery, there are studies of agricultural machinery using a new bioresin-based side panel. There are studies to develop high-strength composite panels and cabin roofs with soybean and corn-based polymer content. With the improvements, it is stated that corn/soybean-containing composites provide flexibility, durability, and corrosion resistance to the panels together with 25% lightness compared to the standard used steel [113]. In the study of a company producing composite materials, a bio-based prepreg train seat arm support production study was carried out as seen in Figure 6. The seat support is manufactured using 100% biological polyfurfuryl alcohol resin with high-strength carbon fiber reinforcement. Owing to these newly designed seat supports, easier cleaning and increased space in the luggage compartment, reduced energy consumption, and lower axle loads can be achieved with the composite structure with reduced weight [114].



**Figure 6.** Train passenger seat support made of fire resistant bio-resin prepreg [114]

In the study of Jiang et al. [115], they added Mycelium, the vegetable part of a mushroom, to biocomposite materials, allowing it to act as a natural adhesive. They aimed to create an advantage over traditional synthetic composites with affordable cost, biodegradability, low density, and reduced energy consumption in the biocomposites they created using natural fibers such as flax and jute. As a result of the study, they stated that the open sandals they made could be made with different natural fibers and bioresins, and the design diversity would increase by changing the shape of the mold. In another study, in which mycelium was used to create biocomposites, jute fabrics were cut according to the shoe mold, and different production methods were compared. It was concluded that die cutting

method, dip and soak coating, curtain coating, microwave drying, and match mold forming is the optimal choice for the manufacturing line [116]. In another study, Dweib et al. [117] wanted to fabricate a bio-based composite roof panel using cellulose fiber and acrylate epoxidized soybean oil. The outcomes of the search indicate that composite products with good mechanical performance, suitable for use in roof structures with appropriate operational and material costs, can be produced. It is seen that the applications of vegetable oil-based polymeric materials are not limited to industrial areas, but also find wide use in various biomedical applications such as pharmacological patches, drug carrier scaffolds for tissue engineering, surgical sealants, and adhesives, wound healing devices. Renewable oils have also been proposed as composite matrices since the innovative studies started in the last years of the 20th century and it is stated that this trend continues as a developing trend with promising results [62].

## **IV. CONCLUSION**

This article contains a brief review of the research on the chemical structures of plant oils in the matrix structure of biocomposites formed based on vegetable oil and the applications of these vegetable oils in different sectors. In the study, it has been seen that vegetable oil-based biocomposites will have an increasing use rate in future applications in many industrial sectors, including the automotive sector, which has a leading role in technological and industrial developments. Considering the environmental and energy problems in the world, it will be inevitable to change many traditional production materials as potential materials of plant-based composite products, which can be obtained from nature, can blend harmoniously with many materials, and contribute to the environmental cycle. The use of plant-based biocomposites will reduce the dependence on petroleum-based resins and reduce costs in many sectors, as well as increase the sustainability and productivity of these industries and provide added value. Considering that vegetable oil-based polymers were created in the recent past to partially replace synthetic polymers in providing green materials to industries, the trend towards green composites under the current circumstances will increase even more in the coming years, with good compatibility and overall performance in composite manufacturing.

## **V. REFERENCES**

- [1] Ş. Yıldızhan, A. Çalık, M. Özcanlı, and H. Serin, "Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications," *European Mechanical Science*, vol. 2, no. 3, pp. 83–91, Sep. 2018.
- [2] A. I. Taub, "Automotive materials: Technology trends and challenges in the 21st century," *MRS Bulletin*, vol. 31, no. 4, pp. 336–343, Apr. 2006.
- [3] L. Jiang, "A new manufacturing process for biocomposite sandwich parts using a myceliated core, natural reinforcement and infused bioresin," Ph.D. dissertation, Department of Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, USA, 2015.
- [4] R. Almaguer, A. Clark, and N. Odea. (2017, June) *Growth opportunities in the global composites industry (1st ed.)* [Online] . Available:[https://www.innovationintextiles.com/uploads/7623/Growth\\_Opportunities\\_in\\_the\\_Global\\_Composites\\_Industry\\_reprot\\_features.pdf](https://www.innovationintextiles.com/uploads/7623/Growth_Opportunities_in_the_Global_Composites_Industry_reprot_features.pdf), 2017.
- [5] R. Lalit, P. Mayank, and K. Ankur, "Natural fibers and biopolymers characterization: A future potential composite material," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 68, no. 1, pp. 33–50, Apr. 2018.

- [6] D. N. Saheb and J. P. Jog, "Natural fiber polymer composites: A review," *Advances in Polymer Technology*, vol. 18, no. 4, pp. 351–363, 1999.
- [7] M. F. Rosa, B. Chiou, E. S. Medeiros, D. F. Wood, L. H. C. Mattoso, W. J. Orts, and S. H. Imam, "Biodegradable composites based on starch/EVOH/glycerol blends and coconut fibers," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 111, no. 2, pp. 612–618, 2009.
- [8] N. P. G. Suardana, I. P. Lokantara, and J. K. Lim, "Influence of water absorption on mechanical properties of coconut coir fiber/poly-lactic acid biocomposites," *Materials Physics and Mechanics*, vol. 12, no. 2, pp. 113–125, 2011.
- [9] S. Özkür, H. Sezgin, and İ. Yalçın Eniş, "Artan biyo - reçine oranının jüt takviyeli epoksi kompozitlerin darbe davranışına etkisi," in *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi-UÇTEK'2019*, pp. 430–435, 2019.
- [10] O. Faruk, A. K. Bledzki, H. P. Fink, and M. Sain, "Progress report on natural fiber reinforced composites," *Macromolecular Materials Engineering*, vol. 299, no. 1, pp. 9–26, Jan. 2014.
- [11] A. K. Bledzki, S. Reihmane, and J. Gassan, "Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 59, no. 8, pp. 1329–1336, Feb. 1996.
- [12] G. Oner, "Doğal atıkların kompozit malzeme olarak kullanım olanakları," *Mühendislikte Güncel Araştırmalar*, 1. baskı. Ankara, Türkiye: Gece Kitaplığı, 2022, böl.9, ss. 131–144.
- [13] O. Faruk, A. K. Bledzki, H. P. Fink, and M. Sain, "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010," *Progress in Polymer Science*, vol. 37, no. 11, pp. 1552–1596, Nov. 2012.
- [14] F. Sarasini, J. Tirillò, L. Ferrante, M. Valente, T. Valente, L. Lampani, P. Gaudenzi, S. Cioffi, S. Iannace, L. Sorrentino, "Drop-weight impact behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites," *Composites Part B Engineering*, vol. 59, pp. 204–220, Mar. 2014.
- [15] A. Hernandez-Estrada, J. Müssig, and M. Hughes, "The impact of fibre processing on the mechanical properties of epoxy matrix composites and wood-based particleboard reinforced with hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre," *Journal of Materials Science*, vol. 57, pp. 1738–1754, 2022.
- [16] R. Auvergne, S. Caillol, G. David, B. Boutevin, and J. P. Pascault, "Biobased thermosetting epoxy: Present and future," *Chemical Reviews*, vol. 114, no. 2, pp. 1082–1115, Jan. 2014.
- [17] T. Väisänen, O. Das, and L. Tomppo, "A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites," *Journal of Cleaner Production*, vol. 149, pp. 582–596, Apr. 2017.
- [18] S. Bahar Basturk and S. Celik Erbas, "Mechanical and thermo-mechanical properties of nanoclay/epoxy composites: Synergistic effects of silanization and surfactant application," *Materials Research Express*, vol. 5, no.9, pp. 095017, 2018.
- [19] S. K. Sahoo, V. Khandelwal, and G. Manik, "Influence of epoxidized linseed oil and sisal fibers on structure-property relationship of epoxy biocomposite," *Polymer Composites*, vol. 39, no. S4, pp. E2595–E2605, Dec. 2018.
- [20] M. B. A. Bakar, M. N. Masri, M. H. M. Amini, M. Z. M. Thirmizir, and M. S. Salim, "Mechanical, thermal and morphological properties of epoxy resin toughened with epoxidized soybean oil," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2030, p. 020277, 2018.

- [21] M. Haq, R. Burgueño, A. K. Mohanty, and M. Misra, “Hybrid bio-based composites from blends of unsaturated polyester and soybean oil reinforced with nanoclay and natural fibers,” *Composites Science and Technology*, vol. 68, no. 15–16, pp. 3344–3351, Dec. 2008.
- [22] L. Jianga, D. F. Walczyk, and G. McIntyre, “Vaccum infusion of mycelium-bound biocomposite preforms with natural resins,” in *CAMX – The Composites and Advanced Materials Expo*, no. November, pp.13-16, 2016.
- [23] K. Senthilkumar, M. Chandrasekar, O. Y. Alothman, H. Fouad, M. Jawaid, and M. A. Azeem, “Flexural, impact and dynamic mechanical analysis of hybrid composites: Olive tree leaves powder/ pineapple leaf fibre/epoxy matrix,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol.21, pp. 4241-4252, November-December, 2022.
- [24] N. Reddy and Y. Yang, “Biocomposites developed using water-plasticized wheat gluten as matrix and jute fibers as reinforcement,” *Polymer International*, vol. 60, no. 4, pp. 711–716, Apr. 2011.
- [25] Anonymous. (2012, Dec.) *Biocomposites (1 st ed.)* [Online]. Available: <http://yudysi.lecture.ub.ac.id/files/2012/12/MaterialBaru09thBiocomposites.pdf>. 2012.
- [26] S. Grishchuk and J. Karger-Kocsis, “Hybrid thermosets from vinyl ester resin and acrylated epoxidized soybean oil (AESO),” *Express Polymer Letters*, vol. 5, no. 1, pp. 2–11, 2011.
- [27] N. Boquillon, “Use of an epoxidized oil-based resin as matrix in vegetable fibers-reinforced composites,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 101, no. 6, pp. 4037–4043, Sep. 2006.
- [28] J. D. Espinoza-Perez, B. A. Nerenz, D. M. Haagenson, Z. Chen, C. A. Ulven, and D. P. Wiesenborn, “Comparison of curing agents for epoxidized vegetable oils applied to composites,” *Polymer Composites*, vol. 32, no. 11, pp. 1806–1816, Nov. 2011.
- [29] L. Montero de Espinosa and M. A. R. Meier, “Plant oils: The perfect renewable resource for polymer science?!,” *European Polymer Journal*, vol. 47, no. 5, pp. 837–852, May 2011.
- [30] J.-M. Raquez, M. Deléglise, M.-F. Lacrampe, and P. Krawczak, “Thermosetting (bio)materials derived from renewable resources: A critical review,” *Progress in Polymer Science*, vol. 35, no. 4, pp. 487–509, Apr. 2010.
- [31] M. A. Mosiewicki and M. I. Aranguren, “A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors,” *European Polymer Journal*, vol. 49, no. 6, pp. 1243–1256, Jun. 2013.
- [32] A. Gandini, “Polymers from renewable resources: A challenge for the future of macromolecular materials,” *Macromolecules*, vol. 41, no. 24, pp. 9491–9504, Dec. 2008.
- [33] M. Mercangöz, S. Küsefoğlu, U. Akman, and Ö. Hortaçsu, “Polymerization of soybean oil via permanganate oxidation with sub/supercritical CO<sub>2</sub>,” *Chemical Engineering and Processing*, vol. 43, no. 8, pp. 1015–1027, Aug. 2004.
- [34] F. Seniha Güner, Y. Yağcı, and A. Tuncer Erciyes, “Polymers from triglyceride oils,” *Progress in Polymer Science*, vol. 31, no. 7, pp. 633–670, Jul. 2006.
- [35] M. A. R. Meier, J. O. Metzger, and U. S. Schubert, “Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science,” *Chemical Society Reviews*, vol. 36, no. 11, p. 1788, 2007.

- [36] S. K. Sahoo, S. Mohanty, and S. K. Nayak, "Mechanical, dynamic mechanical, and interfacial properties of sisal fiber-reinforced composite with epoxidized soybean oil-based epoxy matrix," *Polymer Composites*, vol. 39, no. 6, pp. 2065–2072, Jun. 2018.
- [37] J. C. Ronda, G. Lligadas, M. Galià, and V. Cádiz, "A renewable approach to thermosetting resins," *Reactive & Functional Polymers*, vol. 73, no. 2, pp. 381–395, Feb. 2013.
- [38] R. A. Holser, "Transesterification of epoxidized soybean oil to prepare epoxy methyl esters," *Industrial Crops and Products*, vol. 27, no. 1, pp. 130–132, Jan. 2008.
- [39] L. Marrot, A. Bourmaud, P. Bono, and C. Baley, "Multi-scale study of the adhesion between flax fibers and biobased thermoset matrices," *Materials Design*, vol. 62, pp. 47–56, Oct. 2014.
- [40] P. Niedermann, G. Szebényi, and A. Toldy, "Effect of epoxidized soybean oil on mechanical properties of woven jute fabric reinforced aromatic and aliphatic epoxy resin composites," *Polymer Composites*, vol. 38, no. 5, pp. 884–892, May 2017.
- [41] X. Pan, P. Sengupta, and D. C. Webster, "Novel biobased epoxy compounds: Epoxidized sucrose esters of fatty acids," *Green Chemistry*, vol. 13, no. 4, p. 965, 2011.
- [42] Z. S. Petrović, A. Zlatanić, C. C. Lava, and S. Sinadinović-Fišer, "Epoxidation of soybean oil in toluene with peroxyacetic and peroxyformic acids— kinetics and side reactions," *European Journal of Lipid Science Technology*, vol. 104, no. 5, pp. 293–299, May 2002.
- [43] H. Patil and J. Waghmare, "Catalyst for epoxidation of oils: a review," *Discovery*, vol. 3, no. 7, pp. 10–14, 2013.
- [44] S. Dinda, A. V. Patwardhan, V. V. Goud, and N. C. Pradhan, "Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 9, pp. 3737–3744, Jun. 2008.
- [45] N. L. Parada Hernandez, A. J. Bonon, J. O. Bahú, M. I. R. Barbosa, M. R. Wolf Maciel, and R. M. Filho, "Epoxy monomers obtained from castor oil using a toxicity-free catalytic system," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 426, pp. 550–556, Jan. 2017.
- [46] H. Esen, S. Küsefoğlu, and R. Wool, "Photolytic and free-radical polymerization of monomethyl maleate esters of epoxidized plant oil triglycerides," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 103, no. 1, pp. 626–633, Jan. 2007.
- [47] D. Åkesson, M. Skrifvars, and P. Walkenström, "Preparation of thermoset composites from natural fibres and acrylate modified soybean oil resins," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 114, no. 4, pp. 2502–2508, Nov. 2009.
- [48] W. Liu, T. Chen, M. Fei, R. Qiu, D. Yu, T. Fu, J. Qiu, "Properties of natural fiber-reinforced biobased thermoset biocomposites: Effects of fiber type and resin composition," *Composites Part B Engineering*, vol. 171, no. March, pp. 87–95, Aug. 2019.
- [49] E. Can, S. Küsefoğlu, and R. P. Wool, "Rigid, thermosetting liquid molding resins from renewable resources. I. Synthesis and polymerization of soy oil monoglyceride maleates," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 81, no. 1, pp. 69–77, Jul. 2001.
- [50] S. K. Sahoo, S. Mohanty, and S. K. Nayak, "Study on the effect of woven sisal fiber mat on mechanical and viscoelastic properties of petroleum based epoxy and bioresin modified toughened epoxy network," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 132, no. 43, p. 42699, Nov. 2015.

- [51] S. K. Sahoo, V. Khandelwal, and G. Manik, "Sisal fibers reinforced epoxidized nonedible oils based epoxy green composites and its potential applications," in *Green Composites, Textile Science and Clothing Technology*, 1st ed., Gateway East, Singapore: Springer, 2019, pp. 73–102.
- [52] S.-J. Park, F.-L. Jin, and J.-R. Lee, "Synthesis and thermal properties of epoxidized vegetable oil," *Macromolecular Rapid Communication*, vol. 25, no. 6, pp. 724–727, Mar. 2004.
- [53] S. G. Tan and W. S. Chow, "Thermal properties, fracture toughness and water absorption of epoxy-palm oil blends," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 49, no. 9, pp. 900–907, Jun. 2010.
- [54] F.-L. Jin and S.-J. Park, "Thermomechanical behavior of epoxy resins modified with epoxidized vegetable oils," *Polymer International*, vol. 57, no. 4, pp. 577–583, Apr. 2008.
- [55] N. W. Manthey, F. Cardona, G. Francucci, and T. Aravinthan, "Thermo-mechanical properties of epoxidized hemp oil-based bioresins and biocomposites," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 32, no. 19, pp. 1444–1456, Oct. 2013.
- [56] H. Miyagawa, A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, "Thermo-physical and impact properties of epoxy containing epoxidized linseed oil, 1," *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 289, no. 7, pp. 629–635, Jul. 2004.
- [57] H. Miyagawa, A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, "Thermo-physical and impact properties of epoxy containing epoxidized linseed oil, 2," *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 289, no. 7, pp. 636–641, Jul. 2004.
- [58] S. G. Tan and W. S. Chow, "Biobased epoxidized vegetable oils and its greener epoxy blends: a review," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 49, no. 15, pp. 1581–1590, Nov. 2010.
- [59] S. A. Madbouly, C. Zhang, and M. R. Kessler, *Bio-Based Plant Oil Polymers and Composites*, 1st ed., PA, USA: Plastics Design Library, 2016, pp.11-15.
- [60] S. K. Ramamoorthy, "Properties and performance of regenerated cellulose thermoset biocomposites," PhD dissertations, Department of Polymer and Composite Technology, University of Boras, Sweden, 2015.
- [61] M. S. Altuncu, "Synthesis of networks and interpenetrating networks of maleated castor oil and epoxy resins," MSc Thesis, Department of Chemistry, Boğaziçi University, İstanbul, 2015.
- [62] G. Lligadas, J. C. Ronda, M. Galià, and V. Cádiz, "Renewable polymeric materials from vegetable oils: A perspective," *Materials Today*, vol. 16, no. 9, pp. 337–343, 2013.
- [63] J. Zhu, K. Chandrashekhara, V. Flanigan, and S. Kapila, "Curing and mechanical characterization of a soy-based epoxy resin system," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 91, no. 6, pp. 3513–3518, Mar. 2004.
- [64] A. E. Gerbase, C. L. Petzhold, and A. P. O. Costa, "Dynamic mechanical and thermal behavior of thermotropic polyesters based on," *JAOCS*, vol. 79, no. 8, pp. 797–802, 2002.
- [65] S. K. Sahoo, S. Mohanty, and S. K. Nayak, "Toughened bio-based epoxy blend network modified with transesterified epoxidized soybean oil: synthesis and characterization," *RSC Advances*, vol. 5, no. 18, pp. 13674–13691, 2015.
- [66] Y. Lu and R. C. Larock, "Novel polymeric materials from vegetable oils and vinyl monomers: Preparation, properties, and applications," *ChemSusChem*, vol. 2, no. 2, pp. 136–147, Feb. 2009.

- [67] T. S. Lee, H. Y. Choi, H. N. Choi, K.-Y. Lee, S.-H. Kim, S. G. Lee and D. K. Yong, "Effect of surface treatment of ramie fiber on the interfacial adhesion of ramie/acetylated epoxidized soybean oil (AESO) green composite," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 27, no. 12, pp. 1335–1347, Jun. 2013.
- [68] S. Ozkur, H. Sezgin, E. Akay, and I. Yalcin-Enis, "Hybrid bio-based composites from blends of epoxy and soybean oil resins reinforced with jute woven fabrics," *Materials Research Express*, vol. 7, no. 1, p. 015335, Jan. 2020.
- [69] R. Wang and T. P. Schuman, "Vegetable oil-derived epoxy monomers and polymer blends: A comparative study with review," *Express Polymer Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 272–292, 2013.
- [70] Y. Xia and R. C. Larock, "Vegetable oil-based polymeric materials: synthesis, properties, and applications," *Green Chemistry*, vol. 12, no. 11, p. 1893, 2010.
- [71] L. Fu, L. Yang, C. Dai, C. Zhao, and L. Ma, "Thermal and mechanical properties of acrylated epoxidized-soybean oil-based thermosets," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 117, no. 4, pp. 2220–2225, Aug. 2010.
- [72] J. R. Kim and S. Sharma, "The development and comparison of bio-thermoset plastics from epoxidized plant oils," *Industrial Crops and Products*, vol. 36, no. 1, pp. 485–499, Mar. 2012.
- [73] X. Wu, X. Zhang, S. Yang, H. Chen, and D. Wang, "The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant," *JAACS*, vol. 77, no. 5, pp. 561–563, 2000.
- [74] M. R. Klaas and S. Warwel, "Chemoenzymatic epoxidation of unsaturated fatty acid esters and plant oils," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 73, no. 11, pp. 1453–1457, 1996.
- [75] Z. S. Petrović, "Polymers from biological oils," *Contemporary Materials*, vol. 1, no. 1, pp. 39–50, Jul. 2010.
- [76] E. Uosukainen, Y. Linko, M. Lämsä, T. Tervakangas, and P. Linko, "Transesterification of trimethylolpropane and rapeseed oil methyl ester," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 75, no. 11, pp. 1557–1563, 1998.
- [77] R. Mungroo, N. C. Pradhan, V. V. Goud, and A. K. Dalai, "Epoxidation of canola oil with hydrogen peroxide catalyzed by acidic ion exchange resin," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 85, no. 9, pp. 887–896, Sep. 2008.
- [78] J. D. Espinoza Pérez, D. M. Haagenson, S. W. Pryor, C. A. Ulven, and D. P. Wiesenborn, "Production and characterization of epoxidized canola oil," *Transactions of the ASABE*, vol. 52, no. 4, pp. 1289–1297, 2009.
- [79] M. Fahimian, D. Adhikari, J. Raghavan, and R. P. Wool, "Biocomposites from canola oil based resins and hemp and flax fibers," *Thirteen European Conference Composite Materials (ECCM 13)*, 2008, pp. 1–10.
- [80] K. S. Chian and L. H. Gan, "Development of a rigid polyurethane foam from palm oil," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 68, no. 3, pp. 509–515, Apr. 1998.
- [81] S. Chuayjuljit, T. Sangpakdee, and O. Saravari "Processing and properties of palm oil-based rigid polyurethane foam," *Journal of Metals, Materials and Minerals*, vol. 17, no. 1, pp. 17–23, 2007.

- [82] R. E. M. Lutton, S. E. Taylor, and M. Sonebi, "Commercial potential of bioresins and their success in thermosetting composites: an overview," *2nd International Conference on Bio-based Building Materials & 1st Conference on ECOlogical valorisation of GRANular and FIBrous materials*, Clermont-Ferrand, France, no. June, 2017, pp. 1–10.
- [83] M. Y. Cheong, T. Lye Ooi, S. Ahmad, W. M. Z. W. Yunus, and D. Kuang, "Synthesis and characterization of palm-based resin for UV coating," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 111, no. 5, pp. 2353–2361, Mar. 2009.
- [84] Y. Basiron, "Palm oil and its global supply and demand prospects," *Oil Palm Industry Economic Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2002.
- [85] D. dos S. Martini, B. A. Braga, and D. Samios, "On the curing of linseed oil epoxidized methyl esters with different cyclic dicarboxylic anhydrides," *Polymer*, vol. 50, no. 13, pp. 2919–2925, 2009.
- [86] N. Boquillon and C. Fringant, "Polymer networks derived from curing of epoxidised linseed oil: influence of different catalysts and anhydride hardeners," *Polymer*, vol. 41, no. 24, pp. 8603–8613, Nov. 2000.
- [87] S. K. Sahoo, V. Khandelwal, and G. Manik, "Development of toughened bio-based epoxy with epoxidized linseed oil as reactive diluent and cured with bio-renewable crosslinker," *Polymers Advanced Technologies*, vol. 29, no. 1, pp. 565–574, Jan. 2018.
- [88] Y.-J. Yim, K. Y. Rhee, and S.-J. Park, "Fracture toughness and ductile characteristics of diglycidyl ether of bisphenol-A resins modified with biodegradable epoxidized linseed oil," *Composites Part B Engineering*, vol. 131, pp. 144–152, Dec. 2017.
- [89] S. K. Sahoo, V. Khandelwal, and G. Manik, "Development of completely bio-based epoxy networks derived from epoxidized linseed and castor oil cured with citric acid," *Polymers Advanced Technologies*, vol. 29, no. 7, pp. 2080–2090, Jul. 2018.
- [90] A. Rana and R. W. Evitts, "Development and characterization of flax fiber reinforced biocomposite using flaxseed oil-based bio-resin," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 132, no. 15, p. 41807, Apr. 2015.
- [91] V. Khandelwal, S. K. Sahoo, A. Kumar, and G. Manik, "Electrically conductive green composites based on epoxidized linseed oil and polyaniline: An insight into electrical, thermal and mechanical properties," *Composites Part B Engineering*, vol. 136, no. July 2017, pp. 149–157, Mar. 2018.
- [92] P. D. Meshram, R. G. Puri, A. L. Patil, and V. V. Gite, "Synthesis and characterization of modified cottonseed oil based polyesteramide for coating applications," *Progress in Organic Coatings*, vol. 76, no. 9, pp. 1144–1150, Sep. 2013.
- [93] M. Pawar, A. Kadam, O. Yemul, V. Thamke, and K. Kodam, "Biodegradable bioepoxy resins based on epoxidized natural oil (cottonseed & algae) cured with citric and tartaric acids through solution polymerization: A renewable approach," *Industrial Crops and Products*, vol. 89, pp. 434–447, Oct. 2016.
- [94] S. K. Gaddam, S. N. R. Kutcherlapati, and A. Palanisamy, "Self-cross-linkable anionic waterborne polyurethane–silanol dispersions from cottonseed-oil-based phosphorylated polyol as ionic soft segment," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 5, no. 8, pp. 6447–6455, Aug. 2017.



- [95] P. Narute and A. Palanisamy, "Study of the performance of polyurethane coatings derived from cottonseed oil polyol," *Journal of Coatings Technology and Research.*, vol. 13, no. 1, pp. 171–179, Jan. 2016.
- [96] H. Gan, S. A. Hutchinson, C. Hurren, Q. Liu, X. Wang, and R. L. Long, "Effect of oleic purity on the chemical structure, thermal and rheological properties of bio-based polymers derived from high oleic cottonseed oil via RAFT polymerization," *Industrial Crops and Products*, vol. 171, no. October 2020, p. 113882, Nov. 2021.
- [97] R. D. J. Johnson, V. A. Prabu, P. Amuthakkannan, and K. A. Prasath, "A review on biocomposites and bioresin based composites for potential industrial applications," *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 49, no. 1, pp. 112–121, 2017.
- [98] L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and M. Misra, "Bio-composite materials as alternatives to glass fibre reinforced composites for automotive applications," *Magnesium*, vol. 40, pp. 386–390, 2001.
- [99] P. A. Fowler, J. M. Hughes, and R. M. Elias, "Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 86, no. 12, pp. 1781–1789, Sep. 2006.
- [100] A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. 1st ed., Boca Raton, USA: Taylor & Francis Group, LLC, 2005, pp.236-266.
- [101] S. K. Sahoo, V. Khandelwal, and G. Manik, "Sisal fibers reinforced epoxidized nonedible oils based epoxy green composites and its potential applications," in *Green Composites Processing, Characterisation and Applications for Textiles*, 1st ed., Gateway East, Singapore:Springer, 2019, pp. 73–102.
- [102] J. Holbery and D. Houston, "Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications," *JOM*, vol. 58, no. 11, pp. 80–86, Nov. 2006.
- [103] J. Oztemur, H. Sezgin, and I. Yalçın-Enis, "Design of an impact absorbing composite panel from denim wastes and acrylated epoxidized soybean oil based epoxy resins," *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 31, no. 3, pp. 228–234, 2021.
- [104] C. Flanigan, C. Perry, E. Lee, D. Houston, D. Mielewski, and A. Harris, "Use of agricultural materials in flexible polyurethanes and composites for automotive applications," *6th Annual SPE Automotive Composite Conference*, 2006, vol. 1, pp. 270–287.
- [105] J. M. Pin, N. Sbirrazzuoli, and A. Mija, "From epoxidized linseed oil to bioresin: An overall approach of epoxy/anhydride cross-linking," *ChemSusChem*, vol. 8, no. 7, pp. 1232–1243, 2015.
- [106] R. Temmink, B. Baghaei, and M. Skrifvars, "Development of biocomposites from denim waste and thermoset bio-resins for structural applications," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 106, pp. 59–69, 2018.
- [107] S. Pilla, *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*, 1st ed., Salem, USA: Scrivener, 2011, pp.427-438.
- [108] E. Zini, and M. Scandola, "Green composites: An overview," *Polymer Composites*, vol. 32, no. 12, pp. 1905–2109, Dec. 2011.
- [109] C. K. Hong, and R. P. Wool, "Development of a bio-based composite material from soybean oil and keratin fibers," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 95, pp.1524–1538, 2005.



- [110] S. Miao, K. Liu, P. Wang, Z. Su, and S. Zhang, "Preparation and characterization of epoxidized soybean oil-based paper composite as potential water-resistant materials," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 132, no. 10, pp. 41575, 2015.
- [111] V. Kumar, A. Khan, and M. Rabnawaz, "A plant oil-based eco-friendly approach for paper coatings and their packaging applications," *Progress in Organic Coatings*, vol. 176, pp. 107386, 2023.
- [112] A. O'Donnell, M. A. Dweib, and R. P. Wool, "Natural fiber composites with plant oil-based resin," *Composites Science and Technology*, vol. 64, no. 9, pp. 1135–1145, Jul. 2004.
- [113] G. Marsh, "Next step for automotive materials," *Materials Today*, vol. 6, no. 4, pp. 36–43, Apr. 2003.
- [114] M. Holmes, "Biocomposites take natural step forward," *Reinforced Plastics*, vol. 63, no. 4, pp. 194–201, 2019.
- [115] L. Jiang, D. Walczyk, and G. McIntyre, "A new process for manufacturing biocomposite laminate and sandwich parts using mycelium as a binder," *29<sup>th</sup> Annual Technical Conference*, 2014, pp.8-10.
- [116] L. Jiang, D. Walczyk, L. Mooney, and S. Putney, "Manufacturing of mycelium-based biocomposites," *International SAMPE Technical Conference*, no. May, 2013, pp.1-14.
- [117] M. A. Dweib, B. Hu, H. W. Shenton, and R. P. Wool, "Bio-based composite roof structure: Manufacturing and processing issues," *Composite Structures.*, vol. 74, no. 4, pp. 379–388, 2006.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Biyolojik Protein Fonksiyon Tahmin İşleminde Orange Veri Analizi Aracının Kullanımıyla Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Performanslarının Değerlendirilmesi

 Ceren AKMAN YAMAN<sup>a,\*</sup>,  Volkan ALTUNTAŞ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [ceren.akman@ahievran.edu.tr](mailto:ceren.akman@ahievran.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1162917

### ÖZ

İnsan vücudu ilk günden bugüne kadar olan bütün süreçlerde işleyiş açısından merak uyandıran bir mekanizma olmuştur. İçerisinde barındırdığı hücrelerle bu hücrelerin kendi içlerinde barındırdıkları moleküllerle ve işleyişlerle yaşamsal döngü devam etmiştir ve devam etmektedir. Bu yaşamsal döngünün devam etmesi için moleküllerin işleyiş şekillerinin anlaşılmasının yaşamsal faaliyetlerin çözümlenmesinde önemli etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde insan vücudu için karmaşık bir yapıya sahip olan moleküllerin işleyişinin büyük bir öneme sahip olduğu kararına varılmıştır. Böylelikle bu çalışma da büyük bir öneme sahip olan karmaşık yapılı protein molekülü ele alınarak biyoloji tarafından bakıldığında biyolojik süreç, moleküler işlev ve hücresel bileşen açısından fonksiyon tahmin işleminin gerçekleştirilebilmesi ve bunun için k- en yakın komşuluk, sinir ağı ve rastgele orman yöntemlerinin veri görselleştirme ve veri analiz aşamasında kullanılabilen Orange editörü vasıtasıyla modellerin geliştirilmesi sağlanmış olup performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda k-en yakın komşuluk modelinin kullanılan veri setleri üzerinde en az %88 üzerinde başarı sağladığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Biyoinformatik, Protein fonksiyonu, Sinir ağı, Rastgele orman, K-En yakın komşuluk*

## Evaluation of Performance of Machine Learning Algorithms Using Orange Data Analysis Tool in Protein Function Estimation Process

### ABSTRACT

The human body has been an intriguing mechanism in terms of functioning in all processes from the first day to the present. The vital cycle has continued and continues with the cells it contains and the molecules and processes that these cells contain. It has been concluded that understanding the functioning of molecules has an important effect on the analysis of vital activities in order to continue this vital cycle. When the studies carried out within the scope of this study were examined, it was concluded that the functioning of molecules, which have a complex structure for the human body, is of great importance. Thus, by considering the complex protein molecule, which is of great importance in this study, it is possible to perform the function estimation process in terms of biological process, molecular function and cellular component, and for this, data visualization and data visualization of k-nearest neighbor, neural network and random forest methods. The development of the models was provided by the Orange editor, which can be used in the analysis phase, and the performance evaluation was made. As a result of

the evaluations, it was determined that the k-nearest neighbor model achieved at least 88% success on the data sets used.

*Keywords: Bioinformatics, Protein function , Neural network, Random forest, K-Nearest neighborhood*

## I. GİRİŞ

Proteinler, aminoasitlerin zincir şeklinde bağlanması sonucu oluşan ve içinde azot barındıran temel yapısal polimerlerdir. Büyük bir öneme sahip olan bu polimerler için aynı zamanda bilinen en karmaşık yapıli moleküller olduğu söylenmektedir. Bu moleküller tüm biyolojik dokuların ve hücrelerin hayati yani ana yapısal bileşeni olarak ve yaşam aktivitelerinin birincil taşıyıcısı şeklinde tanımlanmaktadır [1]–[3] . Vücuttaki kasların, dokuların ana yapısal bileşeni olduğu bilinen proteinler hormonları, enzimleri üretmek, dokuyu inşa etmek, onarmak, bağışıklık sistemi güçlendirmek, azotu vücutta kullanılabilir hale getirmek, kas gelişimini sağlamak gibi görevleri bulunmaktadır. Ancak bu moleküllerin vücut tarafından bu veyahut başka şekillerde kullanılabilmesi için en temel halleri olan aminoasitlere kimyasal dönüşümlerinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Canlı bünyesi için gerekli olan aminoasitlerin doğada güncel olarak 20 çeşit olduğu ve bunların kendi içlerinde özel dizilimleri olduğu söylenmektedir. Bu özel dizilimler sayesinde proteinlerin işlevleri belirlenmektedir. Bu işlevlerin veyahut dizilimlerin belirlenmesi hastalık teşhisi ve tedavisi, ilaç keşfi gibi hem biyoloji alanı için hem de tıp ve eczacılık alanı için büyük bir önem arz etmektedir [1], [4], [5].

Pitre ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hücre içindeki çalışmaların büyük bir kısmının proteinler tarafından yapıldığı söylenmektedir. Böylelikle hücrelerin davranış ve çeşitli reaksiyonlarına karşı cevaplarından protein-protein etkileşimlerinin neden olduğu söylenmiştir [6]. Canlı vücudundaki biyolojik reaksiyonların birçoğu proteinlerin birbirleri ile etkileşimleri yani bağlanıp veya ayrışmaları sonucunda oluşmaktadır. Bu etkileşimlerin oluşmasını sağlayan nedenleri anlamak moleküler düzeyde biyolojik olarak önemli olayların kontrolünü sağlamak açısından büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle proteinler arasındaki etkileşimi tahmin edebilmek ya da anlayabilmek açısından literatürde hesaplamalı veya deneysel yöntemler olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bu bilgi ışığında yapılan incelemelerde Fukuhura ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışma da proteinlerin etkileşimlerini üç boyutlu yapısını çözebilmek adına birçok deneysel yöntemin olduğu belirtilmiştir [7]. Bununla birlikte Shen ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada deneysel yöntemlerle ulaşılan verilerin toplam protein etkileşim ağının sadece bir kısmını oluşturduğu söylenmiştir [8].

Protein – protein etkileşimlerinin ve fonksiyonlarının işleyişlerinin çözümlenebilmesi için laboratuvar ortamında (in-vitro) ve canlı üzerinde (in-vivo) yapılan deneysel işlemler sonucunda etkileşim/fonksiyon tahmin tespit işlemleri gerçekleştirilebilmektedir [4]. Bu bilgi doğrultusunda yapılan araştırmalar sonucunda Cai ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada protein fonksiyonlarının deneysel yöntemlerle tahmin işleminin gerçekleştirilmesinin uzun zaman alacağı ve yüksek maliyetli olabileceği söylenmiştir. Ayrıca bununla birlikte fonksiyon/etkileşim tahmin işleminde farklı deneysel yöntemlerin kullanılması sonucunda istenmeyen yanlış olarak tanımlanan yanlış-pozitif (false - positive) ya da yanlış-negatif (false - negative) gibi tespitlerin olabileceği söylenmiştir [9]. Dolayısıyla hem zaman hem de maliyet açısından araştırmacılar için dezavantaj olan deneysel yöntemler yerine son yıllarda etkileşim/fonksiyon tahmin işlemlerinde bilgisayar yardımcıli analizleri, modellemeleri kapsayan hesaplamalı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte hesaplamalı yöntemlerin bir alt parçası olan ve günümüzde çoğu biyolojik araştırmalardan elde edilen ham verilerin işlenmesini, düzenlenmesini, anlamlandırılmasını sağlayan bunu matematik ve istatistik ile birleştiren bir teknoloji olan biyoinformatikte biyoloji alanında sıkça kullanılmaya başlanmıştır [10], [11].

Biyoloji alanındaki verilerin büyük olması ve her geçen gün bu veri sayılarının kümülatif bir şekilde artmaya devam etmesi makine öğrenmesi teknolojisinin de kullanılmasına neden olmuştur. Bu nedenle

hesaplamalı yöntemlerin kullanımında tercih edilen ilk başlıklardan birinin makine öğrenmesi olduğu söylenmiştir [11]. Makine öğrenmesinin belirli teknikleri kullanılarak biyolojik verilerden bilgi kümeleri çıkartılabilmesi ve daha sonrasında bu veri kümelerini kullanarak bir model oluşturması biyoinformatik açısından büyük öneme sahiptir. Çünkü biyoinformatikte elde edilen modellerle veriler öğrenilerek bunlar arasındaki ilişkiler ileriye yönelik tahmin edilebilmektedir [12]. Bu bilgiler ışığında protein fonksiyonlarının etkileşimlerinin tahmin edilmesi hem ilaç keşfinde hem de tedavi alanı gibi birçok alanda işlemlerin kolaylaşmasını sağlayacağı söylenebilmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda yapılan incelemeler makine öğrenmesi tekniklerinin protein işlevlerinin tahmininde son zamanlarda sıkça kullanıldığını göstermektedir. Bu kapsamda yapılan incelemeler de Hakala ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma da protein fonksiyonları için ileri beslemeli sinir ağı, evrişimsel sinir ağı ve rastgele orman modelleri kullanılarak tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda geliştirilen modelin f skor, hassasiyet ve kesinlik ölçümleri yapılmış ve sırasıyla 49%, 45% ve 55% elde edildiği görülmüştür [5]. Kulmanov ve arkadaşları tarafından evrişimli sinir ağı (CNN) modelinin kullanıldığı DeepGOPlus aracı geliştirilmiştir. Böylelikle CNN modelin kullanıldığı bu araçta proteinlerin aminoasit dizisi kullanılarak fmax 47% oranında biyolojik süreçlerin tahmin edilmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak DeepGoPlus'a saniyede yaklaşık olarak 40 protein dizisine açıklama ekleyebileceği ve böylelikle çok çeşitli proteinler için hızlı ve doğru tahmin sağlayacağı söylenmektedir [13]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ham veri sayısı ve içerik karmaşıklığı gün geçtikçe kümülatif bir şekilde artmaktadır. Son zamanlarda adından sıkça söz ettiren derin öğrenme modellerinin karmaşık veriler üzerinde özellikleri belirleme de son derece mükemmel olduğu söylenmektedir [14]. Gelman ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada da derin öğrenme modeli, protein dizisindeki mutasyonel bölgelerin paralel fonksiyonel analizi için deneysel bir çalışma olan derin mutasyonel taramadan elde edilen verilerin kullanılmasıyla protein dizisi ve fonksiyon arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için tercih edilmiştir [15].

Büyük ölçekteki proteinlerde fonksiyon tahmini yapmak yaşamın moleküler mekanizmasını anlamak için gerekli olduğu söylenebilmektedir. Bununla birlikte UniProtKB'deki 179 milyondan fazla proteinin yalnızca çok küçük bir yüzdesinin deneysel kanıtlarla desteklenen Gen Ontolojisi (GO) açıklamalarına sahip olduğu bilinmektedir. 1998'de başlatılan bu Gen Ontolojisi, Biyoinformatik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır ve GO'nun asıl amacı, terminoloji açıklaması veya gen kelimelerinin ve gen ürün özelliklerinin yorumlanması için temsili bir platform sağlamaktır. Biyoinformatik araştırmacılarının gen ve gen ürünleri verilerini özetlemelerini, işlemelerini, yorumlamalarını ve paylaşmalarını sağlar. Gen Ontolojisi, Directed Acyclic Graph (DAG) tipi bir ontolojidir. Böylelikle GO, işlevleri ve hücre konumlarını içeren 45.000'den fazla biyolojik kavram içeren ve biyolojinin üç yönünü kapsayan biyolojik süreç (BS), moleküler işlev (Mİ) ve hücresel bileşen (HC) üç kategoriye ayrılır. Bir proteinin genellikle birden fazla GO notu bulunduğundan dolayı protein fonksiyon tahmini çok büyük ölçekli çok etiketli bir sınıflandırma problemidir ve proteinlere GO terimlerini doğru bir şekilde atamak zorlu bir iş olduğu bilinmektedir [2]. Araştırmaları yapılan diğer literatür incelemeleri sonucunda elde edilen referans çalışmalar Tablo 1'de gösterilmektedir.

*Tablo 1. İncelenen çalışmalarla ilgili özet bilgilerin devamını içeren tablosal gösterimi.*

No	Çalışma Adı	Çalışma Kapsamı	Kullanılan Yöntem	Elde Edilen Başarı Oranları
1	Derin Öğrenme Kullanarak Protein İkincil Yapı Tahmini [28]	Proteinlerin canlı organizmalarının en önemli parçalarından biri olduğu aynı zamanda bu yapı taşlarının işlevlerinin ve yapılarının anlaşılmasının büyük önem arz ettiği söylenmiştir. Bu amaca yönelik gerçekleştirilen çalışma da CB513 veri seti üzerinde CNN, RNN, LSTM ve GRU gibi derin öğrenme modelleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır.	Evrişimli Sinir Ağı(CNN) Yinelemeli Sinir Ağı (RNN) Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) Kapılı Tekrarlayan Hücre(GRU)	CNN- %82.54 RNN- %81.06 LSTM- %81.10 GRU- %81.48
2	Protein İkincil Yapı Tahmini İçin Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması [29]	Protein veritabanlarındaki verilerin hızlı artışının protein yapı tahminini önemli kıldığı bu nedenle de protein ikincil yapı üzerinde tahmin işlemlerinin makine öğrenmesi teknikleriyle gerçekleştirilebileceği söylenmiştir. Bu çalışma kapsamında EVASET veri seti üzerinde makine öğrenmesi modelleri karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda en iyi sonuç SVM ile elde edilmiştir.	Ekstra Öğrenme Makineleri (ELM) K- En Yakın Komşuluk (KNN) Rastgele Orman (RO) Yapay Sinir Ağı (YSA) Destek Vektör Makineleri (DVM)	ELM- %82.74 KNN- %82.10 RO- %83.18 YSA- %83.08 DVM- %83.45
3	SDN2GO: An Integrated Deep Learning Model for Protein Function Prediction [2]	Protein fonksiyonlarını tahmin etmek için SDN2GO isimli entegre bir derin öğrenme tabanlı bir sınıflandırma modeli önerilmiştir. Bu modelde CNN ve ağırlık sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında her alt ontoloji için test işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi adına eğitim setinde 5 kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Bunun sonucunda referans alınan BS, Mİ, HC kategorileri için etkili sonuçlar elde edildiği söylenmiştir.	CNN - Ağırlık Sınıflandırma	(İnsan) BP kategorisi için CNN- %92.1 Mİ kategorisi için CNN- %95.7 HC kategorisi için CNN- %95.2 (Maya) BS kategorisi için CNN- %83.9 Mİ kategorisi için CNN- %90.3 HC kategorisi için CNN- %87.8

**Tablo 2 (devamı).** İncelenen çalışmalarla ilgili özet bilgilerin devamını içeren tablosal gösterimi.

4	SVM-Prot 2016: A Web-Server for Machine Learning Prediction of Protein Functional Families from Sequence Irrespective of Similarity [30]	Protein işlevleri tıbbi ve biyolojik bakımdan çok büyük bir öneme sahip olduğu bu nedenle fonksiyonel tahmin yöntemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğu söylenmiştir. Bu çalışma kapsamında protein işlevsel ailelerinin üzerinde makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tahmin işlemleri yapılmıştır.	DVM KNN Olasılıksal Sinir Ağı (PNN) Bu makale kapsamında yapılan değerlendirme kıstaslarında Li ve arkadaşlarının kullandığı yöntemlerin kıyaslanması için veri setlerinin duyarlılık sonuçları referans alınmıştır.	Başarı performansları DVM- %50~99.99 KNN- %51.06~99.99 PNN- %60.49~99.99 aralığındadır.
5	Machine learning techniques for protein function prediction [31]	Bu çalışma kapsamında en yaygın taksonomiler üzerinde makine öğrenmesi algoritmalarının proteinlerin işlevlerini tahmin etme işlemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında 3 farklı en yaygın taksonomi referans alınmıştır ancak bu makale kapsamında GO Ontolojisinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiği için elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.	—	Derin Öğrenme modellerinin GO Ontolojisi üzerinde daha faydalı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.
6	DEEPred: Automated Protein Function Prediction with Multi-task Feed-forward Deep Neural Networks [32]	DEEPred GO tabanlı protein fonksiyon tahmininde bir çözüm olarak çok görevli ileri beslemeli derin sinir ağlarının hiyerarşik yığını olarak önerilmektedir.	Modellerin performansı kaynak eğitim verilerinin %80 -%20 ayrımıyla çapraz doğrulama kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda GO Ontolojisi kategorilerinden olan Mİ, BS ve HC kategorileri için performans değerlendirilmesi yapılmıştır.	Performans ölçümleri DNN - Mİ %67 DNN - BS %51 DNN - HC %58 olarak tespit edilmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

Bu bölümde, protein veri kümelerini, kategorilerini oluşturmak için kullanılan dizi analizleri için Cai ve arkadaşları tarafından [2] gerçekleştirilen çalışmada sunulan veri seti kullanılarak k- en yakın komşuluk, rastgele orman ve yapay sinir ağı sınıflandırıcılarının ayrıntıları ele alınmıştır. Bu veri kümesinde eğitim amaçlı olan veri seti kısmı;

- Deney için UniProt veri tabanından araştırma için gerekli olan proteinlerin sekans bilgileri FASTA formatındaki dosyalar şeklinde indirilerek,
- Daha sonraki aşama da elde edilen bu dosyalar içerisindeki gürültü, fazlalık ya da gereksiz bilgi olarak nitelendirilebileceğimiz verilerin kaldırılması için CD-hit aracının kullanımı gerçekleştirilerek,
- Bu araç sayesinde dizi benzerliği 60% üzerinde olan proteinler tek bir grup altında toplanmıştır ve sonrasında benzer olan gruplar sadece 1 protein başlığı altında tutularak, elde edilmiştir.

Elde edilen bilgiler doğrultusunda bu çalışma kapsamında sadece insanlar için olan veri setleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu nedenle ilgili veri seti içerisinde yukarıda bahsi geçen düzenlemelerden sonra insanlar için 13.704 veri içerik elde edildiği söylenmiştir. Elde edilen bu içerikler için GO açıklama verileri tespit edilmiştir. Böylelikle BS, HC ve Mİ olmak üzere üç kategori başlığı altında toplamda 13.882 içerik olduğu söylenmiştir. Bu işlemlerin ardından veri seti performansının artırılması için STRING veri tabanı v10'dan türetilen protein-protein etkileşimi (PPI) ağ verileri eklenmiştir. Akabinde tüm UniProtKB proteinlerini ve InterPro girişlerini ve bunların eşleştiği bireysel imzaları içeren halka açık olan ve proteinlerin ilgili alan verilerini içinde barındıran interpro veri tabanından verilerin elde edilmiştir. Ardından ihtiyaç duyulan proteinler için UniProt kimliği ile arama yapılarak, gereksiz olabilecek verilerin kaldırılması ya da çelişkili kanıtlarla desteklenen aynı verilerden sadece birinin tutulması sağlanarak veri setinin düzenliliği sağlanmıştır.

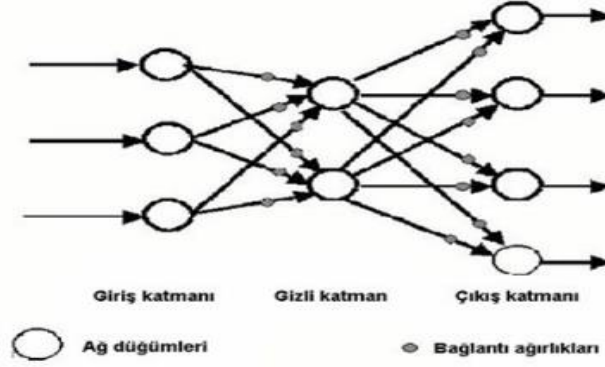
Böylelikle bu çalışma kapsamında da düzenliliği sağlanan veri seti üzerinde işlemler gerçekleştirilerek bir sonraki aşama da sinir ağları (SA), rastgele orman (RO) ve k-en yakın komşuluk (KNN) algoritmaları değerlendirilmiştir.

### **A. SİNİR AĞLARI (SA)**

Sinir ağı, biyolojik nöronların bir ağı veya bir devresi olan yapay sinir ağları olarak anılan, makine öğrenmesinin bir alt kümesi olan ve derin öğrenme algoritmalarının oluşumunda yer alan bir modeldir. Yapay sinir ağları öğrenme, düşünme, hatırlama gibi tüm insan davranışlarını taklit etmektedir. Böylelikle yapay sinir ağlarının temelinde insan beyninden esinlenerek geliştirildiği söylenebilmektedir [16]. Yapay sinir ağları biyoloji alanında yer alan sinir ağlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Böylelikle biyolojik sinaptik ağırlıkları olan nöronların sinyal gönderme durumunu taklit ettiği söylenebilmektedir. Yapay sinir ağları bir girdi katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve bir çıktı katmanı olan düğümlerden oluşmaktadır (Şekil 1). Bu modelin çalışma mantığında her nöron ya da yapay sinir diğer nörona bağlanarak bir ağırlık ve eşik değeriyle sahiptir. Daha sonrasında herhangi bir nöronun çıktısı eşik değerinin üzerindeyse o nöron etkinleştirilir ve ağı bir sonraki aşamasına gönderilir. Eğer eşik değerinin altındaysa o zaman ağı bir sonraki katmanına iletim gerçekleştirilmez [16], [17].

Yapay sinir ağının karmaşık problemleri çözebilme yeteneğinden dolayı ve tahmine dayalı modelleme de başarılı olacağından bu çalışma kapsamında referans alınan veri setinin özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda sinir ağının kullanımı tercih edilmiştir.



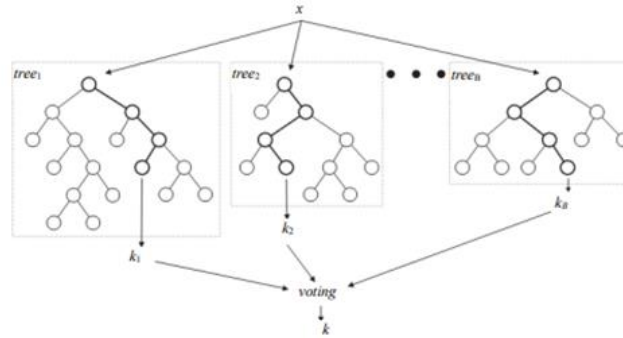


Şekil 1. Sinir ağı yapısı (Neural network structure) [16].

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modelde kullanılan sırasıyla 100 ve 50 olmak üzere nöron sayısı içeren 2 adet gizli katman kullanılmıştır. Gizli katmandan çıkan verilere tüm nöronları aktif hale getirmeyen burada negatif değerlere sahip olanları devre dışı bırakan Relu aktivasyon fonksiyonu uygulanmıştır. Sonrasında çok sayıda veri setlerinde kullanımında daha avantajlı olduğu için Adam optimizasyon tekniği kullanılarak 200 iterasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

## B. RASTGELE ORMAN (RO)

Breiman tarafından önerilen rastgele orman modeli bir dizi karar ağacına dayanan bir tahmin algoritmasıdır [18]. Yeşilkanat tarafından gerçekleştirilen çalışma da bu modelin hem regresyon hem de sınıflandırma problemlerinde başarılı bir makine öğrenmesi algoritması olduğu söylenmektedir. Ayrıca bu modelin çalışmasında ilk olarak, veri seti öğrenme için eğitim verisi ve öğrenme düzeyini test etmek için doğrulama verisi olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Ayrıca daha sonrasında bu veri setinden rastgele birçok karar ağacı oluşturulmaktadır. Böylelikle her ağacın büyümesi, düğüm noktalarında rastgele seçilen tahminler tarafından belirlendiği söylenmektedir [19]. Şekil 2’de olduğu gibi rastgele orman algoritmasının kısaca ana çalışma teması incelendiğinde topluluktaki her karar ağacı, girdi özelliklerinin farklı bir rastgele alt kümesine dayalı olarak oluşturulan ve topluluğun son tahminini bu çoğunluk oyuna göre karar veren model olduğu belirtilmiştir. [5], [20].



Şekil 2. Rastgele orman yapısı (Random forest structure) [20].

Bu çalışma kapsamında yapılan incelemeler doğrultusunda RO algoritmasının birden fazla karar ağacı üreterek sınıflandırma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu aşamada birbirinden bağımsız olarak çalışan birden fazla karar ağacının bir araya gelerek en iyi sonucun elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kullanılacak olan ağaç sayısının artmasıyla ulaşılabilecek olan nihai sonucun kesinliğinin doğrudan etkileneceği bilindiğinden ağaç sayısı 10, derinlik ise 3 olarak seçilmiştir.

### C. K- EN YAKIN KOMŞULUK (KNN)

K-en yakın komşu algoritması hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerini çözmek için kullanılan, basit ve uygulaması kolay bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmanın çalışmasındaki temel yapısı modele verilen veri kümesine yeni bir veri eklendiğinde gelen verinin nereye sınıflandırılacağına belirlenmesine dayandığı söylenmektedir [21]. K en yakın komşuluk algoritması için sınıflandırma sorununun çözümlenebilmesi için kullanılan bir algoritma modeli olduğu ve temel veri içerisinde tutulan eğitim seti ile öğrenme işleminin gerçekleştirildiği söylenmektedir. Ayrıca eğitim işlemi gerçekleştirilirken en yakın olduğu tahmin edilen k adet veriyi, belirli uzaklık ölçütü açısından hesaplayarak yaptığı belirtilmektedir [22]. Bu uzaklık hesaplanmasının yapılabilmesi için literatürde genellikle Öklid kullanıldığı ancak bunun yerine Minkowski, Chebyshev ve kosinüs eşitliklerinin kullanılabileceği belirtilmiştir [23].

Muja ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışma da KNN algoritması sınıflandırma amacıyla eğitilmiş model içerisinde veri gönderildiğinde k tane en yakın temel komşunun etiketlerine bakıldığı ve daha sonrasında sınıf etiketlerinin çoğunluğuna göre ilgili veri kümesine aktarıldığı söylenmektedir [24]. K en yakın komşuluk algoritmasının kullanımının kolay olması, doğrusal olmayan eğitim süresini içermemesi ve gürültülü verilere karşı dayanıklı olması nedeniyle başarılı sonuçlar elde edilmesini sağladığı söylenmektedir. Bunun yanı sıra veri setinin kapasitesine bağlı olarak yüksek bellek gereksinimi duyulan verilerin kullanılmasında işlem yükünün artmasından kaynaklı olarak çalışmada dezavantajların oluşabileceği söylenebilmektedir [23].

Bu çalışma kapsamında yapılan incelemeler ışığında geliştirilen modelde kullanılan K-NN algoritmasının performansını uzaklık ve kullanılan k değerinin yani komşuluk sayısının etkilediği bilinmektedir. Ayrıca kullanılan k değerindeki artışın karar sınırlarının daha düzgün çalışmasına ama iş yükünün artmasına sebep olabileceği söylenebilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda geliştirilen modelde k değeri 5 olarak seçilirken uzaklık mesafesinin ölçümü için öklid uzaklık hesaplama kriteri kullanılmıştır.

### D. ORANGE

Orange Slovenya Ljubljana Üniversitesinde yapay zekâ araştırma ekibi tarafından geliştirilen çekirdeğinde C++ bulunan aynı zamanda veri görselleştirme, veri madenciliği, makine öğrenimi, veri analizi için kullanılabilen açık kaynak kodlu görsel programlama yazılım paketi olarak tanımlanabilmektedir [25], [26]. Orange resmi sitesinde, veri görselleştirme aşamasında basit bir şekilde veri analizi sağlanabildiği, bunun yanı sıra istatistiksel dağılımları, grafikleri, karar ağaçlarını, kümeleme mekanizmasını kullanarak çok boyutlu verileri bile analiz edebileceği söylenmektedir [27].

## III. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında yapılan incelemelerde protein işlevi işlev tahmini, post-genomik çağdaki en zorlu problemlerden biri olduğu görülmektedir. Yeni tanımlanan proteinlerin sayısı, yüksek verimli tekniklerin gelişmesiyle kümülatif bir şekilde artarak devam etmektedir. Bu durumda literatürde bu problemi çözebilmek adına, özellikle makine öğrenmesi teknolojisinin hızla ilerlemesi ile birden fazla yöntem geliştirilmiştir. Bu durumla birlikte geliştirilen yöntemlerin entegrasyonu birçok makine öğrenmesi algoritmasını içinde barındıran araçlar da geliştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında da protein verilerinin artışı ve üzerlerinde yapılan işlemlerin zorlu olması problemi referans alındığı gibi aynı zamanda makine öğrenmesi algoritmalarını içinde barındıran Orange yazılım paketinin kullanımıyla birlikte algoritmalar arasında performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için, Gen Ontolojisi terimleri ve Cai ve arkadaşları tarafından [2] yapılan çalışma da paylaşılan veri setindeki insan veri seti kullanılmıştır. Burada sinir ağı, rastgele orman, k-en yakın komşuluk modelleri kullanılarak performans

değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme işleminin yapılması için kullanılan ORANGE aracı PC platformunda Intel Core i7-9750H CPU 4.50 GHz, 12 MB ön bellek, 16 GB RAM, 1TB HDD, 256 GB SSD ve 6 adet işlemci çekirdeği özelliklerine sahip cihazda çalıştırılarak test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Bu değerlendirme aşamasında kullanılan veri seti öncelikle Orange içinde yer alan sinir ağı modeli kullanılarak eğitim işlemi ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle insan protein verileri ve GO terimlerini içeren veri seti eğitim için hazırlanmıştır. Daha sonrasında ayrıştırılan Mİ veri seti test verisi olarak modele verilmiştir. Bir sonraki aşamada insan veri seti ve insan Mİ veri seti birleştirilerek tahmin aşamasına geçiş gerçekleştirilmiştir. Aynı işlemler BS ve HB veri içeriklerine uygulanmıştır. İnsan veri seti olan ve içinde GO terimlerini içeren veri seti sinir ağları, rastgele orman ve k-en yakın komşuluk kullanılarak eğitilmiştir ve Mİ, BS, HB veri setleri ile test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında set içerisinde çok fazla farklılık olduğu için, alt bölümler çok fazla olmadığından 5 katmanlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Daha sonrasında Tablo 2’de yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

*Tablo 2. Geliştirilen model testlerinin doğruluk oranları*

<b>Veri Seti İçeriği</b>	<b>SA</b>	<b>RO</b>	<b>KNN</b>
Moleküler İşlev	%88.6	%81.7	%89.0
Biyolojik Süreç	%89.1	%82.6	%89.8
Hücrel Bileşen	%88.2	%81.4	%88.5

Yapılan test işlemlerinin ardından elde edilen sonuçlar Tablo 2’de incelendiğinde değerlerin yaklaşık olduğu ancak k- en yakın komşuluk algoritmasının diğer iki algoritmaya nazaran daha iyi sonuç sergilediği görülebilmektedir.

## **IV. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Cai ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışma da bir derin öğrenme modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan bu derin öğrenme modelin de hem maya için hem de insan için protein fonksiyon tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışma da bu tahmin işleminin gerçekleştirilebilmesi için UniProt veri kümesinden veri setleri elde edilmiştir. Daha sonrasında bu veri setleri üzerinde 3-gram ve ProtVec yöntemleri kullanılarak sayısallaştırma işlemi yapılarak protein tabanlı veriler birleştirilerek vektör haline getirilmiştir. Bu birleşimin ardından derin öğrenme modeli kullanılarak tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tahmin işleminin gerçekleştirilmesinde GO terimleri referans alınmıştır. Bu işlem doğrultusunda moleküler süreç, biyolojik süreç, hücrel bileşen için ayrı ayrı tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında 5 katlı çapraz doğrulama işlemi kullanılmış ve nihai sonuç elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan başarı oranları incelendiğinde moleküler işlev için %95, biyolojik süreç için %92, hücrel bileşen için %95 oranında veriler elde edildiği söylenmektedir [2].

Bu çalışma kapsamında Cai ve arkadaşları [2] tarafından paylaşılan veri seti kullanılarak geçmiş çalışma da kullanılan CNN modeli yerine Orange aracının sağladığı sinir ağı, rastgele orman ve k-en yakın komşuluk algoritmalarının kullanıldığı modeller ayrı ayrı Orange platformu üzerinde kullanılarak tasarlanmıştır. Yapılan tasarımların kullanımıyla elde edilen sonuçlar incelendiğinde sinir ağı modeli kullanılarak yapılan işlemlerde moleküler işlev için %88.6, biyolojik süreç için %89.1, hücrel bileşen için %88.2 başarı oranı elde edilmiştir. Rastgele orman modeli kullanılarak yapılan işlemlerde moleküler işlev için %81.7, biyolojik süreç için %82.6, hücrel bileşen için %81.4 başarı oranı elde edilmiştir. K-en yakın komşuluk modeli kullanılarak yapılan işlemlerde moleküler işlev için %89.0, biyolojik süreç için %89.8, hücrel bileşen için %88.5 başarı oranı elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sinir ağı, rastgele orman ve k-en yakın komşuluk modelleri kendi içinde incelendiğinde en iyi sonucun k-yakın komşuluk modeli kullanılarak elde edildiği en kötü sonucun ise rastgele orman ile elde edildiği tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde literatürde yer alan diğer çalışmalardaki (Tablo 1) başarılarla kıyaslandığında daha iyi sonuçlarında elde edildiği görüldüğü gibi aynı zamanda benzer sonuçlarında elde edildiği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında asıl amacın Orange aracı olduğu göz önüne alındığında kullanılan veri setinin büyüklüğü doğrultusunda başarı oranının kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilmektedir. Ancak gerçekleştirilen test aşamalarında kullanılan cihazın özellikleri de dikkate alındığında sürenin normal şartlara göre daha uzun sürdüğü ve kasmaların olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu bilgi ışığında kullanılacak olan veri setinin boyutu dikkate alındığında kolaylık açısından Orange aracının kullanımının avantaj sağlayabileceği gibi veri miktarının çok artması söz konusu olduğunda ortaya bir dezavantajın çıkabileceği söylenebilmektedir.

Son olarak gelecek çalışmalarda Orange aracı üzerinde uygun veri setleri kullanılarak ve aracın sağladığı algoritmaların kullanımıyla model tasarlanarak hayati öneme sahip olan protein fonksiyonlarının tahmin işleminin gerçekleştirilebileceği öngörülebilmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Protein> (Erişim Tarihi: 30.04.2022)
- [2] Y. Cai, J. Wang, ve L. Deng, “Sdn2go: An İntegrated Deep Learning Model For Protein Function Prediction”, *Front. Bioeng. Biotechnol.*, c. 8, Sayı April, Ss. 1–11, 2020
- [3] J. R. Hoffman Ve M. J. Falvo, “Protein- Which İs Best?”, *J. Sport. Sci. Med.*, c. 3, Sayı 3, Ss. 118–130, 2004.
- [4] İ. Alakuş, Talha Burak; Türkoğlu, “İnsana Ait Protein Fonksiyonlarının Protein Haritalama Teknikleri ve Derin Öğrenme Modeli ile Tahmin Edilmesi Prediction Of Human Protein Functions W”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences* c. 28, Sayı X, Ss. 1–12, 2021
- [5] K. Hakala vd., “Neural Network And Random Forest Models İn Protein Function Prediction”, *IEEE/Acm Transactions On Computational Biology And Bioinformatics*. 2020
- [6] S. Pitre Vd., “Pipe: A Protein-Protein İnteraction Prediction Engine Based On The Re-Occurring Short Polypeptide Sequences Between Known İnteracting Protein Pairs”, *Bmc Bioinformatics*, c. 7, Ss. 1–15, 2006
- [7] N. Fukuhara ve T. Kawabata, “Homcos: A Server To Predict İnteracting Protein Pairs And İnteracting Sites By Homology Modeling Of Complex Structures.”, *Nucleic Acids Res.*, c. 36, Sayı Web Server Issue, Ss. 185–189, 2008
- [8] J. Shen Vd., “Predicting Protein-Protein İnteractions Based Only On Sequences Information”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, c. 104, Sayı 11, Ss. 4337–4341, 2007
- [9] L. Cai, Z. Pei, S. Qin, ve X. Zhao, “Prediction Of Protein-Protein İnteractions İn *Saccharomyces Cerevisiae* Based On Protein Secondary Structure”, *Proc. - 2012 Int. Conf. Biomed. Eng. Biotechnol. İcbeb 2012*, Ss. 413–416, 2012
- [10] M. Yeni, B. Bilim, M. Polat, ve A. G. Karahan, “Multidisipliner Yeni Bir Bilim Dalı: Biyoinformatik Ve Tıpta Uygulamaları”, *Sdü Tıp Fakültesi Dergisi.*, c. 16, Sayı 3, Ss. 41–50, 2009.
- [11] İ. Kösesoy, “Konak-Patojen Protein Etkileşiminin Hesaplamalı Yöntemler İle Tahmini”, 2018.

- [12] “Biyoinformatikte Makine Öğrenmesi ve Teknikleri – Pharmaino Science”. <https://Pharmaino.Com/Biyoinformatikte-Makine-Ogrenmesi-Ve-Teknikleri/> (Erişim May. 20, 2022).
- [13] M. Kulmanov ve R. Hoehndorf, “Deepgoplus: Improved Protein Function Prediction From Sequence”, *Bioinformatics*, c. 36, Sayı 2, Ss. 422–429, 2020
- [14] B. A. Sokhansanj ve G. L. Rosen, “Mapping Data To Deep Understanding: Making The Most Of The Deluge Of Sars-Cov-2 Genome Sequences”, *Msystems*, Sayı February, 2022
- [15] S. Gelman, S. A. Fahlberg, P. Heinzelman, P. A. Romero, ve A. Gitter, “Neural Networks To Learn Protein Sequence-Function Relationships From Deep Mutational Scanning Data”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, c. 118, Sayı 48, 2021
- [16] E. Atar, “Yapay Sinir Ağları ile Proteinlerin İkincil Yapılarının Kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2005.
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Neural\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_network) (Erişim Tarihi: 10.05.2022)
- [18] L. Breiman, “Random Forest”, *Lect. Notes Comput. Sci. (Including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, c. 12343 Lncs, Ss. 503–515, 2020
- [19] C. M. Yeşilkanat, “Spatio-Temporal Estimation Of The Daily Cases Of Covid-19 In Worldwide Using Random Forest Machine Learning Algorithm”, *Chaos, Solitons And Fractals*, c. 140, 2020
- [20] C. Nguyen, Y. Wang, ve H. N. Nguyen, “Random Forest Classifier Combined With Feature Selection For Breast Cancer Diagnosis And Prognostic”, c. 2013, Sayı May, Ss. 551–560, 2013.
- [21] K. Özdemir, “K-En Yakın Komşu Algoritması (K-Nearest Neighbor Algorithm) <https://Medium.Com/Batech/K-En-Yakın-Komşu-Algoritması-K-Nearest-Neighbors-Algorithm-16e5ab69af2e>. (Erişim Tarihi: 10.05.2022)
- [22] S. A. Dudani, “The Distance-Weighted K-Nearest-Neighbor Rule”, Ss. 325–327.
- [23] M. A. Pala, M. E. Çimen, Ö. F. Boyraz, M. Z. Yıldız, ve A. F. Boz, “Meme Kanserinin Teşhis Edilmesinde Karar Ağacı Ve Knn Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi”, *Acad. Perspect. Procedia*, c. 2, Sayı 3, Ss. 544–552, 2019
- [24] M. Muja Ve D. G. Lowe, “Fast Approximate Nearest Neighbors With Automatic Algorithm Configuration”, *Visapp 2009- Proc. 4th Int. Conf. Comput. Vis. Theory Appl.*, c. 1, Ss. 331–340, 2009,
- [25] [https://en.wikipedia.org/wiki/Orange\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Orange_(software)) (Erişim Tarihi: 01.06.2022)
- [26] M. Kaya Keleş ve S. Özel, “Açık Kaynak Kodlu Veri Madenciliği Yazılımlarının Karşılaştırılması”, *Akad. Bilişim '14 - Xvi. Akad. Bilişim Konf. Bildir.*, Ss. 47–53, 2014.
- [27] <https://orangedatamining.com/> (Erişim Tarihi: 01.06.2022)
- [28] Çakmak E, Selvi İ. "Derin Öğrenme (CNN, RNN, LSTM, GRU) Kullanarak Protein İkincil Yapı Tahmini". *Acta Infologica* 2022;0:0–0
- [29] Aydın Z, Kaynar O, Görmez Y, Işık YE. "Comparison of machine learning classifiers for protein secondary structure prediction". *26th IEEE Signal Process Commun Appl Conf SIU* 2018 2018:1–4.


- [30] Li YH, Xu JY, Tao L, Li XF, Li S, Zeng X, vd. SVM-prot 2016: "A web-server for machine learning prediction of protein functional families from sequence irrespective of similarity". *PLoS One* 2016;11:1–14.
- [31] Bonetta R, Valentino G. "Machine learning techniques for protein function prediction". *Proteins Struct Funct Bioinforma* 2020;88:397–413
- [32] Sureyya Rifaioğlu A, Doğan T, Jesus Martin M, Cetin-Atalay R, Atalay V. DEEPred: "Automated Protein Function Prediction with Multi-task Feed-forward Deep Neural Networks". *Sci Rep* 2019;9:1–16.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Dokuma Kumaşta Atkı ve Çözüğü Doğrultusundaki Hataların Kaynakları ve Çözüm Önerilerinin Etkileri

 Berkay BARIŞ<sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> *Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [berkay.baris@klu.edu.tr](mailto:berkay.baris@klu.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1151321

### ÖZ

Tekstil ve hazır giyim sektörleri Türkiye'nin ihracatında çok önemli bir paya sahiptir. 2022 yılı TİM verilerine göre bu oran %12,4'tür. Tekstilin ham maddesi olan iplik ve ondan elde edilen dokuma kumaşlarda oluşan hatalar kumaş kalitesine zarar vermektedir. Bu çalışmada özellikle iplik üretimi ve dokuma süreçlerinde meydana gelen atkı ve çözüğü doğrultusunda karşılaşılan hatalara sebep olan hata kaynaklarının (kök nedenlerin) ve bu hata kaynaklarına getirilebilecek çözüm önerilerinin etkileri araştırılmıştır. Çözüme kavuşturulabilecek hataların adları, sayıları ve hata kaynaklarının açıklamaları ile sayıları detaylı olarak açıklanmıştır. Bu sayede oluşabilecek kumaş hatalarına karşı önlem alınması ve hataların giderilebilmesine katkı sağlanmıştır. Beraberinde literatürde eksikliği tespit edilen dokuma kumaş hatalarının sınıflandırılması, sebepleri ve hata oluşum süreçlerini içeren sistematik bir analizde bu çalışmanın çıktılarından biri olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Atkı, Çözüğü, Dokuma kumaş, Hata, Süreç

## Sources of Defect in Weft and Warp Direction in Woven Fabric and Effects of Solution Suggestions

### ABSTRACT

Textile and ready-made clothing sectors have a very important share in Turkey's exports. According to TİM data for 2022, this rate is 12.4%. The defects that occur in the yarn, which is the raw material of textile, and the woven fabrics obtained from it, damage the fabric quality. In this study, the effects of defect sources (root causes) that cause defects in weft and warp lines, especially in yarn production and weaving processes, and the effects of possible solutions to these defect sources. The names and numbers of the defects that can be resolved and the descriptions of the defect sources and their numbers are explained in detail. In this way, it has been contributed to take precautions against fabric faults that may occur and to eliminate the faults. One of the outputs of this study was the classification of woven fabric defects, which were found to be lacking in the literature, a systematic analysis including their causes and defect formation processes.

**Keywords:** Weft, Warp, Woven fabric, Defect, Process

# I. GİRİŞ

Dokunmuş kumaşlarda görülen hatalar kumaşın kalitesini düşürmektedir. Beraberinde bu hatalar kumaşın üretim aşamalarında verim kaybına neden olmaktadır. Dokuma kumaş hatalarını giderebilmek ve devamında tekrar oluşmasını engelleyebilmek için hataların kaynağını yani kök nedeni belirlemek büyük önem arz etmektedir. Kök nedene ulaşabilmek için ise öncelikle kumaşta oluşan hatayı doğru tanımlamak gerekir. Bu tanımlamayı yapabilmek için ilk aşama hatanın hangi sınıfta yer aldığını belirlemektir.

Dokuma kumaşlarda oluşan hataların sınıflandırılması hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok farklı sınıflandırma örneği göze çarpmaktadır. Bu konuda ilk kitap Goldberg tarafından 1950 yılında yayımlanmıştır [1]. Goldberg hata sınıflandırmalarını oluştuğu aşamalara göre ham kumaş, iplik, boya ve bitim, giysi kumaşları ve çeşitli düzgünsüzlükler olmak üzere beş grupta incelemiştir. Dokuma hazırlık, dokuma işlemi, makinenin hatalı çalışması gibi faktörlere ham kumaş hatalarının alt nedenleri olarak yaklaşmıştır. Millî Eğitim Bakanlığının Avrupa Birliği ile geliştirdiği mesleki ve teknik eğitimi güçlendirme projesi (MEGEP) kapsamında yayınladığı Kumaş Kontrolü eğitim modülünde ise dokuma kumaş hataları; dokuma makinesinden kaynaklanan hatalar, terbiye hataları, dokuma hazırlık hataları ve yüzey yapımındaki hatalar başlıklarıyla sınıflandırılarak hatanın kaynağı, yönü ve oluştuğu aşamalar birbiri içinde tanımlanmıştır [2]. Yıldız [3] dokuma kumaş hatalarını yönüne göre sınıflandırırken Acar [4] hem oluştuğu aşamalara hem de yönüne göre iç içe sınıflandırmıştır. İslam [5] çalışmasında dokuma kumaş hatalarını oluştuğu aşamalara göre iplik eğirme, çözgü hazırlık, haşıl, dokuma, boya, baskı ve bitim olarak sınıflandırmıştır. Ala [6], Kısaoğlu [7] ve Özdemir'in [8] çalışmalarında ise hataların sadece yönüne göre sınıflandırıldığı göze çarpmaktadır. Cotton Incorporated tarafından Standart Hata Kumaş Sözlüğü hazırlanmış ve hatalar sınıflandırılırken terbiye hataları, desen hataları, baskı hataları, çözgü hattında, atkı hattında ve ayırık (izole) hatalar olmak üzere altı ana gruba ayrılmıştır [9], [10]. Ayrıca Türk Standartları Enstitüsü'nün (TSE) dokuma kumaş hataları ve tanımlarını içeren TS 471 ISO 8498 "Dokuma Kumaşlar – Hata Tarifleri – Terimler" başlıklı bir standardı bulunmaktadır [11]. Bu standarttaki hata sınıfları incelendiğinde iplik hataları, atkı doğrultusundaki hatalar, çözgü doğrultusundaki hatalar, boyama, baskı veya bitirme işlemleri hataları, kumaş kenar hataları ile genel hatalar biçiminde altı grupta incelendiği görülmektedir.

Tüm bu çalışmalar incelendiğinde ortak hata sınıfı olarak iki sınıf dikkat çekmektedir. Bunlar kumaşın eni doğrultusunda görülen hatalar ve kumaşın boyu doğrultusunda oluşan hatalardır. Dokuma kumaş özelinde konu incelendiğinde kumaşın eni yönünde görülen hatalara atkı doğrultusunda oluşan hatalar, kumaşın boyu yönünde görülen hatalara çözgü doğrultusunda oluşan hatalar da denilmektedir. Bunun sebebi kumaşın enini oluşturan ipliğe atkı, boyunu oluşturan ipliğe ise çözgü adı verilmesinden kaynaklanmaktadır.

Dokuma kumaş hatalarının tespiti için TS 471 ISO 8498 "Dokuma Kumaşlar – Hata Tarifleri – Terimler" başlıklı standartta yer alan hatalar, literatürde geçen hatalar ve dokuma kumaşla çalışan tekstil firmalarında yer alan ve Tablo 1'de deneyim bilgileri verilen uzman kişilerden derlenen hataların birleştirilmesi ve birbirinin aynı olan hataların sadeleştirilmesiyle toplam 180 adet dokuma kumaş hatası tespit edilmiştir. Bu hatalar yönlerine göre sınıflandırılmıştır. Atkı doğrultusunda 33'ü TS 471 ISO 8498 standardında ve literatürde yer alan 12'si de tekstil firmalarından elde edilen verilerden olmak üzere toplam 45 adet hata tespit edilmiştir. Çözgü doğrultusunda ise 24'ü TS 471 ISO 8498 standardında ve literatürde yer alan 6'sı da tekstil firmalarından elde edilen verilerden olmak üzere toplam 30 adet hata tespit edilmiştir. 180 hatanın 75'ini (%41,67) atkı ve çözgü doğrultusundaki hatalar 105'ini (%58,33) ise kenar ve rastgele yönlü hatalar oluşturmaktadır. Bu çalışmada atkı ve çözgü doğrultusundaki hataların oluşmasına sebebiyet veren hata kök nedenlerine getirilen çözüm önerileri ile çözüm üretilen hatalar üzerinde durulmaktadır. Literatürde dokuma kumaş hatalarının karakteristikleri bazında sistematik olarak sınıflandırılması, hataların sebepleri ve çözüm yolları hakkında yapılan çalışmalarda tespit edilen eksikliklerin giderilmesi de çalışmanın bir başka çıktısıdır.



*Tablo 1. Görüşme yapılan uzmanların bilgileri*

<b>Branş</b>	<b>Departmanı</b>	<b>Tecrübe (yıl)</b>
Tekstil Mühendisi	İşletme Müdürü	20
Tekstil Mühendisi	Dokuma Dairesi Müdürü	18
Tekstil Mühendisi	Dokuma Dairesi Şefi	12
Makine Mühendisi	Dokuma Dairesi Müdür Yardımcısı	6
Tekstil Mühendisi	İşletme Müdürü	17
Tekstil Mühendisi	Baskı Dairesi Müdürü	13
Tekstil Mühendisi	Boyahane Şefi	13
Tekstil Mühendisi	İplik Dairesi Müdürü	12
Kimya Mühendisi	Boyahane Şefi	18
Tekstil Mühendisi	Dokuma Dairesi Şefi	16
Tekstil Mühendisi	Dokuma Dairesi Şefi	8
Tekstil Teknikeri	Kalite Kontrol Şefi	14

## **II. YÖNTEM**

Çalışma gerçekleştirilirken ilk aşamada TSE'nin yayımladığı “Dokuma Kumaşlar – Hata Tarifleri – Terimler” başlıklı TS 471 ISO 8498 numaralı standardı incelenmiştir. Bununla birlikte dokuma kumaş üretimi gerçekleştiren ve tekstil sanayinde önemli yeri olan tekstil firmalarında çalışan alanında uzman kişilerle yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilerek veriler toplanmıştır. Uzman kişi alanında yüksek bilgi birikimi ve deneyime sahip, sorunlara doğru ve hızlı çözümler üreten kişilere denilmektedir. Uzman kişilerin tecrübeleri nispetinde karşılaştıkları hataların sebepleri ve çözümleri hakkında birbirlerinden farklı öneriler sunabildikleri gözlenmiştir. Bu durum daha fazla hata kaynağına erişilebilmesine ve daha fazla çözüm yolu üretilmesine imkân sağlamıştır. Bununla birlikte literatürde yer alan bilgilerden ve dokuma makinesi kullanım kitapçıklarından da faydalanılmıştır. Verilerin güvenilir kaynaklardan elde edilmesine özen gösterilmiştir. TS 471 ISO 8498 numaralı standartta hataların isimleri, tanımları ve bazı olası hata sebepleri ile ilgili bilgiler bulunurken, hataların giderilmesi hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu bağlamda uzman kişilerin verdikleri katkılar çalışmanın etkinliğini artırmaktadır. Çeşitli kumaş hataları vardır ve bunların bazıları birbirine benzerlik gösterir. Böyle durumlarda hatanın türü hakkında anlaşmazlıklar oluşabilir [12]. Örneğin elde edilen verilerin birleştirilmesi aşamasında aynı hataya farklı kaynaklarda başka isim verilmesi veya kaynaklarda aynı isimle anılan hataların farklı biçimlerde tanımlandıkları tespit edilmiştir. Tüm veriler birlikte değerlendirilerek filtre edilmiş, aynı anlama gelen hatalar sadeleştirildikten sonra elde edilen veri setindeki tüm hatalar türlerine göre ait oldukları sınıflara yerleştirilmiştir.

Toplanan veriler bir hata kaynağının birden fazla hataya sebep olabildiğini ortaya koymaktadır. Kumaşlarda çok sayıda ve çeşitte hata ile karşılaşmaktadır. Bu hataların oluşmasına sebep olan pek çok hata nedeni bulunmaktadır. Aynı zamanda bir hata kaynağının birden fazla hataya neden olabileceği gerçeği de birlikte değerlendirildiğinde kumaşta karşılaşılan hatanın esas nedenine ulaşmak hayli güçleşmektedir. Dolayısıyla oluşan hatanın giderilebilmesi için gerekli çözümü üretmeyi de geciktirmektedir. Bu çalışmada tümünden gelim mantığıyla çalışan bir kök sebep analiz metodu olan Hata Ağacı Analizi yönteminden de faydalanılarak, istenmeyen hataların oluşmasına sebep olan hata kaynaklarının ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Hata Ağacı Analizi bir sistemin istenmeyen bir durumunun incelendiği bir hata analizi türüdür. Bu analiz yöntemi, sistemlerin nasıl başarısız olabileceğini anlamak, riski azaltmanın en iyi yollarını belirlemek [13] herhangi bir probleme etki eden karmaşık ve birbirleri ile karşılıklı ilişki içinde bulunan olumsuzlukların belirlenmesi ve bu olumsuzlukların oluşma olasılıklarının değerlendirilmesi, herhangi bir sistemde kendini tehlike olarak hissettiren tüm problem veya olumsuzlukların sistematik olarak ortaya konulmasıdır [14]. Dokuma kumaş hatalarının kök nedenlerine ulaşmak ve bir kök nedenin birden fazla hataya sebep olup olmadığını araştırmak için bu çalışmada Hata Ağacı Analizi kullanılmıştır.

Hatayı tanımlamada önemli özniteliklerden biri hatanın kaynağını (kök nedeni) bilmektir. Hatanın kaynağı, hataya yol açan girdilerin ya da süreç ve aşamaların özellikleri ve ayrıntılarını ifade eder [15]. Doshi ve ark. [16] da çalışmalarında bahsettiğine benzer olarak dokuma kumaş üretiminde hatanın kaynağı girdiler bazında malzeme (ham madde), makine, çalışan, ortam ve metot olmak üzere 5 farklı değer olarak incelenmektedir. Girdilerden malzeme, dokuma kumaşı oluşturan atkı ve çözgü ipliklerinin ve bu ipliklerin ham maddesi olan elyafın özelliklerinden kaynaklanan hatalarla birlikte terbiye proseslerinde kullanılan kimyevilerden kaynaklanan hataları belirtmektedir. Malzeme kaynaklı hatalar genellikle düşük kalite veya yanlış malzeme seçimi sonucu ortaya çıkarak istenilen ürün tipi ve kalitesine ulaşmayı engellemektedir. Bir diğer girdi de makinedir. Makine girdisi kumaşın işlem gördüğü herhangi bir makineden kaynaklanan hataları ifade eder. Makine kaynaklı hatalar makinenin arızalanması, ayarlarının bozulması, bakımının yapılmaması, makinenin eskimesi ve teknolojik düzeyi ile ilişkili olarak ortaya çıkmaktadırlar. Çalışan girdisi kumaşın ilk oluşum aşamasından başlayarak terbiye işlemleri dahil son aşamasına kadar görmüş olduğu işlemlerde ona muamelede bulunan operatörün vazifesini eksik veya hatalı yapmasından kaynaklanan hataları belirtmektedir. Çalışan kaynaklı hatalar operatörlerin standart uygulama proseslerine uymaması, yeterli eğitimleri almamaları veya iş yükünün fazla olması gibi durumlardan kaynaklanmakta ve üretim miktarı ile kaliteyi direkt etkilemektedir. Diğer bir girdi olan ortam girdisi ise çevresel koşullardan kaynaklanan hataları ifade eder. Ortamın rutubet ve temizliğine dikkat edilmemesi hassas çalışan makinelerin gözeneklerinde tıkanma veya kumaşa nope, yabancı lif gibi problemlere yol açabilmektedir. Metot girdisi ise işlem talimatları, süreç tanımlamaları ile tasarım temelli hataları belirtmektedir. Hatalı metot uygulamaları ise sistematik hatalar oluşmasına neden olmaktadır [17, 18].

Bu genel hata kaynaklarını bilmek kumaşa bir hata ile karşılaşıldığında bu hatanın sebebini bulmak adına büyük öneme sahiptir. Ancak tek başına bunları bilmek bazen yetersiz kalmaktadır. Hataların sebeplerini bulmak için hatanın üretimin hangi aşamasında oluştuğunu da bilmek gerekir. Hataya sebep olan faktörün makine olduğu düşünülüyorsa hangi makineden kaynaklandığını bulmak için hatanın oluştuğu aşamanın (sürecin) bilinmesi gerekir. Ya da çalışandan kaynaklanan bir hata olduğu düşünülüyorsa yine üretimin hangi aşamasında çalışan kişinin hataya sebep olduğunun tespit edilmesi ve hatasının tekrar edilmemesi adına eğitilmesi için bu sürecin bilinmesi gerekir.

Dokuma kumaş üretiminde hatanın kaynağı süreçler bazında iplik üretim, dokuma hazırlık, dokuma, terbiye ve diğer süreçler (ham kumaşın üzerinde bulunan uçuntu, çepel vb. bazı maddelerin uzaklaştırılması için yapılan cımbız işlemi, mamul kumaşa uygulanan kalite kontrol ve paketleme işlemleri veya kumaşın taşınması ve depolanması sırasındaki işlemler vb.) olmak üzere 5 farklı değer olarak incelenmektedir. Kumaşın ham maddesi ipliktir. İplik üretim sürecinde meydana gelen bir hata sadece ipliğin değil kumaşın da hatalı üretilmesine neden olmaktadır. Bu sebeple kumaşa iplik kaynaklı bir hata ile karşılaşıldığında hatanın kaynağını bulmak için iplik üretim aşamalarını gözden geçirmek gerekir. Dokuma süreci incelendiğinde önce dokuma hazırlık işlemlerinin ardından dokuma işleminin gerçekleştiği görülmektedir. Dokuma hazırlık aşaması, kumaşın dokunmasında kullanılan atkı ipliklerine uygulanan aktarma işleminden ve çözgü ipliklerine uygulanan çözgü hazırlama ve haşılama gibi hazırlık evrelerinden oluşmaktadır. Dokuma hazırlık işleminin ardından dokuma makinesinde kumaş dokunur. Dokuma kumaşlarda dokuma işlemi sürecinden kaynaklanan birçok hata ile karşılaşılmaktadır. Bazı kaynaklarda dokuma hazırlık işlemleri dokuma sürecinin dışında tutulmuş ve ayrı bir hata süreci olarak incelenmiştir. Bu çalışmada ise dokuma hazırlık aşaması dokuma sürecinin bir parçası olarak incelenmiştir. Kumaş dokuma işlemi tamamlandıktan sonra ön terbiye, renklendirme (boya ve baskı) ve bir takım farklı özellikler kazandırılması için bitim işlemlerinden oluşan terbiye işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler çoğunlukla bir kimyasal madde kullanımı ile yapılmakla birlikte bazı işlemlerde ise makine özellikleri ve aparatlarının değiştirilmesi gibi fiziksel birtakım etkilerden faydalanılmaktadır. Gerek kimyasal maddelerin kullanımı gerekse fiziksel özelliklerin değiştirilmesi esnasında bazı problemler yaşanabilmekte ve bunlarda dokuma kumaşlarda hataya sebep olabilmektedir.

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Daha önce de bahsedildiği üzere dokuma kumaşlarda tespit edilen 180 hatanın 75'ini (%41,67) atkı ve çözgü doğrultusundaki hatalar oluşturmaktadır. Yine önceki bölümlerde vurgulandığı üzere hatanın kaynağı süreç esaslı incelendiğinde 5 kısımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada bilhassa dokuma kumaşın atkı ve çözgü doğrultusunda görülen, iplik üretimi ve dokuma süreci kaynaklı hataları üzerine incelemeler yapılmıştır. Atkı doğrultusunda görülen hataların her biri tek tek meydana geldiği süreç açısından incelendiğinde toplam 56 süreç temelli hata kaynağı olduğu görülmüştür. Atkı doğrultusunda 45 farklı hata olduğu halde burada sayının 56 çıkmasının sebebi farklı hata kaynaklarının aynı hataya sebep olabilmesidir. Örneğin bir hata hem iplik üretim süreci kaynaklı sebeplerden hem de dokuma süreci kaynaklı sebeplerden dolayı meydana gelebiliyorsa bu durum o hatanın iki defa sayılmasına neden olmakta ve hata sayısını arttırmaktadır. Benzer biçimde çözgü doğrultusunda 30 farklı hata varken süreç kaynaklı tekrar eden hatalar eklendiğinde sayının 45'e yükseldiği görülmektedir. Tablolarda yer alan "Süreçten Kaynaklı Hatanın Toplam Hataya Oranı (%)" bölümünde toplam yüzdesel değer %100'den fazla çıkmasının sebebi de yine aynı hatanın farklı süreçlerde tekrarlı sayılmasından kaynaklanmaktadır.

#### **A. ATKI DOĞRULTUSUNDA GÖRÜLEN HATALAR**

Tablo 2'de gösterildiği üzere atkı doğrultusunda görülen hataların her biri tek tek meydana geldiği süreç açısından incelendiğinde toplam 56 süreç temelli tekrarlı hata kaynağı bulunmaktadır. Bunların 11'i iplik üretim süreci, 36'sı dokuma süreci, 7'si terbiye süreci ve 2'si de diğer süreçlerden kaynaklanmaktadır.

*Tablo 2. Atkı doğrultusunda görülen hataların süreç kaynaklı dağılımı*

<b>Hatanın Kaynaklandığı Süreç</b>	<b>Süreçten Kaynaklı Hata Sayısı</b>	<b>Atkı Doğrultusundaki Hata Sayısı</b>	<b>Süreçten Kaynaklı Hatanın Atkı Doğrultusundaki Hataya Oranı (%)</b>
İplik Üretim Süreci	11	45	24,44
Dokuma Süreci	36		80
Terbiye Süreci	7		15,56
Diğer	2		4,44
Toplam	56	45	124,44

Tablo 2'deki verilere bakıldığında ağırlıklı olarak dokuma süreci kaynaklı hatalar olmak üzere beraberinde iplik üretim süreci kaynaklı hataların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu iki süreçten kaynaklanan hataların ortaya çıkmasına sebep olan hata nedenlerine yönelik çözüm önerileri oluşturulması ve bunların çözüme kavuşturulması ile daha kusursuz dokuma kumaşların üretimi sağlanabilecektir. Hataya sebep olan her hata nedeni için bir çözüm önerisi vardır. Bazen bir çözüm önerisi ile birden fazla hata nedeninin yok olması sağlanabilmekte ve dolayısıyla daha çok hataya engel olunabilmektedir. Atkı doğrultusunda görülen iplik üretimi ve dokuma süreci kaynaklı hatalara sebep olan 123 adet farklı hata nedeni bulunmaktadır. Bu araştırma bulgularından biri Şekil 1'de gösterildiği şekliyle sadece 8 çözüm önerisi ile bu 123 farklı hata nedeninin 32'sinin (%26,02) önlenebileceğini göstermiştir.

Çözüm No	Çözüm Önerisi Açıklaması	Çözümüne Kavuşturduğu Hata Nedeni	Çözümüne Kavuşturulan Hata Adı	Etki Ettiği Hata Sayısı
1	Atkı atma sistemi gözden geçirilmelidir	Atkı atma zamanlamasının düzensizliği	Atkı Atlaması	5
		Atkı sıklık farkları	Atkı Bandı	
		Yanlış mekik atma açısı	Kısa Atkı	
		Atkının zamanından önce atılması	Kopuk atkı, düşük atkı	
		Tarak ile kumaş çekimi arasında bir mekiğin tutulmasına neden olan noksan bir atkı atma hareketi döngüsü	Mekik tutulma izi	
2	Elektronik kart, çözgü gerginlik sensörü, çözgü salma motoru ve redüktörü ile kavrama plakası gözden geçirilmeli ve arızalı parçalar değiştirilmelidir. Mekanizmada boşluk varsa giderilmelidir	Çözgü salma tertibatındaki bir hata	Atkı bandı Duruş izi, başlangıç yeri	4
		Kumaş dokunurken çözgü salınması	Atkı kırıklığı	
		Çözgünün ileri doğru erken hareketi ile atkı ipliğinin kumaşa tam yerleştirilememesi	Düzensiz atkı sıklığı	
3	Elektronik kart, kumaş sarma motoru, balatası, şanzumanı, silindir mili eksantriği, zincir gerdirme makarası kontrol edilmeli ve arızalı parçalar değiştirilmelidir. Kumaş sarma zamanlaması gözden geçirilmelidir	Kumaş sarma (çekme) sistemindeki bir hata	Atkı bandı Atkı kırıklığı Duruş izi, başlangıç yeri Düzensiz atkı sıklığı Atkı yığılması	5
4	Kalite kontrolden geçirilmiş daha kaliteli ipliklerle çalışılmalıdır	Devamlı filâman karışım ipliklerdeki yapışma noktalarının düzensizliği	Atkı kırıklığı	4
		Atkının (sentetik iplik haricindekiler) elastikiyetinin ve rutubetinin az olması	Atkıda tarak kesigi	
		Atkı ipliklerinde yapısal farklılıklar olması	Gözyaşı damlası	
		Mukavemeti düşük atkı ipliği kullanılması	Kopuk atkı, düşük atkı	
		Operatörün bobinleri yanlış takması	Atkıda bozuk renk dizimi	
5	İlgili işlemin talimatnamesi gözden geçirilmelidir ve dokumacılar uyarılmalıdır, gerekiyorsa eğitim verilmelidir	Dokumacının ayak aramaması veya ayak aramada (atkı bulmada) yanlışlık yapması	Çift atkı Eksik atkı	7
		Dokumacının dikkatsizliği	Duruş izi, başlangıç yeri	
		Dokumacının atkı ipliği kopuşu sonrası ağızlıktaki ipliği temizlememesi	Eksik atkı	
		Hatalı atkı dizilimi	Farklı atkı	
		Dokumacının kopan atkının ucunu yanlış atkıya bağlaması	Farklı atkı	
		Atkı ipliğindeki kontrol eksikliği	Farklı atkı	
		Atkı ipliğini hazırlayan çalışanın hatası	Düzensiz atkı sıklığı	
		Yere düşen ve yağlanan bobinlerin tekrar bobin kafesine takılması	Kirli atkı	
		Dokumacının dolu bobin kutusunu ve bobin kafesini kontrol etmemesi	Kirli atkı	
6	Atkı bobini doğru gerginlikte sarılmış olan bobinle değiştirilmelidir	Atkı bobininden çift kat atkı ipliği gelmesi	Çift atkı	6
		Gevşek olarak sarılmış bir atkı bobinindeki bir veya birden fazla atkı ipliğinin sarımının kayması	Dökülmüş atkı	
		Atkı ipliğinin bobine gergin şekilde sarılması	Gergin atkı	
		Yumuşak sarım/düşük gerginlikte atkı bobini kullanılması	Gevşek atkı	
		Gevşek sarılmış bobin kullanılması	Kirli atkı	
7	Atkı çatalı/sensörleri yeniden ayarlanmalı veya değiştirilmelidir	Ağızlıkta atkı ipliğinin olup olmadığını kontrol eden atkı çatalının/sensörlerinin görevini yapmaması	Eksik atkı İlmeklenmiş atkı Kopuk atkı, düşük atkı	3
8	Farklı olan bobin doğrusuyla değiştirilmeli ve bobin dairesi uyarılmalıdır	Atkı bobinlerinin arasına daha ince iplik sarılı bir bobin takılması	İnce atkı	3
		Atkı bobinlerinin arasına daha kalın iplik sarılı bir bobin takılması	Kalın atkı	
		Farklı tipte iplik kullanımı	Karışık atkı	

**Şekil 1. 8 çözüm önerisi ile atkı doğrultusundaki önlenebilen hata nedenleri ve çözüme kavuşturulan hatalar**

Sunulan bu 8 çözüm önerisi ile süreç bazında oluşumu engellenebilen hata sayıları incelendiğinde ise iplik üretim süreci kaynaklı meydana gelen toplam 11 adet hatanın 7'sine (%63,64) çözüm üretilmektedir. Benzer biçimde bu durum dokuma süreci kaynaklı hatalar incelendiğinde aynı 8 çözüm önerisi ile toplam 36 hatanın 22'sine (%61,11) çözüm üretilebildiğini göstermektedir. Bu durum çözüm üretilen yani çözüme kavuşturulan hata adlarıyla birlikte Tablo 3'de belirtilmiştir. Ayrıca yine Tablo 3'de her bir çözüm önerisi ile kaç farklı hatanın giderilmesine etki edildiği de gösterilmektedir.

**Tablo 3.** 8 çözüm önerisi ile atkı doğrultusunda çözüm üretilebilen hataların oranı ve hata adları

Hatanın Kaynaklandığı Süreç	Çözüm Üretilen Hata Sayısı	Toplam Hata Sayısı	Çözüm Üretilen Hatanın Toplam Hataya Oranı (%)	Çözüm Üretilen Hata Adları
İplik Üretim Süreci	7	11	63,64	Atkı bandı, atkı kırıklığı, atkıda tarak kesigi, karışık atkı, gergin atkı, gözyaşı damlası, eksik atkı
Dokuma Süreci	22	36	61,11	Atkıda bozuk renk dizimi, ilmeklenmiş atkı, atkı atlaması, atkıda tarak kesigi, atkı bandı, düzensiz atkı sıklığı, çift atkı, dökülmüş atkı, atkı kırıklığı, mekik tutulma izi, eksik atkı, kopuk-düşük atkı, karışık atkı, farklı atkı, ince atkı, kalın atkı, kirli atkı, kısa atkı, gergin atkı, gevşek atkı, atkı yığılması, duruş izi-başlangıç yeri

Şekil 1’de aktarılan 8 çözüm önerisiyle birlikte atkı doğrultusunda çözüm üretilen hatalar incelendiğinde hem iplik üretim süreci hem de dokuma süreci kaynaklı 6 adet ortak yani tekrarlı hata bulunmaktadır. Bu ortak hatalar (atkı bandı, atkı kırıklığı, atkıda tarak kesigi, karışık atkı, gergin atkı, eksik atkı) çıkarıldığında 8 çözüm önerisi ile 23 ayrı hatanın giderilmesine katkı sunulmaktadır. Atkı doğrultusundaki toplam 45 ayrı hata göz önüne alındığında meydana gelebilecek hataların %51,11’e kadar önlenilebileceği görülmektedir. Bu çözüm önerileri incelendiğinde 8 öneriden yarısının (1,2,3 ve 7 numaralı öneriler) mekanik problemlerden kaynaklanan hatalara getirilen çözüm önerileri diğer yarısının ise (4,5,6 ve 8 numaralı öneriler) iplik (atkı) kalitesi ve talimatlara uymamaktan kaynaklı hatalara getirilen çözüm önerilerinden oluştuğu anlaşılmaktadır. Mekanik problemlerden ve talimatlara uymamaktan kaynaklanan hata nedeni sayıları 10 iken iplik kalitesinden kaynaklanan hata nedeni sayısı 12’dir.

Atkı doğrultusunda çözüme kavuşturulan hata nedenlerinin detaylarının verildiği Şekil 1’de yer alan çözüm önerilerinin analizi yapıldığında atkı atma sisteminin gözden geçirilmesi, atkı çatalının ayarlanması veya değiştirilmesi ile çözgü salma ve kumaş sarma sistemlerinin gözden geçirilmesiyle 10 ayrı hata nedeni engellenebilmektedir. Atkı bobininde doğru gerginlikte sarılmış aynı cins ve kaliteli iplikler kullanarak 12 ayrı hata nedeni engellenebilirken işlemleri talimatlara uygun gerçekleştirerek de 10 ayrı hata nedenine engel olunabilmektedir. Belirtilen bu önlemler ile atkı doğrultusundaki iplik üretimi ve dokuma süreci kaynaklı hatalara sebep olan hata nedenlerinin 32’sinin (%26,02) önlenilebileceği bulunmuştur.

## B. ÇÖZGÜ DOĞRULTUSUNDA GÖRÜLEN HATALAR

Tablo 4’te gösterildiği üzere çözgü doğrultusunda görülen hataların her biri tek tek meydana geldiği süreç açısından incelendiğinde toplam 45 süreç temelli tekrarlı hata kaynağı bulunmaktadır. Bunların 12’si iplik üretim süreci, 25’i dokuma süreci, 8’i terbiye sürecinden kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.** Çözgü doğrultusunda görülen hataların süreç kaynaklı dağılımı

Hatanın Kaynaklandığı Süreç	Süreçten Kaynaklı Hata Sayısı	Çözgü Doğrultusundaki Hata Sayısı	Süreçten Kaynaklı Hatanın Çözgü Doğrultusundaki Hataya Oranı (%)
İplik Üretim Süreci	12		40
Dokuma Süreci	25	30	83,33
Terbiye Süreci	8		26,67
Toplam	45	30	150

Tablo 4'teki verilere bakıldığında dokuma süreci kaynaklı hatalar başta olmak üzere iplik üretim süreci kaynaklı hatalarında ikinci sırada olduğu görülmektedir. Daha mükemmel dokuma kumaş üretimi ancak oluşturulan çözüm önerileri ile bu iki süreçten kaynaklanan hataların ortaya çıkmasına sebep olan hata nedenlerinin çözüme kavuşturulması ile sağlanabilir.

Çözgü doğrultusunda görülen iplik üretimi ve dokuma süreci kaynaklı hatalara sebep olan 78 adet farklı hata nedeni bulunmaktadır. Bu araştırma bulgularından bir diğeri Şekil 2'de belirtildiği üzere sadece 8 çözüm önerisi ile bu 78 hata nedeninin 19'unun (%24,36) önlenebileceğini göstermektedir.

Çözüm No	Çözüm Açıklaması	Çözüme Kavuşturduğu Hata Nedeni	Çözüme Kavuşturulan Hata Adı	Etki Ettiği Hata Sayısı
1	Çözgü hazırlamada çalgık dizimiyle ilgili işlemin talimatnamesi gözden geçirilmelidir ve dokuma hazırlık dairesi uyarılmalıdır, gerekiyorsa eğitim verilmelidir	Çözgü bobinlerinin içine kalın iplik sarılı farklı bir bobin karışması	Çatlak Kalın çözgü	4
		Çözgü hazırlayanların çalgığa yanlış bobin takması	Çözgü yolu	
		Çözgü bobinlerinin içine ince iplik sarılı farklı bir bobin karışması	İnce çözgü	
2	Tarak dişi düzeltilmelidir, düzeltilmezse değiştirilmelidir	Tarak dışındaki açılma ya da eğrilik	Çatlak Tarak yolu	3
		Tarak dişinin hasarlı olması	Çözgü sıyırılması	
3	Düzgünlük değerleri kalite kontrolden geçirilmiş iplik kullanılmalıdır	Çözgü ipliğindeki düzgünlük ve kalite sorunu	Çözgü atlaması	3
			Çözgü düzgünlüğü	
4	İplik dairesi/tedarikçisi uyarılmalıdır, gerekirse eğitim verilmelidir	Düzensiz harman nedeniyle boya alımının değişmesi	Çözgü yolu	3
		Büküm ve bobin dairelerinde ipliklerin karıştırılması	Çözgü yolu	
		Mat, yarı mat gibi farklı matlık içeren ipliklerin karışması	Parlayan çözgü	
		İplik harmanlarının karışması	Karışık çözgü	
5	Dokuma hazırlık işlemlerinde iplik frenleyicilerin ayarları gözden geçirilmelidir	Dokuma hazırlıkta (çalgık, seri-konik çözgü makineleri) çözgü geçirilirken iplik frenlerinin yanlış ayarlanması	Gergin çözgü	3
			Gevşek çözgü Yay çözgü	
6	İlgili işlemin talimatnamesi gözden geçirilmelidir, dokuma hazırlık dairesi ve dokumacılar uyarılmalıdır, gerekiyorsa düğüm atma eğitimi verilmelidir	Çözgüde bulunan standart dışı düğümlerin tarak dişlerinden geçinceye kadar tarağa sıkışması	Gergin çözgü	3
		Çözgüye standart dışı ya da zayıf düğüm atılmasından kaynaklı sürekli kopuşların olması	Gevşek çözgü Kopuk çözgü	
		Dokumacının çözgü kopuşunu giderdikten sonra çözgüyü çok fazla gerdirmesi	Gergin çözgü	
7	İlgili işlemin talimatnamesi gözden geçirilmelidir ve dokumacılar uyarılmalıdır, gerekiyorsa eğitim verilmelidir	Dokumacının çözgü kopuşunu giderdikten sonra çözgü ipliğini yeterince gerdirmemesi	Gevşek çözgü	5
		Dokumacının yağlı, kirli ellerle kopuk alması veya çözgüye dokunması	Kirli çözgü	
		Dokumacının çözgü kopuklarını giderirken tahar raporuna dikkat etmemesi	Yanlış tahar	
		Çözgü kopuğu alırken dokumacının dikkat etmemesi	Çift çözgü	
8	Yeniden tahar yapılmalıdır	Tarak taharı (dizim) hatası	Tarak yolu	3
			Yanlış tahar	
			Çözgü bandı	

**Şekil 2.** 8 çözüm önerisi ile çözgü doğrultusundaki önlenilen hata nedenleri ve etki ettiği hatalar

Sunulan bu 8 çözüm önerisi ile oluşumu engellenebilen hata sayıları incelendiğinde, iplik üretim süreci kaynaklı meydana gelen toplam 12 adet hatanın 7'sine (%58,33) çözüm üretilmektedir. Dokuma süreci kaynaklı hatalar ele alındığında ise aynı 8 çözüm önerisi ile toplam 25 hatanın 16'sına (%64) çözüm üretilebildiği ortaya çıkmaktadır. Çözüm üretilen yani çözüme kavuşturulan hata adları ile her bir çözüm önerisinin kaç farklı hatanın giderilmesine etki ettiğini gösteren bilgiler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** 8 çözüm önerisi ile çözgü doğrultusunda çözüm üretilen hataların oranı ve hata adları

Hatanın Kaynaklandığı Süreç	Çözüm Üretilen Hata Sayısı	Toplam Hata Sayısı	Çözüm Üretilen Hatanın Toplam Hataya Oranı (%)	Çözüm Üretilen Hata Adları
İplik Üretim Süreci	7	12	58,33	Çözgü atlaması, parlayan çözgü, karışık çözgü, kopuk çözgü, çözgü bandı, çözgü yolu, çözgü düzgünlüğü
Dokuma Süreci	16	25	64	Çözgü atlaması, çözgü yolu, karışık çözgü, gergin çözgü, gevşek çözgü, çözgü sıyrılması, ince çözgü, kalın çözgü, kirlili çözgü, kopuk çözgü, tarak yolu, yanlış tahar, çözgü bandı, çatlak, yay çözgü, çift çözgü

Şekil 2’de bahsedilen 8 çözüm önerisi ile çözgü doğrultusunda çözüm üretilen hatalar incelendiğinde hem iplik üretim süreci hem de dokuma süreci kaynaklı 5 adet ortak hata (çözgü atlaması, karışık çözgü, kopuk çözgü, çözgü bandı, çözgü yolu) bulunmaktadır. Bu ortak hatalar çıkarıldığında 8 çözüm önerisi ile 18 ayrı hatanın giderilmesine katkı sunulmaktadır. Makalenin giriş bölümünde de belirtildiği üzere çözgü doğrultusundaki toplam 30 hata göz önüne alındığında meydana gelebilecek hataların %60’a kadar önlenilebileceği görülmektedir. Bu çözüm önerileri incelendiğinde 8 öneriden yarısının (1,6,7 ve 8 numaralı öneriler) talimatlara uymamaktan kaynaklı hatalara getirilen çözüm önerilerinden oluştuğu görülmektedir. Kalan önerilerden ikisi (2 ve 5 numaralı öneriler) mekanik problemlerden kaynaklanan hatalara getirilen çözüm önerileri diğer ikisi de (3 ve 4 numaralı öneriler) iplik (çözgü) kalitesi kaynaklı hatalara getirilen çözüm önerilerinden oluştuğu anlaşılmaktadır. Talimatlara uymamaktan kaynaklanan hata nedeni sayısı 11 iken mekanik problemlerden kaynaklanan hata nedeni sayısı 3, iplik kalitesinden kaynaklanan hata nedeni sayısı 5’tir.

Çözgü doğrultusunda çözüme kavuşturulan hata nedenlerinin detaylarının verildiği Şekil 2’de yer alan çözüm önerilerinin analizi yapıldığında işlemleri talimatlara uygun gerçekleştirerek ve operatörlere eğitim vererek çağlık dizimi, tahar dizimi, düğüm gibi hataların oluşmasının önüne geçilip 11 ayrı hata nedeni engellenebilir. Tarak dişi ve iplik frenleyicilerin kontrolleri ile 3, iplik harmanı ve kalitesinin kontrolü ile de 5 ayrı hata nedenine engel olunabilmektedir. Belirtilen bu önlemler ile çözgü doğrultusundaki iplik üretimi ve dokuma süreci kaynaklı hatalara sebep olan hata nedenlerinin 19’unun (%24,36) önlenilebileceği tespit edilmiştir. Atkı ve çözgü doğrultusunda çözüm üretilen hataların tanımları Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6.** Atkı ve çözgü doğrultusunda çözüm üretilen hatalar ve tanımları

Hata Adı	Hatanın Açıklaması
Atkı atlaması	Bir ya da birkaç atkı telinin, bir veya birkaç çözgü teli üzerinden örgüye uygun bağlantı yapmaksızın atlamasıdır.
Atkı bandı	Bitişindeki normal kumaş zemininden görünüm olarak farklılık arz eden, kolaylıkla seçilebilen tam olarak belirlenmiş kenarları olan bir bant.
Atkı kırıklığı	Kumaşın tamamına veya bir kısmına rastgele dağılmış ince, atkı doğrultusundaki kırıklar.
Atkıda bozuk renk dizimi	Bir kumaşta renk raporundan farklı dizilimde görünen boyanmış atkı iplikleri.
Atkıda tarak keşiği	Kısmî olarak kesilmiş atkı ipliği.
Çift atkı	Aynı ağırlıkta, iki atkı ipliğinin, tek atkı ipliği gibi dokunması sonucu görülen hatadır. Kumaşın tam eninde görülür.
Dökülmüş atkı	Belirli bir genişlikteki bölgede, bir atkı ipliğinin farklı kalınlıklara sahip olması.
Duruş izi, başlangıç yeri	Açıkça görülen bir başlangıç olan ve normal kumaş ile kademeli birleşen daha yüksek veya daha düşük atkı yoğunluğundaki bir bant.
Eksik atkı	Kumaşta atkı atılmamış çubuk şeklindeki bir bölge. Atkı ipliğinin kopması nedeniyle kumaşta bir atkı eksikliği şeklinde görülür.
Farklı atkı	İstenen dokuma deseni raporunun bütünlüğünü bozan bir atkı ipliği.

*Tablo 6 (devamı). Atkı ve çözgü doğrultusunda çözüm üretilen hatalar ve tanımları*

Gergin atkı	Bitişik atkı ipliklerinden daha büyük gerilim altında olan veya düşük kıvrıma sahip olan bir atkı ipliği.
Gevşek atkı	Bitişik atkı ipliklerine göre biraz büzülmüş olarak görünen, yeterli gerginlikte atılamamış bir atkı ipliği.
Gözyaşı damlası	Bezayağı veya diğer bir temel örgüye ve sürekli filâman çözgü ipliklerine sahip bir kumaşta ışık yansımaları farklılıklarına neden olan, bir veya daha çok bitişik atkı ipliğinin kısa eliptik sapma görünümü oluşturması.
İlmeklenmiş atkı	Atkı ipliğinde gerilim farkı ya da büküm kaynaklı oluşan ilmekler ve kıvrılmalar.
İnce atkı	Kumaşta diğer atkı tellerine göre gözle görülebilir derecede ince olan atkı ipliğidir. İplik çizgisel yoğunluğunun görece düşük olması.
Kalın atkı	Kumaşta diğer atkı tellerine göre gözle görülebilir derecede kalın olan atkı ipliğidir. İplik çizgisel yoğunluğunun görece yüksek olması.
Karışık atkı	Bitişik atkı ipliklerine göre farklı özelliklerdeki iki veya daha fazla atkı ipliği.
Düzensiz atkı sıklığı	Atkı yoğunluğundaki bir artma - azalma nedeniyle oluşan, kumaşın diğer kısımları ile karşılaştırıldığında belirgin olarak görünen bir bant.
Kısa atkı	Kumaşın yüzü veya arkasında genellikle birkaç çözgü ipliği üzerinde görünen atkı doğrultusundaki bir iplik atlaması.
Kirli atkı	Kir, yağ veya diğer kirleticiler ile rengi bozulmuş ya da kirlenmiş olan atkı.
Kopuk atkı, düşük atkı	Kumaşın eni doğrultusunda sadece bir kısımda bulunan bir atkı ipliği.
Mekik tutulma izi	Mekiğin boyutlarına karşılık gelen bir alan üzerinde yayılan bir dokuma kusuru veya sınırlı bir bölgedeki kumaş büzülmesi.
Atkı yığılması	Kumaş üzerinde atkı yönünde iplik düzgünlüğü veya sıklık şeklinde görünen hatadır. Atkı ipliğinin gerekenden uzun atılarak fazlalığın yığılma halinde atkıda bulunmasıdır. Yığılan iplik çekildiğinde kopuk olmadığı görülür.
Çatlak	İki bitişik iplik arasında belirgin bir boşluk biçiminde görünen, çözgü ipliklerine paralel olarak giden dar bir çizgi. Oluşan bu boşluk kadife kumaşlarda tıraş işlemi sonucu hata olarak görünür.
Çözgü atlaması	Çözgü ipliğinin aralıksız birçok atkı ipliğinin üzerinden atlayarak dokumaya girmemesidir.
Çözgü yolu	Çözgü ipliğinin bobin ya da çözgü levendi formunda boyanması sırasında oluşan, genişliği veya uzunluğu değişen çözgü doğrultusundaki hafif renk değişimidir.
Gergin çözgü	Bitişik normal çözgü ipliklerinden daha az kıvrım gösteren bir çözgü ipliği. Atkı ipliklerinin baskın olduğu yüzeylerde daha sık rastlanır.
Gevşek çözgü	Diğer çözgü ipliklerine göre büzülmüş görünen, yeter gerginlikte olmayan bir çözgü ipliği.
İnce çözgü	Kumaşta diğer çözgü tellerine göre gözle görülebilir derecede ince olan çözgü ipliğidir. İplik çizgisel yoğunluğunun görece düşük olması.
Kalın çözgü	Kumaşta diğer çözgü tellerine göre gözle görülebilir derecede kalın olan çözgü ipliğidir. İplik çizgisel yoğunluğunun görece yüksek olması.
Kirli çözgü	Kir, yağ veya diğer kirleticiler ile rengi bozulmuş ya da kirlenmiş olan çözgü.
Kopuk çözgü	Kumaşın tamamı veya bir kısmında çözgü ipliğinin bulunmadığı, çözgü doğrultusundaki bir çubuk.
Tarak yolu	Atkı ipliklerinin baskın olduğu yüzeylerde daha çok ortaya çıkan, sürekli çizgi şeklinde çözgü doğrultusunda görülen ve eksik iplikten kaynaklanmayan açıklık.
Yanlış tahar	Çözgü ipliklerinden bir veya birkaçının belirlenen tahar planından farklı güçlerden veya tarak dişlerinden yanlış geçirilmesi sonucu kumaşta çözgü boyunca görülen hatadır.
Yay çözgü	Kumaştaki bir çözgü ipliğinin aşırı eğriliği.
Çift çözgü	İki çözgü ipliğinin, bir çözgü ipliği gibi aynı gücü gözü ve tarak dişinden geçirilmesinden dolayı kumaşın çözgü boyunda görülen hatadır.
Çözgü bandı	Kumaşın boyu doğrultusunda düşey bantlar biçiminde görünen hatadır.
Çözgü düzgünlüğü	Çözgü ipliğindeki incelikler ve kalınlıklar şeklinde görülen kısa periyotlu düzgünlüklerdir.
Çözgü sıyrılması	Çift katlı çözgü ipliğinin katlarından birinin kopup (sıyrılıp) kumaş içine tek kat girmesi ve sıyrılan bölümün bir noktada toplanması
Karışık çözgü	Bitişik çözgü ipliklerine göre farklı özelliklerdeki iki veya daha fazla çözgü ipliği.
Parlayan çözgü	Bitişik ipliklerden daha parlak olan bir çözgü ipliği.



## **IV. SONUÇ**

Dokuma kumaşların atkı ve çözgü doğrultusunda karşılaşılan hatalarından iplik üretim süreci ve dokuma süreci aşamalarında meydana gelenleri araştırılmıştır. Literatürün yanı sıra özellikle uzman kişilerle yapılan görüşmeler bu araştırmaya zenginlik katmıştır. Uzman kişilerle tek tek hata adları, tanımları, hata nedenleri ve çözüm önerileri konuşularak detaylı bilgiler elde edilmiştir. Araştırma bulgularından da anlaşılacağı üzere bu süreçlerde ortaya çıkan atkı doğrultusundaki 32 farklı hata kaynağının (kök nedenin) sadece 8 çözüm metodu kullanılarak önlenebileceği ve bu hata kaynağı sayısının atkı doğrultusundaki bütün hata kaynaklarının %26,02'sini oluşturduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu çözüm önerileri ile atkı doğrultusunda oluşan 45 hatadan 23'ünün (%51,11) oluşumunun engellenebileceği veya tekrar oluşmasının önüne geçilebileceği görülmüştür. Benzer şekilde çözgü doğrultusundaki 19 farklı hata kaynağının da yine farklı 8 çözüm metodu kullanılarak önlenebileceği ve bu hata kaynağı sayısının çözgü doğrultusundaki bütün hata kaynaklarının %24,36'sını oluşturduğu saptanmıştır. Bu durumun hata sayılarına yansımaları incelendiğinde çözgü doğrultusunda oluşan 30 hatadan 18'inin (%60) oluşumunun engellenebileceği veya tekrar oluşmasının önüne geçilebileceği görülmüştür. Burada dikkat çeken bir başka husus da kaliteli ve aynı cins iplik kullanımı, makinelerin parçalarının düzenli bakımı ve çalışanların belirtilen talimatlara uyması ile çok büyük miktarlarda yatırım yapılmasına gerek olmadan hataya sebep olan hata kaynaklarının birçoğunun düzeltilenebileceğidir. Atkı doğrultusunda görülen 32 farklı kök nedene bakıldığında iplik kalitesi (%37,5), mekanik bakım (%31,25) ve çalışanların talimatlara uymaması (%31,25) kök nedenleri yüksek oranlarda ancak dengeli bir dağılım gösterirken çözgü doğrultusunda görülen hatalarda 19 kök nedenin 11 tanesini (%57,89) çalışanların talimatlara uymaması oluşturmaktadır. Bu verilerden ortaya çıkan bir başka sonuç ise işletmelerin çalışanlarına düzenli eğitim vererek, moral ve motivasyonlarını yükseltecek organizasyonlar gerçekleştirerek çalışanlarının verimliliğini artırması gerekliliğidir. Çalışan veriminin artması ortaya çıkacak hata nedenlerini ve dolayısıyla kumaş hatalarını azaltacak böylece daha kusursuz, daha hızlı ve verimliliği yüksek üretimlerin gerçekleşmesine önemli katkı sağlayacaktır.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 116M084 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] J. B. Goldberg, *Fabric Defects - Case Histories of Imperfections in Woven Cotton and Rayon Fabrics*, New York, USA: McGraw-Hill, 1950, pp. 371.
- [2] MEGEP, *Giyim Üretim Teknolojisi, Kumaş Kontrolü Eğitim Modülü*, Ankara, Türkiye: Milli Eğitim Bakanlığı, 2007, 41s.
- [3] K. Yıldız, "Kumaş hatalarının ısı görüntüleme ve görüntü işleme teknikleri ile tespit edilmesi," Doktora tezi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [4] A. Acar, "Denim kumaş hatalarının optimizasyonuna yönelik çözüm önerileri," Yüksek lisans tezi, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [5] S. Islam, "Report on defects of woven fabrics and their remedies," B.S. thesis, Department of Textile Engineering, Daffodil International University, Dacca, 2014.
- [6] D.M. Ala, "Dokuma kumaş hatalarının görüntü analizi yöntemiyle sayısallaştırılması," Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2008.

- [7] Ö.D. Kısaoğlu, “Orta büyüklükte bir dokuma işletmesinde istatistiksel proses kontrol sistemi: I. kumaş hatalarının kontrolü,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 16, sayı 3, s. 291-301, 2010.
- [8] H. Özdemir, “Yapay sinir ağları ve dokuma teknolojisinde kullanımı,” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, cilt 7, sayı 1, ss. 51-68, 2013.
- [9] Anonymous, (2024, July 11). [Online]. Available: <https://www.cottoninc.com/quality-products/textile-resources/fabric-defect-glossary/>
- [10] Anonymous, (2024, July 11). [Online]. Available: <https://www.cottoninc.com/quality-products/textile-resources/fabric-defects-classification/>
- [11] *Dokuma kumaşlar – hata tarifleri – terimler standardı*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 471 ISO 8498, 2005.
- [12] H.İ. Çelik, L.C. Dülger, and M. Topalbekiroğlu, “Development of a machine vision system: real-time fabric defect detection and classification with neural networks,” *The Journal of the Textile Institute*, vol. 105, no. 6, pp. 575-585, 2014.
- [13] B.E. Goldberg, K. Evenhart, R. Stevens, N. Babbitt III, P. Clemens and L. Stout, *System Engineering “Toolbox” for Design-Oriented Engineers*, Alabama, USA:NASA, 1994, pp. 306.
- [14] Ö. Özkılıç, *İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri*, 3. baskı, Ankara, Türkiye: TİSK Yayınları, 2005, ss. 244.
- [15] B. Barış ve H.Z. Özek, “Dokuma kumaş hatalarının sistematik sınıflandırılması üzerine bir çalışma”, *Tekstil ve Mühendis*, cilt 26, sayı 114, ss. 156-167, 2019.
- [16] J.A. Doshi, J.D. Kamdar, S.Y. Jani and S.J. Chaudhary, “Root cause analysis using Ishikawa diagram for reducing radiator rejection,” *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 2, no. 6, pp. 684-689, 2012.
- [17] A.M. Burhanuddin and W. Sutopo, “Analysis of yarn quality control using FMEA and FTA methods to minimize the occurrence of non-conforming product (NCP) PT. XYZ,” *First Australian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Sydney, Australia, 2022, pp. 110-119.
- [18] N.G. Mutlu and S. Altuntaş, “Risk analysis for occupational safety and health in the textile industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET methods,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 72, pp. 222-240, 2019.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Review Article

## Upstream and Downstream Processes of rFVIII Recombinant Protein Manufacturing in Respect to Fluid Flow, Mixing, Heat and Mass Transfer

 Tevfik Gemci <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Synergy CF Consulting LLC, 1250 S Rainbow Blvd, Las Vegas, NV 89146, USA

\* Corresponding author's e-mail address: tgemci@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1300873

### ABSTRACT

The intrinsic blood coagulation pathways depend heavily on factor VIII, a glycoprotein cofactor. Hemophilia A, an X-linked dominant disease, is treated with FVIII, a very complex therapeutic protein commercially available. It is currently one of the most extensive and significant coagulation factors. Two isolated plasma and recombinant lyophilized FVIII concentrates are used to treat hemorrhagic illness in hemophilia A sufferers. Plasma-extracted products separated from humanoid blood can be substituted with recombinant FVIII (rFVIII) products, which are free of both humanoid and carnal proteins and transcribed in eukaryotic cells. In regard to fluid flow, mixing, heat, and mass transfer phenomena, the upstream and downstream manufacturing processes of rFVIII will be briefly reviewed in this publication.

**Keywords:** Recombinant protein rFVIII manufacturing, Upstream and downstream processes, Cell growth in bioreactors, Fluid flow, Heat and mass transfer

## rFVIII Rekombinant Protein Üretiminde Sıvı Akışı, Karıştırma, Isı ve Kütle Transferi: Yukarı Akış ve Aşağı Akış Süreçleri

### ÖZ

Ana kan pıhtılaşma yolları, büyük ölçüde bir glikoprotein kofaktörü olan faktör VIII'e bağlıdır. X'e bağlı baskın bir hastalık olan Hemofili A, ticari olarak temin edilebilen çok karmaşık bir terapötik protein olan FVIII ile tedavi edilir. Şu anda en kapsamlı ve önemli pıhtılaşma faktörlerinden biridir. Hemofili A hastalarında hemorajik hastalığı tedavi etmek için iki izole edilmiş plazma ve rekombinant liyofilize FVIII konsantresi kullanılır. İnsan kanından ayrıştırılan plazmadan elde edilmiş ürünler hem insansı hem de hayvansal protein içermeyen ve ökaryotik hücrelerde kopyalanan rekombinant FVIII (rFVIII) ürünler ile ikame edilebilir. Sıvı akışı, karıştırma, ısı ve kütle transferi olayları ile ilgili olarak, rFVIII'in yukarı akış ve aşağı akış üretim işlemleri bu makalede kısaca gözden geçirilecektir.

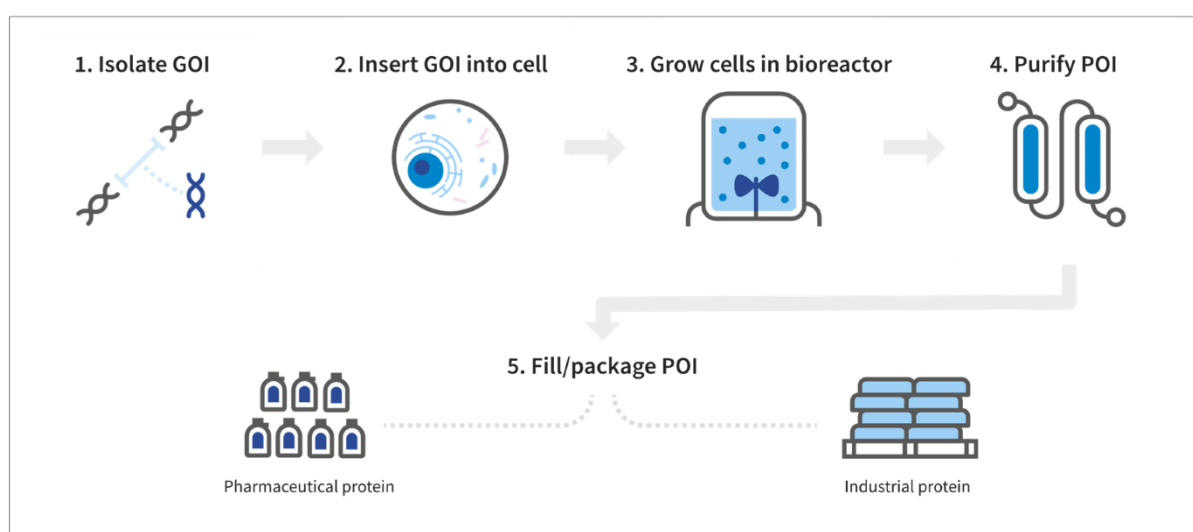
**Anahtar Kelimeler:** Rekombinant protein rFVIII üretimi, Yukarı akış ve aşağı akış süreçleri, Biyoreaktörlerde hücre çoğalması, Sıvı akışı, Isı ve kütle transferi

## I. INTRODUCTION

Hemophilia, a bleeding disorder, is treated with recombinant activated factor VIII (rFVIII), a protein. A kilogram of rFVIII protein costs roughly \$9.6 billion and is produced using the Chinese Hamster Ovary (CHO) cell line [10]. Hemophilia is a collection of diseases brought on by a lack of the blood-clotting factor VIII (FVIII), an X-linked genetic coagulopathy [2], [5]. They can be identified by the chronic bleeding that occurs after an injury, trauma, menstruation, or surgery. Sometimes the bleeding occurs spontaneously and without apparent cause. The blood coagulation system cannot function without blood clotting factor VIII (FVIII). Recombinant FVIII is used to treat hemophilia A, which is caused by an inability to produce functional FVIII [8]. In general, biologic drug use in patients requires large-scale expansion systems while maintaining the quality of the cells. Single-use bioreactors have been suggested by regulatory agencies (European Medicines Agency (EMA) and US Food and Drug Administration (FDA) due to lowering the risk of product contamination [28].

## II. BASICS OF THE rFVIII RECOMBINANT PROTEIN MANUFACTURING in RESPECT TO FLUID FLOW, MIXING, HEAT AND MASS TRANSFER PHENOMENA

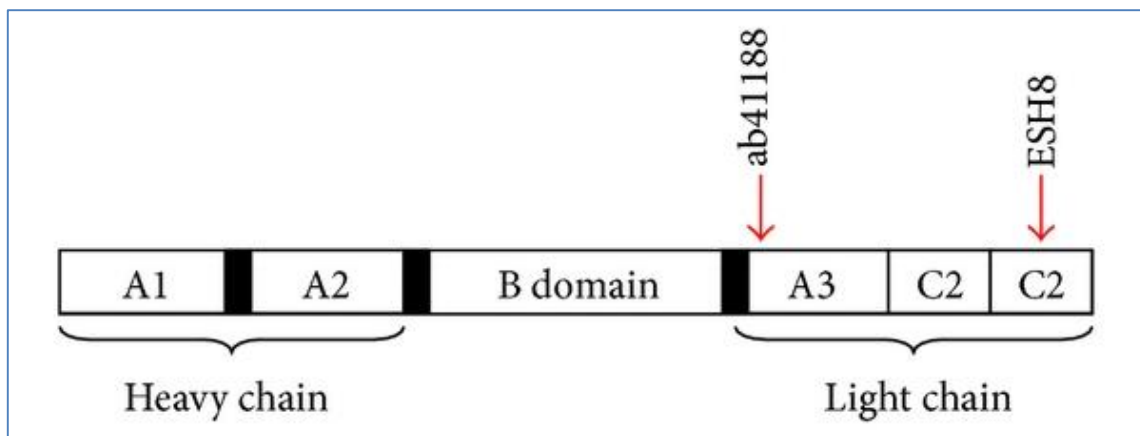
The basic manufacturing procedure for a recombinant protein, rFVIII, begins with the gene of interest (GOI) and ends with the protein of interest (POI), as shown in the simplified method in Figure 1 [10]. To create rFVIII POIs, the appropriate nucleic acid sequence must first be extracted from hamster GOIs. By using the hamster genome sequence that is readily available, direct DNA synthesis is used to clone DNA sequences. A suitable host system is then used to create GOIs' expression plasmids, creating a recombinant cell that may be frozen for later use. To start a production run, cultures are produced from vials of frozen cell banks. Harvests are often carried out when cultures in batch cultures reach a high cell density. Following harvest, the production medium and cells containing the rFVIII POIs undergo additional processing for purification, filling, finishing, and packaging before being distributed [3], [10]. The following section will go into detail on the manufacturing procedures. However, for the sake of simplicity, the filling, finishing, and packing procedures will not be described here.



*Figure 1. Simplified process scheme of rFVIII from GOIs (FVIII) to POIs (rFVIII) [10]*

## A. UPSTREAM PROCESS FOR GOIs (ANTI-HEMOPHILIC FACTOR PROTEIN) ISOLATION

GOI is an anti-hemophilic factor protein, and it is tested using a fluorescence-activated cell sorting method to detect the anti-hemophilic factor protein in peripheral blood mononuclear cells (PBMCs). The FVIII protein's schematic diagram is displayed in Figure 2 [9]. Factor VIII (FVIII) is an essential blood-clotting protein, also known as anti-hemophilic factor (AHF). In humans, factor VIII is encoded by the *F8* gene. Defects in this gene result in hemophilia A, an X-linked coagulation disorder. Factor VIII are produced in liver sinusoidal cells and endothelial cells outside the liver throughout the body [27]. ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) and Western blotting are frequently employed and are more appropriate methods to identify protein expression *in-vivo*. The simultaneous analysis of the levels of FVIII protein production by various kinds of cells is not possible with these approaches, though. For this reason, the GOIs' isolation procedure can make use of the flow cytometry method. Using the fluorescence-activated cell sorting method, the protoplasmic content of FVIII in patient cell and tissue samples as well as heterologous gene processing systems may be determined and compared [6]. An ICS (indirect intracellular staining) technique can be used to investigate the internal and temporary processing levels of the cytoplasmic FVIII protein in the CHO eukaryotic cell population. This ICS method can also be utilized to find the internal processing level of the cytoplasmic FVIII protein in humanoid PBMCs.



**Figure 2.** FVIII protein flowchart illustrating the binding antigenic determinant of ESH8 and ab41188, two anti-FVIII laboratory-produced molecules. While ESH8 binds to the C2 region of the FVIII protein, the laboratory-produced molecule ab41188 binds to the N terminus of the A3 region [9]

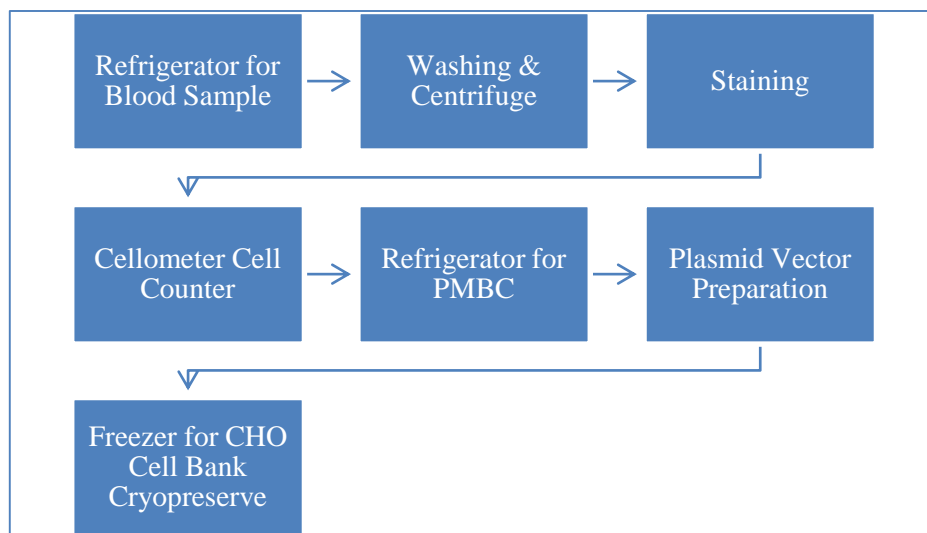
### A.1. PMBC Preparation Process

The following steps are a part of the PMBC preparation process flow diagram shown in Figure 3 [9]. Heparinized venous blood is gathered by the National Institutes of Health Blood Bank from healthy, unrelated registered blood donors [19]. Centrifugal force is used to separate mononuclear cells on a lymph-cell isolation reagent. Following a 1 in 1 blood dilution with phosphate-buffered saline (PBS) at pH level of 7.4, 5 milliliters of lymph-cell isolation reagent can be added to the 50 milliliter BD Falcon tube. After centrifuging at 250 g for 30 minutes to separate the platelets, the white blood cells and platelets comprising mononuclear cells are collected in a 50-milliliter tube and rinsed twice with PBS and bovine serum albumin. Prior to flow cytometer measurement, cells are suspended in 200 liters of 1 percent paraformaldehyde in PBS. After centrifugation, intracellular staining is carried out using principal mice anti-humanoid FVIII unlabeled laboratory-produced molecules ab41188 by Abcam

Incorporated [20] and ESH8 by American Diagnostica Incorporated. Laboratory-produced molecule ab41188 connects the N terminus of the A3 region of the FVIII protein as ESH8 connects to a C2 region in the protein. After trypan blue staining, the viable cell count is calculated using a Cellometer cell counter.

## A.2. Plasmid Vector Preparation

The following steps comprise the plasmid vector preparation [9]: To produce the FVIII protein, a plasmid vector with a framework derived from the pcDNA3 cellular inclusion containing an ampicillin-resistant gene was developed. The complementary DNA with polyA tail (cDNA-polyA) cassette is contained in the plasmid vector and is controlled by a potent CMV (cytomegalovirus) activator and a favorable neomycin (Neo) antibiotic resistance gene. One can use the HOW1-WT plasmid, which has cDNA, for the H3 haplotype of the human FVIII (Factor VIII) long isoform [12]. The plasmid vector is created by genOway in France [21] and purified using CsCl (caesium chloride) differential centrifuge by Loftstrand Labs Ltd in Maryland, USA [22].



*Figure 3. GOIs isolation process steps*

## B. UPSTREAM PROCESS FOR INSERTING GOIs INTO CELL

The steps involved in inserting GOIs into a cell include preparing the cell culture, transfecting the prepared culture, incubating the culture, and harvesting the culture. After harvesting, Flow Cytometry analysis is used to examine intracellular FVIII expression.

### B.1. Cell Culture and Transfection

Factor VIII gene constructs are transferred with a GeneJet DNA *in-vitro* immunoblotting solution produced by SignaGen Laboratories in MD, USA [24] in a 3-in-1 compound proportion. Following six hours of contact time, full DMEM cultivation media with ten percent FBS is substituted for the immunoblotting solution including media. CHO cells are collected after 16 hours of transfection time and a fluorescence-activated cell sorting method is used to identify the cytoplasmic FVIII expression. CHO cell banks are cryopreserved (cryopreservation is the process of cooling and storing cells) in the freezer at -80°C until the production-scale process.

## **B.2. Flow Cytometer Analysis**

A procedure is used to cultivate CHO cells in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) with ten percent FBS (Fetal Bovine Serum) and five percent CO<sub>2</sub> at 37°C. Using 0.025 percent trypsin EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid), cells in the exponential development phase are separated from a tissue culture dish. A 25 cm<sup>2</sup> flask is inoculated with 10<sup>6</sup> of these cells and 5-milliliter DMEM with ten percent FBS manufactured by Invitrogen-Thermo Fisher Scientific [23]. Pandey *et al* (2013) indicate that the fresh medium cell growth is reloaded after 24 hours of incubation with 60-80% confluence for an additional 1 hour before transfection [9]. After CHO cells have been transfected, transfection effectiveness can be measured by discoloration with a laboratory-produced molecule to the FVIII protein. After being extracted, microorganism cells are twice cleaned in a washing buffer. Utilizing IntraPrep permeabilization reagents, microorganism cells can be fixed and made permeable before being incubated for an hour at room temperature with 1 in 100 dilutions of laboratory-produced molecules in 0.2 percent Bovine Serum Albumin in phosphate-buffered saline. Laboratory-produced goat anti-mice secondary molecule coupled with Alexa Flour 488 (a powerful green-fluorescent pigment with illumination that works well with a 488-nanometer laser wavelength) can be used to identify the expression of the FVIII protein. Following these steps, the flow cytometry data can be examined and analyzed using FlowJo, a program developed by Tree Star, OR, USA [25]. The intensity of the cells located inside a predetermined gate can be used to define the fluorescence signal average and middle values. To assess the appropriate gating for the living cells, cells that have not been dyed and rendered permeable are displayed on forward scatter cells versus side scatter cells dot plot. Two optical detectors can be used in flow cytometry to measure the light scattered by cells: the side scatter cell measures scatter at a 90° angle from the laser while the forward scatter cell detects scatter along the laser's path. While the side scatter cell refers to the complexity or granularity of the cell, the forward scatter cell refers to the size of the cell. Then, for all samples in the same experiment, the same gating parameters should be used.

## **C. UPSTREAM PROCESS FOR GROWING CELLS IN A BIOREACTOR WITH RESPECT TO FLUID FLOW, MIXING, HEAT, AND MASS TRANSFER PHENOMENA**

Utilizing the pricey perfusion technique in stainless steel fermenters, recombinant FVIII for sale on the market can be created. CHO cells can also be used to make a complete recombinant human FVIII in recently developed batch-fermenting disposable single-use bioreactors [3], [4], [16], [26]. A single-use bioreactor (SUB) which has a 2000-liter volume, a 5:1 turndown ratio, adjustable stirred-tank mixing, and open-architecture control flexibility can be employed. It contains ports for monitoring sampling and liquid transfers as well as venting, sparging, and temperature sensor components. In contrast to conventional monitoring probes, it offers the advantages of 1) minimizing cleaning or sterilizing, 2) assisting in lowering the danger of cross-contamination, 3) allowing customization to the production volume, and 4) assisting in avoiding the costs associated with purchasing a new control system.

### **C.1. Preparation of Cell Culture Medium and Reagents for Cell Growth in a 2000 Liter SUB Bioreactor**

The 2000-liter SUB can be utilized as a bioreactor [18]. The cell culture media preparation process in a 2000-liter SUB consists of the following: By hydrating 17.2 g/liter in a 1980-liter WFI (Water For Injection) water at about 90 percent of the ultimate volume (2200 liter), 34.056 kg of cell culture powder can be converted into enough CHO cell culture medium (ThermoFisher Catalog # 670006) to finish the

campaign (about 2200 liter). 4.456 kg of sodium bicarbonate is added at a concentration of 2.2 g/liter and stirred until dissolved after the cell culture medium has completely dissolved. Following the dissolution of 1.148 kg of l-glutamine at 0.58 g/liter, 1.98 kg of pluronic (a non-ionic surfactant) are added at 1.0 g/liter. After that, the solution is diluted to its full strength and blended for a further 30 minutes. Then, using 0.2-nanometer sterile filtration, the solution is transferred into gamma-irradiated, sterile Thermo Scientific BioProcess Containers (BPCs).

## **C.2. Cells, scale-up, and production scale process in a 2000 Liter SUB**

During scale-up, CHO cells are defrosted from a cryopreserved cell bank and passaged on a schedule of three to four days, with seeding densities of roughly  $2.5 \times 10^5$  viable cells per milliliter. Only batch culture, with no feeding, is used for cell culture. The approximate culture volume (2000 liter) and vessel volume (2000 liter) make up the seed train volume (2x2000 liter). The dissolved oxygen ( $dO_2$ ), pH, temperature, and agitation set points in bioreactors are monitored and maintained by bioreactor controllers. Temperature 37°C, pH 7.0, impeller speed 80 rpm, and a minimum dissolved oxygen level of 30% are the parameters required for CHO cultivation [11]. Cell population density, viability, and culture biochemistry are checked at least once each day. Although the non-fed batch cultures would generally be maintained for about 7-8 days [18], the 2000-liter bioreactors should be operated for a total of 21 days in order to evaluate sterility.

## **C.3. Downstream Processes for Purifying POIs (rFVIII)**

To maximize the cleanliness and safety from pathogens of rFVIII, a purification procedure is required. This procedure entails 1) a cell elimination phase by centrifugal force separation and filtering, 2) 2 filtering operations, and 3) 5 chromatography purification column phases. The purification steps of the rFVIII are shown in Figure 4 [15].

- Step 1: Harvest (salt extraction and cell removal) by Bio20 STAX (Pall Corp.) disposable depth filter system
- Step 2: Capture (concentration and purification) by a multi-modal Cation Chromatography with Capto MMC resin
- Step 3: Purification by Cation Exchange Chromatography with SP Sepharose FF resin
- Step 4: DNA removal by charged filter with Sartobind Q Anion Exchange Membrane (Sartoris Stedim, Denmark)
- Step 5: Pathogen Safety # 1 (S/D-Chemicals removal)
- Step 6: Affinity Purification by VIIISelect Affinity Chromatography
- Step 7: Pathogen Safety # 2 by Planiva 20N Nanofilter with 20 nm pore size (N.V. Asahi Kasei Bioprocess, Belgium) [1, 7, 13, 14]
- Step 8: Concentration and Polishing by Anion Exchange Chromatography with Sepharose FF resin
- Step 9: Formulation and Polishing by Size Exclusion Chromatography with pre-packed Superdex 200 preparative-grade resin (GE Healthcare/Life Sciences)

### ***C.3.1. Step # 1: Harvesting***

FVIII can be detached from cells using a batch harvest method that involves adding sodium chloride to the cell solution until it reaches to 0.3 molar mass concentration level. Cells can be eliminated by centrifugation and filtering prior to the gathered sample being delivered straight to the extraction process without requiring dilution or additional modifications [15].



### ***C.3.2. Step # 2: Capture Purification***

In this step, 2000 kg of cell-free harvests can be fed to a 20-liter multifunctional cation exchange chromatography column for main substance purification and concentration after equilibrium with a 0.3 molar mass sodium chloride solution at a pH level of 7 with a rate of flow of 700 liters per hour. Total 50 times of the chromatography column volume are used in a stepwise process to wash the chromatography column one more time by decreasing the pH level to 6.5 while utilizing different sodium chloride concentrations. The final wash also contained a mixture of 10 percent ethylene glycol and 0.4 molar mass arginine. FVIII is extracted and gathered from the chromatography column by increasing the arginine concentration to 0.8 molar mass. The chromatography column is then regenerated with a nonionic detergent and high salt solution (0.5 molar mass sodium chloride and one percent octylphenol ethoxylate solution), low-level pH (1 molar mass acetic acid), high-level pH (1 molar mass sodium hydroxide), and eventually kept in a 0.05 molar mass sodium hydroxide solution prior to the start of the next production batch [15].

### ***C.3.3. Step # 3: Cation Exchange Purification***

This procedure can be carried out using a 20-liter chromatography column volume that has been pre-equilibrated with 0.1 molar mass sodium chloride, pH buffer solution at 6.5 level with a flow rate of 550 liters per hour. Before being added to the chromatography column, the effluent from Purification Step # 2 is reduced ten times to a conductivity equal to 0.1 molar mass sodium chloride at pH level of 6.5. By raising sodium chloride concentration to 0.15 molar mass, the column is further cleaned using a gradual increase with a total of 50 chromatography column volumes. FVIII is further extracted and gathered from the chromatography column by raising the sodium chloride concentration to 0.3 molar mass. The column is then cleaned using a non-ionic detergent and high-salt solution (0.5 molar mass sodium chloride and one percent octylphenol ethoxylate solution), low pH level (0.1 molar mass acetic acid), high pH level (1 molar mass sodium chloride), and finally stored in a weak sodium hydroxide solution at 0.05 molar mass prior to the start of the next production batch [15].

### ***C.3.4. Step # 4: DNA Removal***

FVIII is purified from a plasma fraction using anion exchange chromatography. At the highest pressure of 300 kPa, 30–40 liters of the portion are passed through a 2.5 m<sup>2</sup> anion exchange membrane that has been stabilized with the same solution employed to elute FVIII in Step #3. In the portion that flows through, FVIII is retrieved [15].

### ***C.3.5. Step # 5: Pathogen Inactivation (Pathogen Safety # 1)***

Two to five batches (100-250 kg) from Step #4 are combined before being mixed with 0.3 percent Tri(n-butyl) phosphate and 1 percent octylphenol ethoxylate solution at 22°C for 30 to 60 minutes [15].

### ***C.3.6. Step # 6: Affinity Purification***

At a rate of flow of 220 liters per hour, the antibody-stimulated mixture from Purification Step #5 is introduced to a 15-liter chromatography column that has been pre-equilibrated with a 0.3 molar mass sodium chloride, pH buffer level at 6.5. The sodium chloride concentration is gradually increased from 0.3 molar mass to 1 molar mass while washing the column. The total amount of wash buffer is 25 column volumes. FVIII is eluted from the column with 50% ethylene glycol. The column is then restored using

a low pH solution mixture (0.15 molar mass phosphoric acid and 0.17 molar mass acetic acid and 2.2 percent (vol/vol) benzyl alcohol) and a high-salt solution of 2 molar mass sodium chloride. Lastly, the column is kept in a 20 percent ethanol solution until the beginning of the subsequent production batch [15].

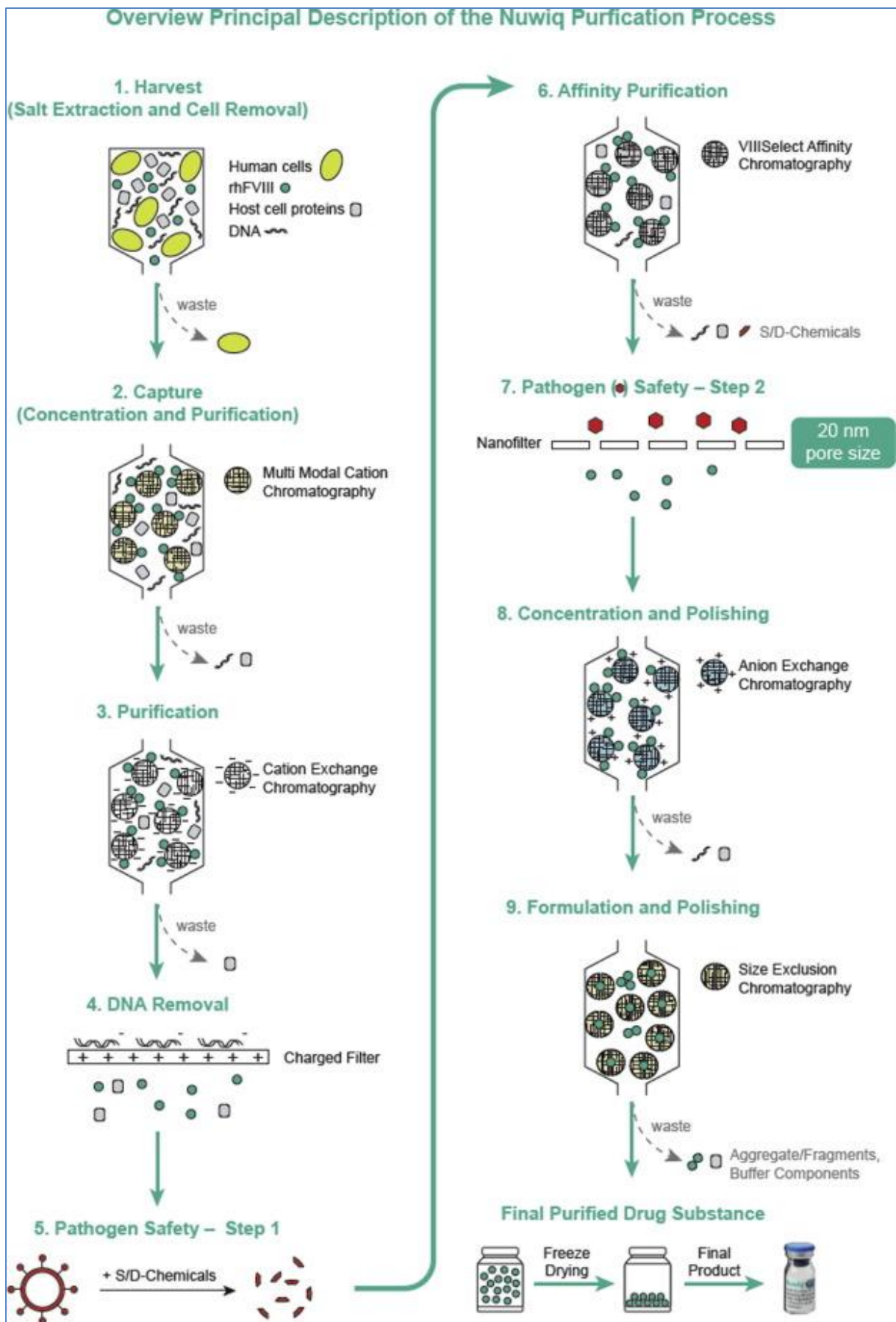


Figure 4. Overview of rFVIII Purification Process Steps [15]

### ***C.3.7. Step # 7: Nanofiltration (Pathogen Safety # 2)***

30-50 liter of FVIII encompassing portion from purification Step # 6 is watered-down 10-fold resulting in a sodium chloride concentration of 0.1 molar mass at pH level of 7.5. The mixture is nano-filtered through a 10 m<sup>2</sup> membrane filter surface area that has been balanced with a buffer solution containing 0.1 molar mass sodium chloride and a pH level of 7.5 at a pressure between 60 and 80 kPa [15]. Within the flow-through fraction, FVIII is retrieved [1], [7], [13], [14].

### ***C.3.8. Step # 8: Anion Exchange Purification***

The purification step # 7 filtrate is applied to a 5-liter column volume in this step, which was earlier balanced with 0.1 molar mass sodium chloride, pH buffer level of 7.5 at a 130 liter per hour flowrate. By raising sodium chloride content from 0.1 to 0.3 molar mass, altogether 15 chromatography column volumes are used to wash the column once more. FVIII is subsequently eluted and extracted from the chromatography column by increasing the sodium chloride concentration to 0.4 molar mass. After being renewed with a high-salt solution at 2 molar mass sodium chloride and high pH solution level at 1 molar mass sodium hydroxide, the chromatography column is then placed in a weak 0.01 molar mass sodium hydroxide solution before the start of the following manufacturing batch [15].

### ***C.3.9. Step # 9: Size Exclusion Purification***

The monomeric FVIII fraction is purified from the FVIII mixture coming from Step # 8 using size-exclusion chromatography. A total 50-liter chromatography column volume that had been pre-equilibrated with a solution mixture consisting of a modulated natural sugar, amino acid, and non-ionic cleansing agent at a pH level of 7 with a rate of flow at 650 milliliters per minute is used to process 2-4 liters of the solution. The monomer FVIII portion is extracted proportional to the holding time as assessed by absorption at 280-nanometer wavelengths. The column is then replenished with a high pH level mixture at 1 molar mass sodium hydroxide and ultimately kept in a weak sodium hydroxide mixture at 0.01 molar mass before the commencement of the subsequent production batch [15].

## **III. CONCLUSION**

Through the use of single-use bioreactors, the efficacy of synthesized rFVIII proteins has been enhanced considerably over the course of the last three decades compared to the earlier synthesis of FVIII generated from plasma. A special mammalian cell line, cutting-edge purification techniques, and viral filtration steps are all used in the current scalable and transferable rFVIII manufacturing processes to manufacture reliably a unique, completely active, and extremely pure product that is free from infectious agents or impurities. The main advantages of SUBs in protein manufacturing are the elimination of cleaning, cleaning validation, and cross-contamination risk, as well as lower capital investment and speed to market. However, one of the disadvantages of employing SUBs is the buildup of accumulated plastic waste and its disposal as an environmental impact. Another disadvantage is the problem of the use of pressure devices which plastic components of SUBs may not be able to handle. High running costs and risk of leachables with possible cell growth impairment are other limitations/drawbacks and disadvantages. The full balance between the advantages and disadvantages of these more recently studied single-use bioreactors for the synthesis of FVIII may require further analysis for specific examples of its application.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** I would like to express my thanks to Prof. Dr. Richard Collins for his proofreading and review of this review article.

## **REFERENCES**

- [1] A process of purifying coagulation factor VIII, by C. Borgvall, U. Ericsson, G. Gilljam, M. Jernberg, and S. Winge. (2009, Dec. 30). International Patent WO2009/156430 [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/4e/80/26/2021dea5d707ba/WO2009156430A1.pdf>
- [2] A. Coppola, M. Di Capua, M. N. Di Minno, M. Di Palo, E. Marrone, P. Ierano, C. Arturo, A. Tufano, and A. M. Cerbone, "Treatment of hemophilia: a review of current advances and ongoing issues," *Journal of Blood Medicine*, vol. 1, pp. 183–195, Aug. 2010
- [3] M. De Jesus and F. M. Wurm, "Manufacturing recombinant proteins in kg-ton quantities using animal cells in bioreactors," *European Journal of Pharmaceuticals and Biopharmaceutics*, vol. 78, no. 2, pp. 184–188, 2011
- [4] S. Delignat, I. Peyron, M. El Ghazaly, S. V. Kaveri, J. Rohde, F. Mueller, and S. Lacroix-Desmazes, "Biochemical characterization and immunogenicity of Neureight, a recombinant full-length factor VIII produced by fed-batch process in disposable bioreactors," *Cellular Immunology*, vol. 331, pp. 22–29, Sep. 2018
- [5] M. Franchini, "The modern treatment of haemophilia: a narrative review," *Blood Transfusion*, vol. 11, no. 2, pp. 178–182, Apr. 2013
- [6] R. L. Johnson, "Flow cytometry: from research to clinical laboratory applications," *Clinics in Laboratory Medicine*, vol. 13, no. 4, pp. 831–852, Dec. 1993
- [7] A process for isolation and purification of a target protein free of prion protein (PrP<sup>Sc</sup>), by G. Gilljam, M. Jernberg, S. Winge, and A. Neisser-Svae. (2009, Feb. 26). Canada Patent 2696865 A1 [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b7/5b/38/ad016994f15964/CA2696865A1.pdf>
- [8] C. S. Kaas, C. Kristensen, J. J. Hansen, G. Bolt, and M. R. Andersen, "Full transcriptome analysis and Chinese hamster ovary cell lines producing a dynamic range of coagulation factor VIII," in *BMC Proceedings*, vol. 7, suppl. 6, Dec. 2013, Art. no. P56
- [9] G. S. Pandey, S. C. Tseng, T. E. Howard, and Z. E. Sauna, "Detection of intracellular factor VIII protein in peripheral blood mononuclear cells by flow cytometry," *Biomed Research International*, Feb. 2013, Art. no. 793502
- [10] J. Puetz and F. M. Wurm, "Recombinant proteins for industrial versus pharmaceutical purposes: a review of process and pricing." *Processes*, vol. 7, no. 8, Jul. 2019, Art. no. 476
- [11] C. A. Sellick, A. R. Maqsood, A. S. Croxford, A. J. Dickson, R. Goodacre, and G. M. Stephens, "Optimizing CHO cell culture conditions," *Genetic Engineering & Biotechnology News*, vol. 29, no. 17, Oct. 2009.
- [12] K. R. Viel, A. Ameri, T. C. Abshire, R. V. Iyer, R. G. Watts, C. Lutcher, C. Channell, and T. E. Howard, "Inhibitors of factor VIII in black patients with hemophilia," *New England Journal of Medicine*, vol. 360, no. 16, pp. 1618–1627, Apr. 2009

- [13] Method for improved isolation of recombinantly produced proteins, by S. Winge. (2006, Oct. 5). International Patent WO 2006/103258 [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/47/22/50/338eafb2967f5e/WO2006103258A1.pdf>
- [14] A process for manufacturing Factor VIII having an improved ratio of FVIII:C/FVIII:Ag, by S. Winge, M. Dadaian, E. Johansson, and B. Fuchs. (2015, Jul. 23). International Patent WO 2015/0107222 [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/bf/e6/27/c7ffd1d800dfd7/WO2015107222A1.pdf>
- [15] S. Winge, L. Yderland, C. Kannicht, P. Hermans, S. Adema, T. Schmidt, G. Gilljam, M. Linhult, M. Tiemeyer, L. Belyanskaya, and O. Walter, "Development, upscaling and validation of the purification process for human-cl rhFVIII (Nuwig<sup>®</sup>), a new generation recombinant factor VIII produced in a human cell-line," *Protein Expression and Purification*, vol. 115, Nov. 2015, Art. no. 165-175
- [16] "Single-use bioprocess containers." <http://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/BPD/brochures/bioprocess-containers-brochure.pdf> (accessed Oct. 12, 2023).
- [17] "HyPerforma 5:1 2,000L single-use bioreactor." <http://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/BPD/brochures/hyperforma-5-1-single-use-bioreactor-data-sheet-2000L.pdf> (accessed Oct. 12, 2023).
- [18] "2,000 L HyPerforma single-use bioreactor evaluation." <http://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/BPD/Application-Notes/single-use-bioreactor-2000l-evaluation-app-note.pdf> (accessed Oct. 12, 2023),
- [19] "NIH Blood Bank." <https://clinicalcenter.nih.gov/blooddonor/aboutus.html> (accessed Oct. 12, 2023).
- [20] "Anti-factor VIII antibody [27.4] (ab41188)." <https://www.abcam.com/products/primary-antibodies/factor-viii-antibody-274-ab41188.html> (accessed Oct. 12, 2023).
- [21] "genOway cellular models." <https://www.genoway.com/> (accessed Oct. 12, 2023).
- [22] "Custom plasmid DNA isolation." <https://lofstrand.com/plasmid-dna-isolation/> (accessed Oct. 12, 2023).
- [23] "Invitrogen solutions." <https://www.thermofisher.com/us/en/home/brands/invitrogen.html> (accessed Oct. 12, 2023).
- [24] "GenJet in vitro DNA transfection reagent." <https://signagen.com/In-Vitro-DNA-Transfection-Reagents/SL100488/GenJet-In-Vitro-DNA-Transfection-Reagent> (accessed Oct. 12, 2023).
- [25] "FlowJo software platform for single-cell flow cytometry analysis." <https://www.flowjo.com/solutions/flowjo> (accessed Oct. 12, 2023).
- [26] "Single-use bioprocessing market size, share & trends analysis report by product (work equipment, apparatus & plants), by workflow (upstream, downstream), by end-use, by region, and segment forecasts, 2023–2030." <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/single-use-bioprocessing-market> (accessed Oct. 12, 2023).

[27] S.A. Fahs, M. T. Hille, Q. Shi, H. Weiler, and R. R. Montgomery, "A conditional knockout mouse model reveals endothelial cells as the principal and possibly exclusive source of plasma factor VIII," *Blood*, vol. 123, no. 24, Jun. 2014, Art. no. 3706-13

[28] D. E. S. Nogueira, J. M. S. Cabral, C. A. V. Rodrigues, "Single-use bioreactors for human pluripotent and adult stem cells: towards regenerative medicine applications," *Bioengineering (Basel)*, vol. 8, no. 5, May 2021, Art. no. 68



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## A New Hybrid Classification Framework in Childhoods Allergies with Dataset Slicing Method

 Pınar KARADAYI ATAŞ<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: pinaratas@arel.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1353771

### ABSTRACT

Childhood allergies, particularly food allergies, are growing more frequent. Their major influence on children's health and well-being has piqued the interest of worldwide public health officials. The increased prevalence of childhood allergies in Turkey, where these patterns are also relevant, adds urgency to the need for effective classification and management options. This study addresses the shortcomings of simple classification algorithms in obtaining high accuracy by presenting a novel hybrid classification methodology. The research creates a novel method where three different prediction models are built by combining Support Vector Machine and Decision Tree classifiers. This method improves the classification process by taking into account instances that have been incorrectly classified as possible sources of useful information instead of just being noise. This instance filtering-based hybrid classification algorithm that is used in this study maintains the simplicity of interpreting learning outcomes while achieving comparatively high accuracy. Extensive experiments on the allergy dataset show the effectiveness of this hybrid approach, with an impressive accuracy of 0.906. This greatly outperforms the fundamental classification algorithms. The experimental outputs have important implications for medical professionals. This study might add a valuable contribution to the literature by giving a fresh solution to childhood allergy classification.

**Keywords:** Childhood allergies, Hybrid classification, Machine learning

## Çocukluk Alerjilerinde Veri Kesme Yöntemiyle Yeni Bir Hibrit Sınıflandırma Çerçevesi

### ÖZ

Çocukluk alerjileri, özellikle de gıda alerjileri giderek artmaktadır. Çocukların sağlığı ve refahı üzerindeki büyük etkileri dünya çapındaki halk sağlığı yetkililerinin ilgisini çekmektedir. Bu kalıpların da geçerli olduğu Türkiye'de çocukluk çağı alerjilerinin artan prevalansı, etkili sınıflandırma ve yönetim seçeneklerine olan ihtiyacın aciliyetini artırmaktadır. Bu çalışma, yeni bir hibrit sınıflandırma metodolojisi sunarak, basit sınıflandırma algoritmalarının yüksek doğruluk elde etmedeki eksikliklerini gidermektedir. Araştırma, Destek Vektör Makinesi ve Karar Ağacı sınıflandırıcılarını birleştirerek üç farklı tahmin modelinin oluşturulduğu yeni bir yöntem yaratmaktadır. Çalışmamızda kullanılan bu yöntem, yanlış sınıflandırılan örnekleri sadece gürültü olarak değil, potansiyel olarak kullanışlı bilgi kaynakları olarak ele alarak sınıflandırma sürecini geliştirir. Bu örnek filtreleme tabanlı hibrit sınıflandırma algoritması, nispeten yüksek doğruluk elde ederken öğrenme çıktılarını yorumlamanın basitliğini korur. Alerji veri seti üzerinde yapılan kapsamlı deneyler, bu hibrit yaklaşımın etkinliğini 0,906'lık etkileyici bir doğrulukla göstermektedir. Bu, temel algoritmaların yanı sıra daha önce önerilen klasik sınıflandırma algoritmalarından da büyük ölçüde daha iyi performans sergilemektedir. Deneysel çıktıların tıp uzmanları için önemli sonuçları vardır. Bu çalışma çocukluk çağı alerji sınıflandırmasına yeni bir çözüm sunarak literatüre değerli bir katkı sağlayabilir.



## **I. INTRODUCTION**

Severe reactions to typically harmless substances are known as allergies. Genetic and environmental factors, including exposure to allergens and nutritional status, can have an impact on these reactions. Type 1 hypersensitivity, which is characterized by the production of particular IgE antibodies, is the most common type of allergy [1]. A subset of these allergies are food allergies, which are also IgE-mediated and usually show symptoms several hours after consumption. The quality of life for those who are impacted by these allergies is greatly diminished. Avoiding the foods that trigger an allergy is still the most effective way to manage it [2]. Still, it can be difficult to find reliable information about food allergies. Insufficient knowledge frequently compels patients and their caregivers to create personal safety plans, which exacerbates discrimination and social exclusion. Allergy reactions may pose a serious risk to life in certain situations, especially for kids, teens, or adults [3].

Children are more likely to develop food allergies than adults because of their developing immune systems and digestive systems. The majority of food allergies, including those to milk or eggs, first manifest in childhood and then disappear as the child becomes older. Childhood food allergy is a dangerous, potentially fatal illness that is known to significantly reduce patients' and their caregivers' quality of life [1]–[4]. The number of children who suffered from allergies in 2011 had doubled over the preceding ten years, according to the European Academy of Allergy and Clinical Immunology (EAACI) [5]. Food allergies were projected to affect 8% of US children in 2011 [1], with approximately 40% of those children reporting a history of serious responses. Children with food allergies to more than one food account for about 30% of cases [6]. Every three minutes, an allergic food reaction in the US takes a patient to the emergency department [7]. 20–30% of the world's population is currently affected by one or more allergies, according to the World Allergy Organization's white book of allergens, which documents the rise in the frequency of allergic disorders worldwide [8]. The data component for patients with food allergies may have associations that can be found using machine learning, which tries to teach computers how to learn and act without being explicitly taught [9]. Data mining, commonly referred to as the process of learning from experience by studying previous data, uses machine learning algorithms to collect data.

In literature, there exists a study that focuses on food allergy by using machine learning techniques. The possibility of utilizing machine learning methods to find these links is explored in [10] work. The medical laboratory Intermedia gathered the information for this investigation, which included test results from patients who had known food allergies. On this data, the apriori algorithm is used. The identified associations are put into practice in a computer program that has a data entry interface for new patients undergoing food allergy testing. In another study [11] they focused on Predictive factors for allergy at 4–6 years of age-based children. The purpose of this work was to use feature selection in machine learning to find predictors for the occurrence of parental-reported allergy at 4–6 years of age. In another research, machine learning was used to forecast how allergy challenges involving aspirin and beta-lactam allergies would turn out [12]. Applications of machine learning have also demonstrated potential in foretelling the responses of atopic dermatitis and severe asthma to biological treatments [13], [14]. Retrospective data from heated egg challenges for egg allergy were used in the study [15] to apply machine learning to the results of food allergy. Age, sex, total serum IgE, egg proteins, serum specific IgE levels, and the results of oral food challenges to the heated egg in a small cohort of 67 children with egg allergy were the training variables. The scientists observed sensitivity and specificity values for predicting heated egg challenge results of 0.51 to 0.68 and 0.66 to 0.74, respectively, along with accuracies of up to 72% using extreme gradient boosting and Support Vector Machine (SVM) models. Despite the fact that this study showed the possibility of using machine learning in real-world applications for food allergies, its generalizability was constrained by its small sample size, paucity of pertinent laboratory variables, and scarcity of clinical data. The proper classification of childhood allergies is essential for developing efficient strategies for diagnosis, treatment, and prevention. Existing

classification algorithms, however, have difficulties due to the complex and nuanced nature of childhood allergies, which is influenced by variables like demography and varied prevalence rates.

In order to accurately classify two types of asthma in preschoolers predominantly allergic asthma and non-allergic asthma—the study examined a number of machine-learning models [16]. Finding the most efficient model that could make this distinction with the fewest features was their main goal. With a high accuracy of 77.8%, the SVM with a linear kernel was found to be the most accurate model in the study for identifying preschool-aged children's asthma as either primarily allergic or non-allergic. Additionally, this model displayed a true positive rate of 0.73, a true negative rate of 0.81, and a precision of 0.81. It also achieved a ROC-AUC score of 0.79 and an F1 score of 0.81, demonstrating its efficacy in distinguishing between the two forms of asthma. Conversely, with an overall accuracy of 76.2%, which was marginally less than the SVM method but still quite good, Logistic Regression was the second-best classifier.

With an emphasis on developing a patient-specific and allergen-specific assessment for anaphylaxis risk, the study created a machine learning model using data from the Tolerance Induction Program (TIP) for anaphylactic patients [17]. This model assigns a quantitative allergen score, which improves the accessibility and accuracy of the assessment of anaphylaxis risk in children with food allergies, especially with regard to peanut allergens. The efficacy of the model was validated by applying it to a particular group of children who had experienced food allergies. The study offers data on how COVID-19 affects cardiovascular health, emphasizing the need to monitor hematological changes, recognize the occurrence of allergies, and use predictive modeling to enhance risk assessment and management techniques [18]. Another study [19] presents a systematic approach to identify amino acid subsequences (ASPs) that are more common in allergenic proteins than in non-allergenic proteins. A database of 21,154 proteins with documented allergenic reactions was assembled and examined as an example of this methodology. The ASPs found in this proof-of-concept investigation were consistent with accepted biological theories. Furthermore, the allergenicity prediction made with these discovered ASPs performed better than previous techniques. This shows that this method may be used to determine whether artificial foods and proteins are allergenic. The study [20], carried out by a different research team, concentrated on using machine-learning techniques to forecast Oral Food Challenge (OFC) results. They collected retrospective information from 1,112 patients who had 1,284 OFCs performed in total. The information included a range of clinical characteristics, including age, sex, skin prick test (SPT) results, serum-specific immunoglobulin E (IgE), and total IgE levels. Making use of this extensive dataset, the researchers built several machine-learning models. These models were created especially to forecast the results of OFCs for milk, eggs, and peanuts—three common allergens. Their method is a big step toward improving the predictability of allergic reactions in clinical settings by utilizing data-driven techniques. The problem of cow's milk allergy (CMA) was examined in a notable study [21] conducted by a different research team, with an emphasis on diagnosis and treatment. The Oral Food Challenge (OFC) is the gold standard for validating a CMA diagnosis. A thorough history evaluation and precise allergy diagnostics are the standard procedures for diagnosing CMA. The study notes that the only way to develop long-lasting milk tolerance at this time is oral immunotherapy or OIT. Another research team investigated the use of allergen multiplex assays as a precision medicine tool for patients with difficult-to-diagnose allergies [22]. These tests necessitate in-depth understanding of molecular allergy and can take a long time to interpret. The investigators postulated that the utilization of a countrywide dataset, which is equipped to facilitate allergy diagnosis through artificial intelligence (AI), could improve the care of individuals with allergies. This strategy points to a possible move in allergy care toward more data-driven, AI-enhanced diagnostic procedures.

A database was developed to examine sensitizations to 25 common aeroallergens in the Northeastern United States (zone 1) as part of a project conducted by a different research team [23]. The ImmunoCAP® in vitro assay was used to gather the data for this database. The group then performed model-based clustering using the Scikit-Learn® machine-learning library in an effort to locate allergic polysensitization clusters. After that, these clusters were examined to look for variations in the common clinical indicators of asthma seen in office environments. This strategy is an inventive application of

machine-learning to improve our knowledge of allergen sensitization patterns and how they may be related to asthma.

The purpose of the study [24] was to evaluate the predictive power of epitope-specific antibodies for an OFC given to children aged five. Of the 74 subjects, 38 had a positive OFC after five years. Using a Bead-Based Epitope Assay, IgE and IgG4 antibodies to 64 linear epitopes from Ara h 1-3 proteins were measured at different ages (4-11 months, 1 year, and 2.5 years). Furthermore, ImmunoCAP was used to measure specific IgE to peanut and component proteins. To determine the earliest time point for a reliable 5-year outcome prediction, machine-learning techniques were utilized. In order to do this, prognostic algorithms were developed using data from various age points and validated on a different cohort of ninety children.

The study [25] evaluated asthma development prediction models in children by performing a systematic review and meta-analysis in accordance with the PRISMA guidelines. The main objective was to compare models that integrate statistical techniques and risk factors with traditional approaches that involve risk factors and logical regression. On July 23, 2021, a thorough search of pertinent studies published between 2011 and 2021 was conducted using online resources such as Science Direct, PubMed, and Google Scholar. The objective was to identify and evaluate publications that were especially concerned with children's asthma prediction models, with a focus on deep learning and machine-learning techniques.

The complexities of childhood allergies, which involve the interaction of demographic factors and specific dietary allergens, are typically difficult for traditional classification algorithms to handle. The prevalence and severity of pediatric allergies may be influenced by demographic factors like age, gender, ethnicity, and socioeconomic position. Furthermore, precise classification is made more difficult by the large variety of dietary allergens and the varied symptoms displayed by affected kids. In the study [26], they used a machine-learning methodology to endotype childhood allergy rhinitis (AR), with the goal of improving diagnostic precision and enabling individualized healthcare within the domain of precision medicine. Machine learning, specifically Convolutional Neural Networks (CNNs), has emerged as a critical method for detecting skin disease allergies using dermatological images. [27] contributes to this field by using a CNN model on a dataset of 100 skin illness photographs from web sources. In terms of accuracy, precision, recall, and error rate, they compare our system to proven methodologies such as SVM, Random Forest (RF), and Naive Bayes (NB). Their findings support the suggested model's advantage in accuracy and performance.

In another study, they investigated a variety of relevant machine-learning paradigms and models [28]. Their discussion includes the complexities of model training and validation, as well as examples of machine learning's use in the domain of allergic disorders, particularly with regard to specific environmental factors. Furthermore, they are working to connect these environmental data points to the comprehensive exposome. The promise of artificial intelligence in customized medicine is highlighted, along with an investigation of methodological approaches for healthcare enhancement through sophisticated AI techniques, ultimately leading to public health improvement. In another study [20], they discuss the crucial importance of OFCs in accurately diagnosing food allergies in the study, particularly given the limitations of current clinical testing procedures. However, patient reluctance and the restricted availability of allergists in rural healthcare settings impede the widespread usage of OFCs. The findings of their study highlight the potential of ensemble learning to predict OFC outcomes and highlight crucial clinical parameters that deserve additional investigation. In the study [29], they present a pioneering chemometric approach that offers fresh insights into unraveling the allergenic properties of food proteins. Employing advanced machine-learning techniques, both supervised and unsupervised, their research endeavors to predict the allergenicity of plant-based proteins. This innovative strategy is centered around scoring descriptors and rigorously evaluating their classification efficacy. Their partitioning methodology harnesses SVM, complemented by the application of a k-nearest neighbor (KNN) classifier. Rigorous validation is achieved through a fivefold cross-validation technique, utilized not only during the variable selection phase but also in the final classifier assessment. The overarching

goal is to provide a robust and effective classification methodology for proteins, ultimately addressing the challenge of food allergies.

In our study, we developed and evaluated a novel hybrid classification method for accurately classifying childhood allergies. In order to improve our model's accuracy and interpretability, we adopt a hybrid classification strategy that combines the best features of Decision Tree and SVM classifiers. The SVM algorithm is applied first, acting as a preliminary filter in the process. In order to divide the training data into various subsets, this step entails classifying the data instances and giving each a probability score. After that, we treat each of these subsets separately with Decision Tree classifiers. Compared to using a single model on the complete dataset, this independent treatment may produce predictions that are more accurate by allowing for the exploitation of distinctive features within each subset. We call our method "hybrid" because it successfully blends the subset-specific, fine-grained classification skills of Decision Trees with the initial data filtering and classification capabilities of SVM. The limitations that are frequently present in simple algorithms which generally struggle to strike a balance between high accuracy and interpretability are intended to be addressed by this methodology. Our hybrid algorithms use SVM for preprocessing and Decision Trees for detailed model induction on the filtered data, with the goal of achieving higher accuracy without compromising the results' readability. Our study's main contribution is this creative fusion of two disparate machine-learning approaches, which offers a well-rounded answer in terms of accuracy and interpretability.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

The accuracy and quality of the training data are critical factors in assessing a model's performance. Recognizing this, we carefully assessed our model using reliable and accurate data to make sure it was reliable. Building on this premise, we used an innovative hybrid classification technique in our investigation. This approach was essential to both the training and evaluation of the data. We sought to improve the model's training efficiency by utilizing this hybrid classification approach and carefully choosing the best data from the dataset for classification. In this direction, machine-learning methods were implemented for classification through the dataset named allergy and compared with the proposed approach.

The dataset was carefully chosen during the training phase with a focus on finding and including data instances with a high classification success rate. This was done in an effort to speed up the model's learning process and increase its capacity to correctly categorize cases of childhood allergies such as asthma, atopic dermatitis, allergic rhinitis, and food allergies. We were able to make use of the hybrid classification algorithm's advantages and make sure that the model was trained on the most accurate and reliable data by using this strategy. We also carried out thorough testing on a second collection of high-quality data examples to assess the model's performance and generalizability. Through this procedure, we were able to evaluate the model's accuracy in categorizing childhood allergies and gain knowledge of its dependability. Our goal was to improve the model's performance and establish its reliability in the field of identifying childhood allergies, therefore we used a thorough approach to training and testing.

### **A. DATASET**

The dataset utilized in this study is an important source for learning more about the prevalence and results of pediatric allergies' associated treatments. It provides insights into the present population of people affected by asthma, atopic dermatitis, allergic rhinitis, and food allergies through retrospective data gathered from healthcare providers [30]. The dataset is provided by The Children's Hospital of Philadelphia. A more substantial cross-sectional cohort of 333,200 kids who began receiving primary care in this network before turning 18 and had at least 12 months of follow-up in the network. There exist fifty columns. The dataset examines data on diagnoses made by healthcare providers to ascertain the age at diagnosis, incidence, and prevalence of eczema, asthma, rhinitis, and food allergies. To more

precisely calculate the prevalence rates of asthma, the data set looks further into prescriptions for asthma-related medications. The dataset is openly available at <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.44529>, the Zenodo repository. Open-access datasets are essential because they allow the general public unfettered access to data, which promotes transparency, teamwork, and creativity in analysis and research. In Table 1, the characteristics of the data used in our study have been illustrated.

*Table 1. Sample Data from Food Allergy Dataset*

subject_id	birth_year	gender_factor	ethnicity_factor	age_start_years	.....	allergy_type
1	2006	S1 - Female	E0 - Non-Hispanic	0.093	.....	atopic_derm
2	1994	S1 - Female	E0 - Non-Hispanic	0.232	.....	allergic_rhinitis
3	2006	S0 - Male	E1 - Hispanic	0.0108	.....	asthma

## B. METHODS

Our study attempted to address the challenging task of classifying allergies in children. In order to do this, we created a novel hybrid classification approach that combines the advantages of SVM and Decision Trees. SVM is a well-liked and effective machine-learning method used for regression and classification applications. SVM seeks to maximize the distance between classes in the feature space by locating an ideal hyperplane that divides them. The fundamental idea behind SVM is to use kernel functions, which enable the detection of nonlinear correlations, to transform the input data into a higher-dimensional feature space. SVM produces a reliable and generalizable classification model by locating the hyperplane with the greatest margin. SVM has displayed exceptional performance in a range of fields, including bioinformatics, text classification, and picture recognition. SVM, however, can be delicate to the selection of hyperparameters and necessitate careful adjustment for the best outcomes [31].

Decision trees which are also used in the proposed method, are a popular and interpretable machine learning algorithm used for classification and regression tasks. They recursively partition the feature space based on a series of decision rules to create a tree-like structure. Each internal node of the tree represents a decision rule based on a specific feature, while the leaf nodes correspond to the final classification or regression outcomes. The decision tree algorithm is characterized by its ability to handle both categorical and numerical features, as well as its capacity to capture complex interactions and nonlinear relationships between the predictors. Decision trees are intuitive, as they provide clear and interpretable decision paths, making them particularly useful in domains where model transparency and explainability are important. However, decision trees are prone to overfitting and can be sensitive to small changes in the data. Various strategies, such as pruning and ensemble techniques like Random Forests, have been proposed to address these limitations and improve the performance and generalization of decision trees [32].

## C. PROPOSED MODEL

Typically, basic classification algorithms induce a single model from training data; they have become known for their simplicity and ease of model interpretation. However, these algorithms frequently run into problems when trying to reach very high accuracy. Misclassification of instances is one prominent problem: a case that one model interprets incorrectly may be correctly predicted by another. The idea of

hybrid classification was born out of this observation. This methodology uses standard classification algorithms for both data preprocessing and model induction.

Misclassified instances are typically discarded as noise in conventional scenarios. This study, however, casts doubt on this notion by suggesting that these examples could nevertheless provide insightful information about the class values of other examples. The suggested hybrid classification method carefully selects training examples to create three unique models for prediction in order to fully realize this potential. Then, one of these models is used to classify each testing instance exclusively. By combining the advantages of decision tree and SVM induction classifiers, this method effectively maximizes each model's robustness and overall predictive accuracy. By overcoming the fundamental drawbacks of simple classification algorithms, this hybrid methodology seeks to provide a more sophisticated and useful framework for managing large and complicated data sets.

The algorithm is an adaptable instrument in this phase because it can handle both continuous and categorical variables, and it is strong when handling non-linear relationships. It excels at capturing the subtleties in datasets where variables interact in intricate ways, guaranteeing that the resulting model reflects not only surface-level trends but also a more profound and perceptive understanding of the dynamics of the data.

---

**Algorithm: Hybrid Classification**

---

**Input:** TrainingDataSet, TestingDataSet  
**Output:** PredictedClassifications

---

```
Begin
// Step 1: Data Preprocessing
PreprocessedData <- PreprocessData(TrainingDataSet)

// Step 2: Filter Training Instances
FilteredData1, FilteredData2, FilteredData3 <- FilterTrainingInstances(PreprocessedData)

// Step 3: Model Induction
Model1 <- TrainDecisionTree (FilteredData1)
Model2 <- TrainDecisionTree(FilterData2)
Model3 <- TrainDecisionTree(TrainingDataSet)

// Step 4: Classification of Testing Instances
foreach instance in TestingDataSet do
  if SuitableForModel1(instance) then
    Prediction <- ClassifyUsingModel(Model1, instance)
  else if SuitableForModel2(instance) then
    Prediction <- ClassifyUsingModel(Model2, instance)
  else
    Prediction <- ClassifyUsingModel(Model3, instance)
  end
  StorePrediction(instance, Prediction)
end

// Step 5: Output Predictions
return AllStoredPredictions
End
```

---

This study takes a systematic approach to categorization by combining the SVM method and the Decision Tree algorithm. The primary goal is to distinguish separate classes within a dataset using a multi-step procedure that culminates in the development of the best classification model.

### C. 1. Data Preparation and Division

We concentrated on the meticulous preparation and segmentation of the dataset during the first phase of our investigation. The dataset was split into two distinct portions: 40% was reserved for testing and 60% was used for training. In order to guarantee a thorough model evaluation process, this division is essential. Preventing overfitting is beneficial as it helps prevent models from performing well on training

data but poorly on fresh, untested data. We guarantee that our model learns efficiently and generalizes well to new data a crucial component of trustworthy machine-learning models by maintaining a separate testing subset.

After this deliberate partitioning of the data, the training dataset is analyzed using the Support Vector Machine (SVM) technique. The main goal of this phase is to evaluate each data instance in the training subset and ascertain whether or not it belongs to a specific class. By using a probabilistic method to determine the probability scores for each instance's classification, the SVM achieves this. These scores are essential because they offer a measurable degree of assurance in the SVM's classification judgments. This step not only involves data classification but also involves determining the degree of confidence associated with each classification, which paves the way for the subsequent stage of our model's development.

### **C. 2. Dataset Segmentation Based on Probability Thresholding**

Strategic dataset segmentation, informed by a calculated probability approach, is a critical component of the employed methodology. Here, a critical threshold for dataset division is ascertained by applying a machine-learning algorithm that was specifically created for classification tasks. All of the dataset's instances are given a probability score by the algorithm, which evaluates their likelihood of classification.

This probability score is then added up and divided by the total number of instances in the dataset to determine the critical threshold. The idea behind splitting the dataset into two separate parts is this computed average. A case falling into the first dataset segment is one where the probability score is at or above this average threshold. There appears to be more faith in their classification accuracy based on this categorizing. As a result of a more cautious approach to their classification, instances that fall below this average probability threshold are assigned to the second segment. By clearly separating instances according to the degree of confidence in their classification, this method guarantees a more sophisticated and efficient handling and analysis of the data. This approach improves the classification process's accuracy while also facilitating a more focused and effective data analysis.

### **C. 3. Decision Tree Algorithm Implementation**

In the subsequent phase of our analysis, we apply the Decision Tree algorithm to the whole dataset as well as the first and second datasets, which were previously divided. Using the Decision Tree, the datasets are analyzed during the implementation process, and conclusions are made based on the patterns found. This algorithm works especially well because it can model intricate relationships between different variables and draw clear decision boundaries. Our implementation of the Decision Tree algorithm creates a tree-like structure with nodes representing decisions based on distinct features by iteratively dividing the data according to predetermined criteria. The algorithm is guided by these choices to produce the final classification or prediction result. In order to accurately classify allergic reactions in children, we customized the Decision Tree to handle the complexities of our dataset and make sure it captures the complex relationships within the data.

### **C. 4. Classification Model Generation and Evaluation**

Through its application to partitioned datasets and the comprehensive dataset, the Decision Tree algorithm generates numerous categorization models. The resulting models are properly documented and thoroughly analyzed. Each model's parameters, structures, and performance indicators are meticulously maintained, allowing for an informed comparison. To ensure a multifaceted evaluation of our classification models' performance, we employed a wide range of metrics. The percentage of correct predictions was used to determine the accuracy of the model, which served as a primary indicator of its overall efficacy. In order to comprehend the accuracy of positive predictions and demonstrate the model's dependability in identifying genuine positive instances, precision was essential. Combining

recall and precision, the F1-Score provided a balanced metric that was especially useful when dealing with unbalanced datasets. Specificity assessed the model's ability to identify true negatives, making sure it wasn't unduly sensitive, while sensitivity, or recall, measured the model's capacity to accurately identify real positive cases. The model's discriminative power was evaluated using the ROC-AUC Score, where higher scores denoted better class distinction. Last but not least, the model's quality was balanced by the Matthews Correlation Coefficient (MCC), which was particularly helpful in situations where class distributions were not uniform. When combined, these metrics provided a thorough understanding of the accuracy, precision, and dependability of our model across a range of classification-related domains.

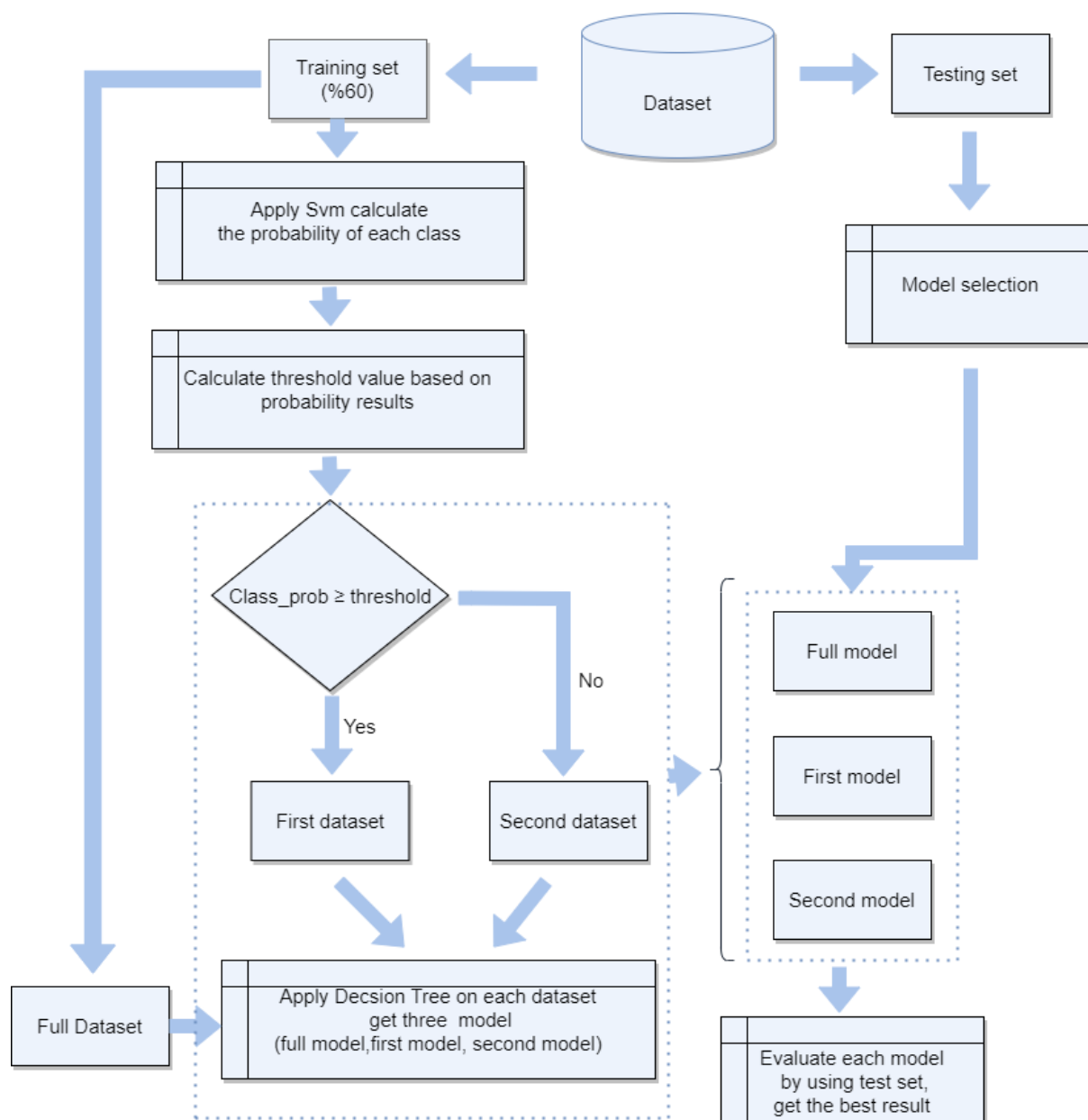
### **C. 5. Optimal Model Identification**

A key goal of this methodological framework is to identify the best categorization model. Extensive testing of the Decision Tree models reveals the one with the highest degree of accuracy, precision, recall, or any other relevant performance parameter, indicating its superiority in capturing the underlying patterns and characteristics of the dataset.

The methodology outlined herein covers the whole workflow of this investigation, from initial data division through final model identification. The interaction of SVM-based probabilistic analysis with the Decision Tree algorithm application results in a robust and comprehensive classification scheme. The study aims to improve our understanding of classification approaches and contribute to the larger domain of data analysis and pattern recognition by revealing the intricacies of this process.

It is critical to highlight that the specific parameters, datasets, and performance indicators used in this methodology are sensitive to the context and aims of the study. The Flow chart diagram of the model exists in Figure 1.





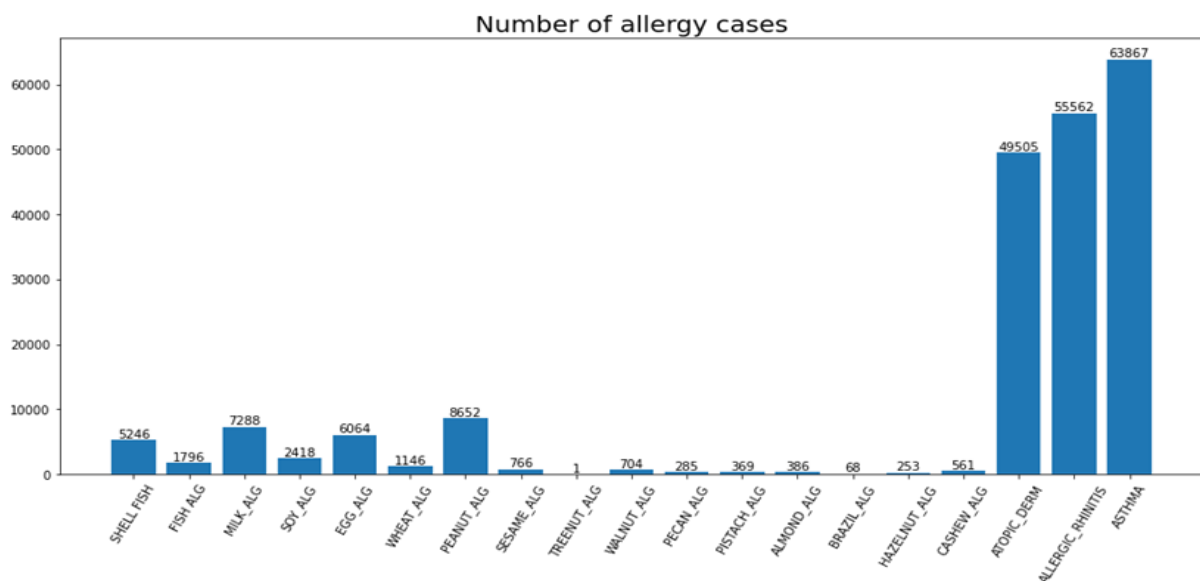
**Figure 1.** Flowchart diagram of proposed method.

In summary, this study's algorithm creates models through a multi-phase process of data handling and hybrid classification. 60% of the dataset was initially designated for training and 40% for testing. A SVM was used to process the training dataset, giving a probability score to each row of data. After that, a threshold value was determined by averaging these probability scores. The training data was then divided into two separate datasets based on this threshold. The "first dataset" contained data points with probability scores that were either equal to or higher than the threshold, while the "second dataset" contained data points with lower scores. Furthermore, the training set as a whole was maintained as the "full dataset." The first, second, and full datasets were then subjected to independent application of a Decision Tree algorithm, which produced three distinct models. The test data set was then used to apply these models for predictions. Ultimately, a thorough evaluation of the test results was conducted in order to determine how well the hybrid classification algorithm performed. This novel strategy reveals a creative way to use SVM for preliminary data slicing and Decision Tree algorithms for model building, with the goal of improving prediction accuracy while preserving interpretive simplicity.

### III. RESULTS

This section presents the study's findings, focusing on the outcomes produced from the use of the SVM method for probabilistic analysis and the subsequent implementation of the Decision Tree algorithm on the segregated dataset. The primary goal was to find the best classification model for the datasets under consideration.

Upon examination of the dataset's distribution of allergy data among patients reveals a predominance of 'ATOPIC\_DERM,' 'ALLERGIC\_RHINITIS,' and 'ASTHMA' disorders. As a result of this finding, these three classes were chosen as the focus point of the classification problem, acting as the classification task's foundational labels Figure 2. Furthermore, when investigating the co-occurrence of allergies, it becomes evident that these same three types of allergies, namely 'ATOPIC\_DERM,' 'ALLERGIC\_RHINITIS,' and 'ASTHMA,' are the most commonly observed in conjunction with one another Figure 3.



*Figure 2. Number of allergy cases*

A calculated probability-guided strategic dataset segmentation is crucial to the process. The SVM algorithm is used to generate the threshold of 0.5 for dataset segmentation, which is determined through a rigorous analytical process. In particular, the probabilities of classification likelihood for each data instance derived from the SVM output are added up, and this total is divided by the total number of instances in the dataset to determine this threshold. In essence, the dataset is divided using this method based on the average probability of classification as the critical criterion. Examples with probabilities that are at or above the 0.5 cutoff are categorized into the first dataset, indicating a higher degree of classification confidence. On the other hand, cases that are less than this probability threshold are carefully assigned to the second dataset. By efficiently distinguishing between examples with greater and lower classification certainty, this binary segmentation technique ensures a more focused and sophisticated approach in the dataset division. Following this analysis, the first dataset was made up of 88552 data rows with probabilities more than 0.5, whereas the second dataset was made up of 80082 data rows with probabilities less than 0.5.

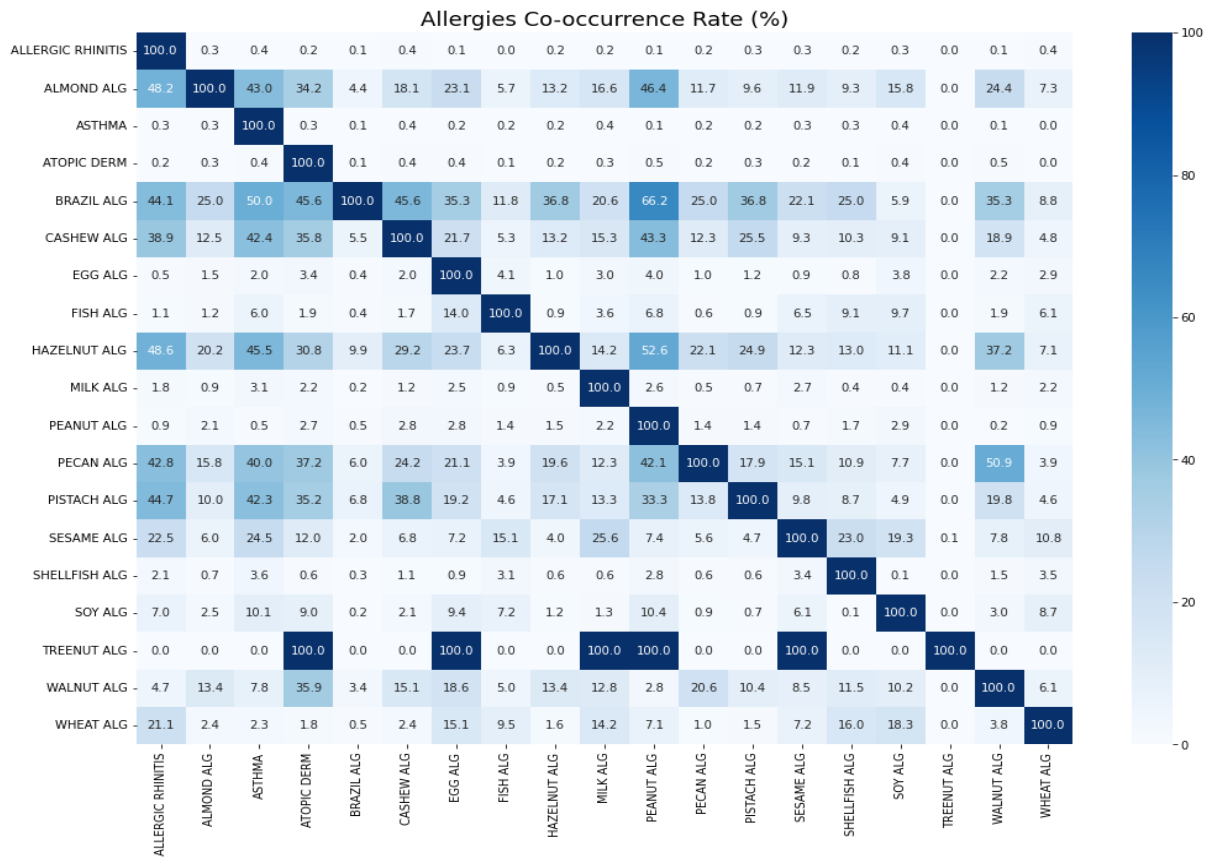


Figure 3. Allergies Co-occurrence Rate

In Table 2, the results for the allergy dataset are presented across various models, revealing significant differences in performance metrics.

Table 2. Result of the allergy dataset.

Data Slices	Accuracy	Precision	F1-Score	Sensitivity (Recall)	Specificity	ROC-AUC Score	MCC
First Part	0.801	0.812	0.766	0.831	0.749	0.788	0.678
Second Part	0.713	0.719	0.711	0.712	0.714	0.713	0.690
Orginal With Decsion Tree	0.682	0.671	0.670	0.825	0.792	0.811	0.713
Orginal With SVM	0.691	0.683	0.679	0.688	0.676	0.679	0.611
Orginal With Naive Bayes	0.685	0.675	0.670	0.780	0.800	0.710	0.632
Orginal With Random Forest	0.695	0.690	0.688	0.700	0.810	0.720	0.628
Orginal With Logistic Regression	0.680	0.672	0.675	0.690	0.795	0.705	0.622
<b>Proposed Hybrid Model</b>	<b>0.906</b>	<b>0.901</b>	<b>0.893</b>	<b>0.917</b>	<b>0.895</b>	<b>0.932</b>	<b>0.874</b>

**First Part of Data:** This model performs well, correctly predicting 80.1% of the instances with an accuracy of 0.801. With a precision of 0.812, it indicates that a high percentage of all positive predictions were true positives. Recall and precision are balanced by the F1-score of 0.766, which is a respectably high score. The model's sensitivity (recall) of 0.831 suggests that it performs a good job of identifying true positives. With a specificity of 0.749, true negatives can be identified with a moderate degree of accuracy. The model performs well, as evidenced by the ROC-AUC score of 0.788 and MCC of 0.678, the latter of which shows a balanced measure taking into account all four confusion matrix categories.

**Second Part of the Data:** The performance of this model has declined noticeably on the majority of metrics. Lower efficacy in accurate predictions and positive identifications is indicated by an accuracy of 0.713 and a precision of 0.719. Moderate performance is indicated by the F1-score of 0.711, sensitivity of 0.712, and specificity of 0.714, which are all above average. Even though they still show fair performance, the ROC-AUC score of 0.713 and the MCC of 0.690 are lower than those of other models.

**Original Data(Whole Training Data) with Decision Tree and SVM:** In comparison to the original model, both of these variants perform less well. A moderate degree of predictive accuracy is indicated by the Decision Tree variant's accuracy of 0.682, precision of 0.671, and F1-score of 0.670. While the ROC-AUC score of 0.811 and specificity of 0.792 are lower than the sensitivity of 0.825, respectively, they indicate that the former is less effective in identifying true negatives. MCC is reasonable at 0.713. The SVM variant performs modestly overall but in a balanced manner, with slightly better metrics (F1-score of 0.679, accuracy of 0.691, precision of 0.683), but lower sensitivity (0.688) and specificity (0.676). The MCC of 0.611 and the ROC-AUC score of 0.679 both attest to this moderate efficacy.

The hybrid model that has been suggested performs noticeably better than the others, with an accuracy of 0.906. This indicates that the model has good predictive power. A high degree of accuracy in positive predictions and a strong balance between precision and recall are indicated by the precision of 0.901 and an F1-score of 0.893. Its high sensitivity of 0.917 and specificity of 0.895 shows that it has the remarkable capacity to distinguish between true positives and true negatives. The remarkable MCC of 0.874 and ROC-AUC score of 0.932 indicate excellent overall performance and reliability.

Three of the most popular classification algorithms in the literature Random Forests, Logistic Regression, and Naive Bayes were compared to our model in this study. The performance metrics from the original dataset that is, the complete training dataset were the basis for the comparison. Even though they were efficient, Random Forest, Logistic Regression, and Naive Bayes performed worse than our model. For example, the Random Forest model showed good but not exceptional classification capabilities with moderate accuracy (0.695) and F1-Score (0.688). With accuracy scores of 0.680 and 0.685, respectively, Logistic Regression and Naive Bayes demonstrated comparable trends but fell short of the hybrid model.

The Proposed Hybrid Model performs noticeably better than the other models, indicating its superior predictive power and dependability when it comes to categorizing the allergy dataset.

## **IV. DISCUSSION**

A thorough examination of allergic data within the dataset gave useful insights into the prevalence and co-occurrence of various allergic disorders in this study. The prevalence of 'ATOPIC\_DERM,' 'ALLERGIC\_RHINITIS,' and 'ASTHMA' among patients emphasizes the importance of these specific allergens as key classification subjects. As a result, these three classes were chosen as the primary labels for the classification problem, allowing for a more focused and informative examination.

In this study, instance filtering is used to create hybrid classification algorithms in a novel way. In contrast to simple classification algorithms, which yield one model, our approach yields three different

models per hybrid algorithm. One of these models is the only one that can classify a new instance, so the interpretation of the predictions is still as straightforward as with simple algorithms. Thus, our hybrid algorithms not only improve the predictive power and accuracy but also maintain the simple interpretability feature of simple classification models.

The use of the Decision Tree algorithm as a classification tool enabled the creation of numerous models, each representing a different component of the dataset's complexity and categorization limits. A variety of models were developed by carefully tweaking hyperparameters and in-depth study of the resulting tree structures, with varied trade-offs between precision, recall, and overall accuracy.

The identification of the best model, namely the proposed hybrid model, demonstrated the effectiveness of the presented method. This model obtained %90 accuracy on the dataset, with the precision of 0.901 and an F1-score of 0.893. Its high sensitivity of 0.917 and specificity of 0.895 demonstrate a harmonic balance between classification performance and prediction capacity. Importantly, this approach not only advances our understanding of allergic illness classification, but it also has practical applications in medical diagnostics, treatment recommendations, and public health actions.

It is critical to recognize the study's limitations. The use of specific classes and the Decision Tree technique may have consequences for generalization to other datasets and algorithms. Furthermore, while this study provides useful insights into the classification of allergy diseases, future research could look into the incorporation of other features, different algorithms, or ensemble techniques to broaden the scope of classification accuracy.

Important numerical results highlighted the empirical benefits and outcomes. In the best model, the hybrid classification algorithms, creatively employed instance filtering. The numerical result not only confirms the effectiveness of the algorithm but also marks a significant advancement in the analysis of medical data, particularly in the area of allergic disease classification. These numerical results have significant practical implications that improve public health decisions and medical diagnostics. Future research is made possible by the study's methodology, which skillfully balanced classification performance and prediction capacity. These impressive numerical results highlight the transformative potential of incorporating cutting-edge machine-learning techniques into medical science. These findings demonstrate the critical role that quantitative analysis plays in improving patient outcomes and healthcare.

The comparative analysis of various studies employing machine-learning methods in respiratory and allergic conditions highlights the diversity and effectiveness of different approaches (Table 3). While studies like Azam M.A. (2018) and Tinschert P. (2020) demonstrate moderate success with traditional models like SVM and decision trees, they are somewhat limited by smaller sample sizes or lower performance metrics. On the other hand, studies like Tenero L. and Adhi Pramono R.X. (2019) showcase the potential of more sophisticated methods like PCA and logistic regression, achieving higher sensitivity and specificity. Notably, our Proposed Hybrid Model, applied to a substantial dataset of 333,200 children, outperforms others in key metrics like accuracy and precision. This suggests that advanced, hybrid approaches can significantly enhance the capability of machine-learning models in accurately diagnosing and understanding complex medical conditions, offering promising avenues for future research and clinical application.

**Table 3.** Comparative Analysis of Machine-Learning Methods in Respiratory and Allergic Condition Studies.

Study	Participants [DataSource]	ML Methods	Performance
Azam M.A,2018 [33]	50 individuals (age notspecified) with COPD, asthma, bronchitis, andpneumonia	Bag-of-Features, SVM	F1-score =75%, accuracy rate = 75.21(complete cycle

**Table 3 (cont).** Comparative Analysis of Machine-Learning Methods in Respiratory and Allergic Condition Studies.

Tinschert P,2020 [34]	79 adults	Mixed-effects regressions, decision trees	56% <balanced accuracy <70%
Tenero L. [35]	38 children (age 6-16): asthma = 28, control = 10	PCA, penalized logistic model	Sensitivity =79%, specificity= 84%, cross-validated AUC= 80%
Adhi Pramono R.X, 2019 [36]	Unknown individuals from multiple repositories	Logistic regression	Sensitivity =86.78%, specificity =99.42%, F1-score =88.74%
Purnomo A.T, 2021 [37]	Unknown individuals	XGBoost	Precision >80%, sensitivity> 70%, F1-score > 75% (for all classes, MFCC feature extraction)
Zhang O,2020 [20]	2010 individuals (age >16) with severe and persistent asthma	Recursive feature elimination, PCA, random under-sampling, random over-sampling, SMOTE, logistic regression, Naive Bayes, decision tree, perceptron	Sensitivity =90%, specificity= 83%, AUC =85%
<b>Proposed Hybrid Model</b>	<b>333,200 kids with 'atopic_derm,' 'allergic_rhinitis,' and 'asthma,'</b>	<b>Proposed Hybrid Classification Method</b>	<b>Accuracy : %91, Precision: %90, F1-Score: %89, Sensitivity:% 0.89</b>

## IV. CONCLUSION

In this study, instance filtering is used to create hybrid classification algorithms in a novel way. In contrast to simple classification algorithms, which yield one model, our approach yields three different models per hybrid algorithm. One of these models is the only one that can classify a new instance, so the interpretation of the predictions is still as straightforward as with simple algorithms. Thus, our hybrid algorithms not only improve the predictive power and accuracy but also maintain the simple interpretability feature of simple classification models. The combination of thorough data analysis, focused class selection, and the capability of the Decision Tree algorithm has resulted in a strong framework for allergic disease categorization. The findings given in this paper add to the larger field of medical data analysis and categorization approaches. This study not only provides a more nuanced view of allergy disorders, but it also opens the door to future research targeted at improving our ability to

grasp, diagnose, and treat a wide range of medical conditions using modern machine-learning techniques.

## **V. REFERENCES**

- [1] R. S. Gupta *et al.*, “The public health impact of parent-reported childhood food allergies in the United States,” *Pediatrics*, vol. 142, no. 6, p. e20181235, 2018.
- [2] S. M. Jones and A. W. Burks, “Food allergy,” *New England Journal of Medicine*, vol. 377, no. 12, pp. 1168–1176, 2017.
- [3] A. Elghoudi and H. Narchi, “Food allergy in children—the current status and the way forward,” *World Journal of Clinical Pediatrics*, vol. 11, no. 3, p. 253, 2022.
- [4] C. Westwell-Roper *et al.*, “Food-allergy-specific anxiety and distress in parents of children with food allergy: A systematic review,” *Pediatric Allergy and Immunology*, vol. 33, no. 1, p. e13695, 2022.
- [5] E. Jensen-Jarolim *et al.*, “State-of-the-art in marketed adjuvants and formulations in allergen immunotherapy: a position paper of the European Academy of Allergy and Clinical Immunology (EAACI),” *Allergy*, vol. 75, no. 4, pp. 746–760, 2020.
- [6] P. Bégin *et al.*, “CSACI guidelines for the ethical, evidence-based and patient-oriented clinical practice of oral immunotherapy in IgE-mediated food allergy,” *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, vol. 16, pp. 1–45, 2020.
- [7] S. Clark, J. Espinola, S. A. Rudders, A. Banerji, and C. A. Camargo, “Frequency of US emergency department visits for food-related acute allergic reactions,” *Journal of allergy and clinical immunology*, vol. 127, no. 3, pp. 682–683, 2011.
- [8] R. Pawankar *et al.*, “Asia Pacific Association of Allergy Asthma and Clinical Immunology White Paper 2020 on climate change, air pollution, and biodiversity in Asia-Pacific and impact on allergic diseases,” *Asia Pacific Allergy*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [9] C. J. Haug and J. M. Drazen, “Artificial intelligence and machine learning in clinical medicine, 2023,” *New England Journal of Medicine*, vol. 388, no. 13, pp. 1201–1208, 2023.
- [10] A. Ktona, A. Mitre, D. Shehu, and D. Xhaja, “Support Allergic Patients, using Models Found by Machine Learning Algorithms, to Improve their Quality of Life.,” *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 512–517, 2022.
- [11] K. Kamphorst, A. Lopez-Rincon, A. M. Vlieger, J. Garssen, E. van’t Riet, and R. M. van Elburg, “Predictive factors for allergy at 4–6 years of age based on machine learning: A pilot study,” *PharmaNutrition*, vol. 23, p. 100326, 2023.
- [12] E. M. Moreno *et al.*, “Usefulness of an artificial neural network in the prediction of  $\beta$ -lactam allergy,” *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, vol. 8, no. 9, pp. 2974–2982, 2020.
- [13] J. J. Wu *et al.*, “Predictors of nonresponse to dupilumab in patients with atopic dermatitis: a machine learning analysis,” *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, vol. 129, no. 3, pp. 354–359, 2022.

- [14] D. Di Bona, F. Spataro, P. Carlucci, G. Paoletti, and G. W. Canonica, "Severe asthma and personalized approach in the choice of biologic," *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, vol. 22, no. 4, pp. 268–275, 2022.
- [15] Y. Kuniyoshi, H. Tokutake, N. Takahashi, A. Kamura, S. Yasuda, and M. Tashiro, "Machine learning approach and oral food challenge with heated egg," *Pediatric Allergy and Immunology*, vol. 32, no. 4, pp. 776–778, 2021.
- [16] P. Bhardwaj, A. Tyagi, S. Tyagi, J. Antão, and Q. Deng, "Machine learning model for classification of predominantly allergic and non-allergic asthma among preschool children with asthma hospitalization," *Journal of Asthma*, vol. 60, no. 3, pp. 487–495, 2023.
- [17] I. S. Randhawa, K. Groshenkov, and G. Sigalov, "Food anaphylaxis diagnostic marker compilation in machine learning design and validation," *Plos one*, vol. 18, no. 4, p. e0283141, 2023.
- [18] M. G. Yousif, F. G. Al-Amran, A. M. Sadeq, and N. G. Yousif, "The Impact of COVID-19 on Cardiovascular Health: Insights from Hematological Changes, Allergy Prevalence, and Predictive Modeling," *Medical Advances and Innovations Journal*, vol. 1, no. 1, p. 10, 2023.
- [19] K. Goto *et al.*, "Novel machine learning method allerStat identifies statistically significant allergen-specific patterns in protein sequences," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 299, no. 6, 2023.
- [20] J. Zhang *et al.*, "Prediction of oral food challenge outcomes via ensemble learning," *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 36, p. 101142, 2023.
- [21] M. A. Tosca, R. Olcese, C. Trincianti, M. Naso, I. Schiavetti, and G. Ciprandi, "Children with cow's milk allergy: prediction of oral immunotherapy response in clinical practice," *Allergo Journal International*, pp. 1–2, 2023.
- [22] G. Martinroche *et al.*, "Creating a French Dataset for artificial intelligence-assisted allergy diagnosis using semantic attributes and allergen multiplex technology," *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 151, no. 2, p. AB318, 2023.
- [23] B. J. Patchett *et al.*, "Allergic Polysensitization Clusters: Newly Recognized Severity Marker in Urban Asthmatic Adults," *International Archives of Allergy and Immunology*, vol. 184, no. 3, pp. 261–272, 2023.
- [24] S. Grinek *et al.*, "Epitope-specific IgE at 1 year of age can predict peanut allergy status at 5 years," *International Archives of Allergy and Immunology*, vol. 184, no. 3, pp. 273–278, 2023.
- [25] R. H. Ekpo, V. C. Osamor, A. A. Azeta, E. Ikeakanam, and B. O. Amos, "Machine learning classification approach for asthma prediction models in children," *Health and Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2023.
- [26] V. Malizia *et al.*, "Endotyping allergic rhinitis in children: A machine learning approach," *Pediatric Allergy and Immunology*, vol. 33, pp. 18–21, 2022.
- [27] V. R. Allugunti, "A machine learning model for skin disease classification using convolution neural network," *International Journal of Computing, Programming and Database Management*, vol. 3, no. 1, pp. 141–147, 2022.



- [28] M. H. Shamji *et al.*, “EAACI guidelines on environmental science in allergic diseases and asthma—Leveraging artificial intelligence and machine learning to develop a causality model in exposomics,” *Allergy*, 2023.
- [29] M. Nedyalkova, M. Vasighi, A. Azmoon, L. Naneva, and V. Simeonov, “Sequence-Based Prediction of Plant Allergenic Proteins: Machine Learning Classification Approach,” *ACS omega*, vol. 8, no. 4, pp. 3698–3704, 2023.
- [30] D. A. Hill, R. W. Grundmeier, G. Ram, and J. M. Spergel, “The epidemiologic characteristics of healthcare provider-diagnosed eczema, asthma, allergic rhinitis, and food allergy in children: a retrospective cohort study,” *BMC pediatrics*, vol. 16, no. 1, pp. 1–8, 2016.
- [31] D. Valero-Carreras, J. Alcaraz, and M. Landete, “Comparing two SVM models through different metrics based on the confusion matrix,” *Computers & Operations Research*, vol. 152, p. 106131, 2023.
- [32] X. Han, X. Zhu, W. Pedrycz, and Z. Li, “A three-way classification with fuzzy decision trees,” *Applied Soft Computing*, vol. 132, p. 109788, 2023.
- [33] M. A. Azam, A. Shahzadi, A. Khalid, S. M. Anwar, and U. Naeem, “Smartphone based human breath analysis from respiratory sounds,” presented at the 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, 2018, pp. 445–448.
- [34] P. Tinschert *et al.*, “Nocturnal cough and sleep quality to assess asthma control and predict attacks,” *Journal of asthma and allergy*, pp. 669–678, 2020.
- [35] L. Tenero, M. Sandri, M. Piazza, G. Paiola, M. Zaffanello, and G. Piacentini, “Electronic nose in discrimination of children with uncontrolled asthma,” *Journal of Breath Research*, vol. 14, no. 4, p. 046003, 2020.
- [36] R. X. A. Pramono, S. A. Imtiaz, and E. Rodriguez-Villegas, “Automatic cough detection in acoustic signal using spectral features,” presented at the 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, 2019, pp. 7153–7156.
- [37] A. T. Purnomo, D.-B. Lin, T. Adiprabowo, and W. F. Hendria, “Non-contact monitoring and classification of breathing pattern for the supervision of people infected by COVID-19,” *Sensors*, vol. 21, no. 9, p. 3172, 2021.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Synthesis and *in vitro* Biological Assessments of Novel Thiazole-Based Thiosemicarbazone Complexes

Dilek NARTOP<sup>a,\*</sup>, Elvan HASANOĞLU ÖZKAN<sup>b</sup>, Hatice ÖĞÜTCÜ<sup>c</sup>, Nurdan KURNAZ YETİM<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Düzce University, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Gazi University, Ankara, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE

<sup>d</sup> Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Kırklareli University, Kırklareli, TÜRKİYE\*

Corresponding author's e-mail address: dileknartop@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1402771

### ABSTRACT

In the present work, novel heterocyclic thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) were obtained using the template method. The structures of synthesized thiosemicarbazone compounds were determined by some spectroscopic techniques (element analysis, infrared spectra (IR), thermogravimetric analysis (TGA), organic elemental analysis, and magnetic susceptibility measurements). The biological activities of novel heterocyclic thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes were screened *in vitro* against selected disease-causing pathogens (*Micrococcus luteus* ATCC9341, *Staphylococcus epidermidis* ATCC12228, *Bacillus cereus* RSKK863, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853, *Klebsiella pneumonia* ATCC27853, *Enterobacter aerogenes* ATCC51342, *Salmonella typhi* H NCTC9018394, *Shigella dysenteria* NCTC2966, *Proteus vulgaris* RSKK96026, *Candida albicans* Y-1200-NIH) were as potential antimicrobial agents. It was determined that the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes exhibited high or moderate antibacterial and antifungal activity.

**Keywords:** Ag(I) complex, Thiazole, Thiosemicarbazone, Biological activity

## Yeni Tiyazol Bazlı Tiyosemikarbazon Komplekslerinin Sentezi ve *in vitro* Biyolojik Değerlendirmeleri

### ÖZ

Sunulan bu çalışmada, yeni heterosiklik tiyazol bazlı tiyosemikarbazon Ag(I) kompleksleri (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) template yöntem ile elde edildi. Sentezlenen tiyosemikarbazon bileşiklerinin yapıları bazı spektroskopik teknikler (element analizi, infrared spektra (IR), termogravimetrik analiz (TGA), organik elemental analiz, ve magnetik duyarlılık ölçümleri) ile karakterize edildi. Yeni heterosiklik tiyazol bazlı tiyosemikarbazon Ag(I) komplekslerinin biyolojik aktiviteleri potansiyel antimikrobiyal ajanlar olarak seçilmiş hastalık yapıcı patojenlere (*Micrococcus luteus* ATCC9341, *Staphylococcus epidermidis* ATCC12228, *Bacillus cereus* RSKK863, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853, *Klebsiella pneumonia* ATCC27853, *Enterobacter aerogenes* ATCC51342, *Salmonella typhi* H NCTC9018394, *Shigella dysenteria* NCTC2966, *Proteus vulgaris* RSKK96026, *Candida albicans* Y-1200-NIH) karşı *in vitro* olarak incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Ag(I) kompleksi, Tiyazol, Tiyosemikarbazon, Biyolojik aktivite

## I. INTRODUCTION

Heterocyclic compounds are defined as cyclic organic compounds containing heteroatoms (nitrogen, oxygen, sulfur, phosphorus, *etc.*) next to carbon atoms [1]. The unique properties of heterocyclic compounds make them an interesting research topic. Among the wide variety of heterocyclic compounds, heterocyclic thiosemicarbazones are an interesting field of study because of their potential biological, physical, chemical, ion sensing, and catalytic properties [2-4].

Heterocyclic thiosemicarbazones are important ligand types due to the containing potent donor atoms and some of their properties such as  $\pi$  delocalization and configuration flexibility [5]. The conjugated N-N-S systems provide important properties such as therapeutic, biological to thiosemicarbazones [6, 7].

Heterocyclic thiosemicarbazones and their metal complexes possess antiviral, antitumor, antimicrobial, anti-inflammatory, antimalarial, antibacterial, antiproliferative, antiplasmodial, antioxidant, and anticancer properties [8-11]. They also demonstrate cytotoxicity activity as antineoplastic agents and are potential therapeutics for cancer and neurodegenerative diseases [12, 13]. Heterocyclic thiosemicarbazone metal complexes are also of great interest in medicinal chemistry due to their interactions with DNA [14, 15].

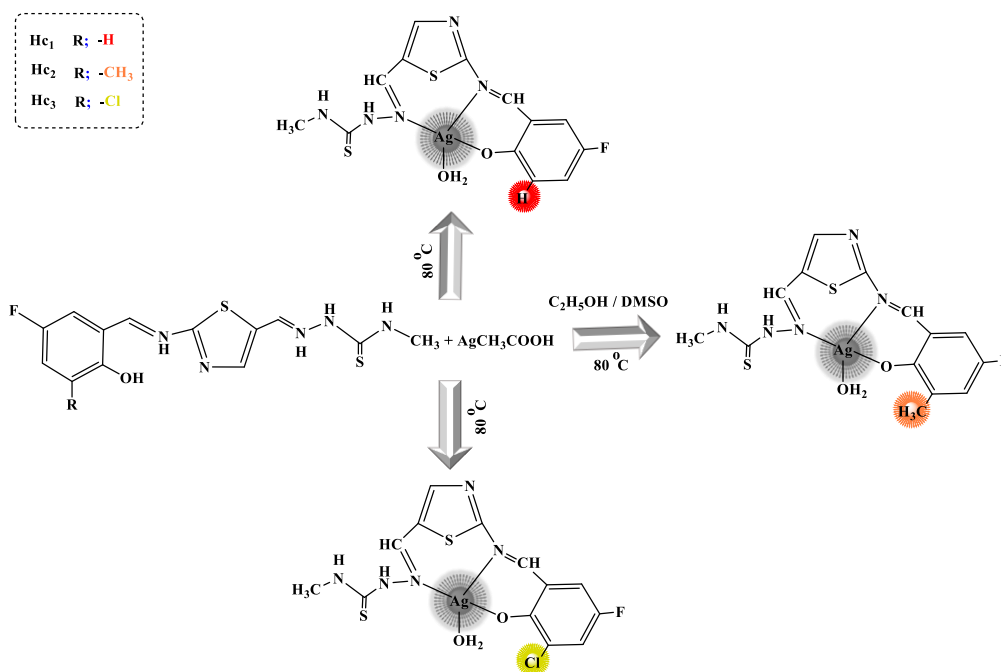
Due to the increase in microbiological resistance, there has been a need for the discovery of new antimicrobial agents in recent years. For this reason, due to the biological, therapeutic, and pharmacological potential of silver complexes, novel heterocyclic thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes were synthesized and characterized here.

## II. MATERIALS AND METHODS

All materials were provided by Sigma-Aldrich or Merck. Elemental analyses were recorded on a Thermo Scientific Flash 2000 model elemental analyzer.  $^1\text{H-NMR}$  spectra were determined with a Bruker Biospin brand Avance III 400 MHz model device. TGA measurements were obtained using a Shimadzu-DTG 60H DSC 60 model thermal analyzer. UV-Vis absorption spectra were collected using a UV-1800 ENG-240V, Soft type spectrophotometer. Magnetic susceptibility measurements were carried out using a Sherwood - Scientific-MKI type Evans magnetic susceptibility device.

### **A. GENERAL PROCEDURE FOR THE SYNTHESIS OF THIAZOLE-BASED THIOSEMICARBAZONE Ag(I) COMPLEXES (**Hc**<sub>1</sub>, **Hc**<sub>2</sub>, **Hc**<sub>3</sub>)**

All thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc**<sub>1</sub>, **Hc**<sub>2</sub>, **Hc**<sub>3</sub>) were synthesized by condensation reaction by the general procedure (Figure 1). New thiosemicarbazone Ag(I) complexes were obtained by the reaction of 2-aminothiazole-5-carboxaldehyde, 4-methyl-3-thiosemicarbazide, salicylaldehyde derivatives, and silver(I) acetate with template method. New thiosemicarbazone Ag(I) complexes were synthesized by adding 4 mmol of 4-methyl-3-thiosemicarbazide, a stirred solution of 2-aminothiazole-5-carboxaldehyde (4 mmol) in ethyl alcohol/DMSO and heating for 4 h at 80 °C. The pH of the solution was adjusted to 5-5.5 by adding 1 mL of acetic acid. 4 mmol of 5-fluorosalicylaldehyde (or 5-Fluoro-3-methylsalicylaldehyde or 3-chloro-5-fluorosalicylaldehyde) in ethyl alcohol (50mL) was added to the solution and was stirred for a further 3 h at 80 °C under reflux. A silver(I) acetate in ethyl alcohol (5mL) was then added to the solution and stirred for a further 4 h at 70 °C under reflux. The mixture was slowly evaporated at room temperature for a couple of days, and purified, filtered, and colored product was obtained.



**Figure 1.** General procedure for the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**)

## B. BIOLOGICAL ASSESSMENTS

The antimicrobial activities of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) were investigated *in vitro* against some disease-causing pathogenic microorganisms. For this purpose, the well-diffusion method was used. In the method, dimethylsulfoxide (DMSO) was used as solvent control. It had no antimicrobial activity against any of the tested organisms. All of the thiosemicarbazone Ag(I) complexes were dissolved in DMSO (3.5 g/mL). Pathogens were cultured for 24h at 37°C in Nutrient Broth Agar (10<sup>6</sup> CFU/mL). The cultures were homogenized by adding Mueller-Hinton Agar (MHA), then chilled to 45 °C and put into sterile petri dishes. The thiosemicarbazone Ag(I) complexes were then introduced to wells 6 mm in diameter in the agars. The plates were incubated in an oven at 37 °C for 24h before measuring the zone of inhibition for each complex and taking the average of the activity values done twice [16].

Furthermore, ampicillin (AMP10), sulphamethoxazole (SXT25), amoxicillin (AMC30), kanamycin (K30), and nystatin (NYS100) were used as standard antibiotics. Pathogenic bacteria were compared with AMP10, SXT25, AMC30, and K30 antibiotics. The yeast was compared only with the NYS100 antibiotic.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### A. CHEMISTRY

Elemental analysis results, analytical, electromagnetic spectra, and thermal data of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) are presented in Table 1. For all thiosemicarbazone Ag(I) complexes, it was seen that the elemental analysis and the chemical formulas of the complexes were compatible. Elemental analysis, calcd. (found): C<sub>13</sub>H<sub>13</sub>FN<sub>5</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>Ag, C: 33.78 (34.02), H: 2.83 (3.01), N: 15.15 (14.79), S: 13.87 (13.95) for **Hc<sub>1</sub>**; C<sub>14</sub>H<sub>15</sub>FN<sub>5</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>Ag, C: 35.30 (35.27), H: 3.17 (3.26), N: 14.70 (14.64), S: 13.46 (13.37) for **Hc<sub>2</sub>**; C<sub>13</sub>H<sub>12</sub>FCIN<sub>5</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>Ag, C: 31.44 (31.50), H: 2.44 (2.41), N: 14.10 (14.13), S: 12.91 (13.04) for **Hc<sub>3</sub>**.

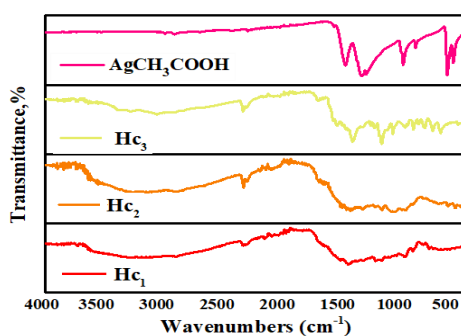
**Table 1.** TGA, UV-vis and analytical data of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (nm,  $\epsilon \times 10^{-4} M$ )

Compound	Chemical Formula	Colour / $\mu_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{S/cm}$ )		$T_i$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_f$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Residue mass at 800 $^{\circ}\text{C}$ (wt %)	Charge transfer transition
<b>Hc<sub>1</sub></b>	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub> FN <sub>5</sub> O <sub>2</sub> S <sub>2</sub> Ag (462)	Dark brown / 40.5	1st	400.39	541.63	11.51	363
			2nd	584.71	684.71		
<b>Hc<sub>2</sub></b>	C <sub>14</sub> H <sub>15</sub> FN <sub>5</sub> O <sub>2</sub> S <sub>2</sub> Ag (476)	Brown / 5.9	1st	453.21	560.73	12.87	361
			2nd	590.70	687.74		
<b>Hc<sub>3</sub></b>	C <sub>13</sub> H <sub>12</sub> FCIN <sub>5</sub> O <sub>2</sub> S <sub>2</sub> Ag (497)	Dark brown / 71.4	1st	111.95	241.63	43.45	359
			2nd	244.23	329.80		
			3rd	414.99	548.77		
			4th	576.80	647.42		

Characteristic FT-IR spectrum data for the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) are presented in Table 2 and are shown in Figure 2. The  $\nu(\text{CH}=\text{N})$  stretching vibrations of azomethine groups were observed in the 1620-1633  $\text{cm}^{-1}$  and 1515-1517  $\text{cm}^{-1}$  ranges, respectively. The  $\nu(\text{C}-\text{S}-\text{C})$  absorption bands of thiazole groups appeared in the region of 735-743  $\text{cm}^{-1}$ .  $\nu(\text{CH})$  and  $\nu(\text{C}=\text{C})$  stretching vibrations of the aromatic ring were determined in the 3012-3022  $\text{cm}^{-1}$  and 1480-1488  $\text{cm}^{-1}$  regions, respectively. The  $\nu(\text{N}-\text{N})$  and  $\nu(\text{N}-\text{H})$  absorption bands appeared in 1011-1018  $\text{cm}^{-1}$  and 3272-3287  $\text{cm}^{-1}$ , respectively. The  $\nu(\text{C}=\text{S})$  absorption bands occurred between 851-865  $\text{cm}^{-1}$  and 1208-1211  $\text{cm}^{-1}$ , respectively [17]. The stretching vibrations of  $\nu(\text{H}_2\text{O})$  were determined in the ranges 3316-3318  $\text{cm}^{-1}$ . Additionally, the absorption bands of  $\nu(\text{M}-\text{O})$  and  $\nu(\text{M}-\text{N})$  were observed in the range of 533-544  $\text{cm}^{-1}$  and 460-469  $\text{cm}^{-1}$ . The weak stretching vibrations are predicted to indicate the coordination of Ag(I) ions with the azomethine groups [18]. Further, the  $\nu(\text{Ar}-\text{OH})$  absorption bands did not appear in the spectra of the complexes, indicating the coordination of oxygen atoms with Ag(I).

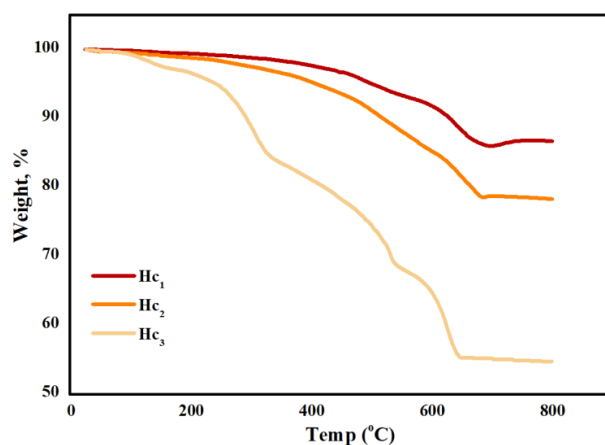
**Table 2.** FTIR - vibration frequencies ( $\text{cm}^{-1}$ ) of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes

Compound	$\nu(\text{H}_2\text{O})$	$\nu(\text{CH})_{\text{aro.}}$ / $\nu(\text{C}=\text{C})$	$\nu(\text{CH}=\text{N})/$ $\nu(\text{CH}=\text{N})_{\text{tyz.}}$	$\nu(\text{C}=\text{S})$	$\nu(\text{C}-\text{S}-\text{C})$	$\nu(\text{N}-\text{N})$ / $\nu(\text{N}-\text{H})$	$\nu(\text{M}-\text{O})$ / $\nu(\text{M}-\text{N})$
<b>Hc<sub>1</sub></b>	3316	3022 1486	1620 1515	1210 865	743	1018 3280	534 / 462
<b>Hc<sub>2</sub></b>	3318	3013 1480	1630 1516	1208 851	743	1011 3272	533 / 460
<b>Hc<sub>3</sub></b>	3317	3012 1488	1633 1517	1211 854	735	1016 3287	544 / 469



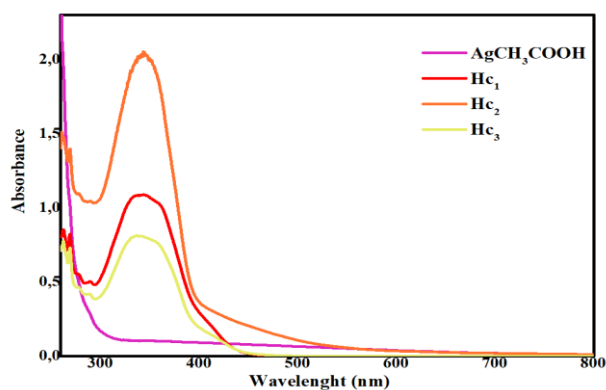
**Figure 2.** FT-IR vibration frequencies the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**)

TGA data for the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) are presented in Table 1 and are shown in Figure 3. The thermal degradation curves show that **Hc<sub>1</sub>** exhibited two-step weights. In the first step, the values  $T_i$  and  $T_f$  were observed at 400.39 and 541.63 °C, respectively. In the second step, the values  $T_i$  and  $T_f$  were determined at 584.71 and 684.71 °C, respectively. The thermal degradation curves show that **Hc<sub>2</sub>** exhibited two-step weights. In the first step, the values  $T_i$  and  $T_f$  were observed at 453.21 and 560.73 °C, respectively. In the second step, the values  $T_i$  and  $T_f$  were determined at 590.70 and 687.74 °C, respectively. **Hc<sub>3</sub>** exhibited four-step weights. In the first step,  $T_i$  and  $T_f$  were observed at 111.95 and 241.63 °C, respectively. In the second step,  $T_i$  and  $T_f$  were determined at 244.23 and 329.80 °C, respectively. In the third step, the values  $T_i$  and  $T_f$  values were observed at 414.99 and 548.77 °C, respectively. In the fourth step, the values  $T_i$  and  $T_f$  were determined at 576.80 and 647.42 °C, respectively. In addition, the percentage of residue mass in all thiosemicarbazone Ag(I) complexes at final temperature was determined to be 11.51-43.45 %, indicating AgO.



**Figure 3.** TGA curves of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**)

UV-Vis data for the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) are presented in Table 1 and are shown in Figure 4. For all thiosemicarbazone Ag(I) complexes, the  $\pi \rightarrow \pi^*$  transitions belonging to the aromatic ring appeared in the ranges 259-263 nm. The  $n \rightarrow \pi^*$  transitions belonging to the imine group were observed in the ranges 338-345 nm. For all thiosemicarbazone Ag(I) complexes, the absorption bands appeared in the ranges 359-363 nm, which is assigned to charge transfer transitions [19,20]. The absence of absorption bands in the visible region due to the  $d^{10}$  configuration is an indication of the tetrahedral geometry [18]. According to magnetic susceptibility measurement, all thiosemicarbazone complexes showed diamagnetic properties. These results indicate that the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes have tetrahedral geometry [21].



**Figure 4.** UV-Vis spectra of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**)

## B. BIOLOGICAL EVALUATION

The antimicrobial activity data for the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) are presented in Table 3 and are shown in Figure 5. The thiosemicarbazone Ag(I) complexes were evaluated *in vitro* for the antifungal and antibacterial activities against selected disease-causing pathogenic strains. In the well-diffusion method, *Micrococcus luteus* ATCC9341, *Staphylococcus epidermidis* ATCC12228, and *Bacillus cereus* RSKK863 were used as Gram (+) bacteria. *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853, *Klebsiella pneumonia* ATCC27853, *Enterobacter aerogenes* ATCC51342, *Salmonella typhi* H NCTC9018394, *Shigella dysenteria* NCTC2966, and *Proteus vulgaris* RSKK96026 were used as Gram (-) bacteria. *C. albicans* was used as yeast. Additionally, pathogenic microorganisms and yeast were compared with standard antibiotics (Ampicillin, Kanamycin, Sulphamethoxazole, Amoxicillin) and anticandidal (Nystatin).

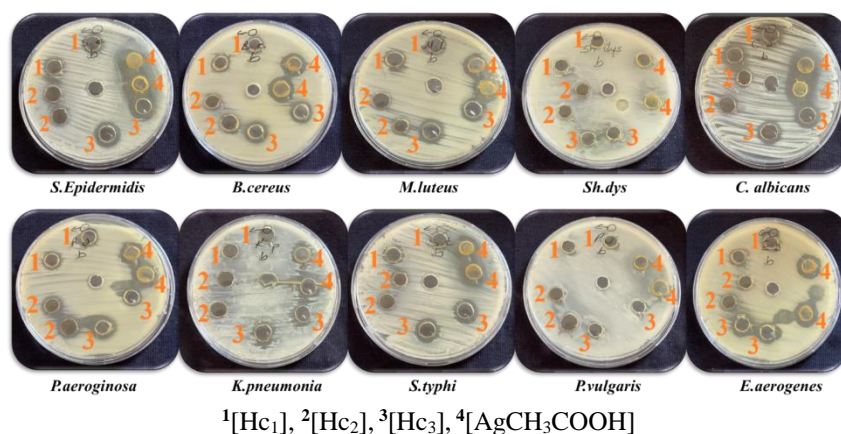
The thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (**Hc<sub>1</sub>**, **Hc<sub>2</sub>**, **Hc<sub>3</sub>**) exhibited different antibacterial and antifungal activity. All Ag(I) complexes, **Hc<sub>1</sub>** (15 mm), **Hc<sub>2</sub>** (16 mm), and **Hc<sub>3</sub>** (20 mm) exhibited the highest antibacterial activity against *P. aeruginosa* than all standard antibiotics (AMP10, SXT25, AMC30, K30). *P. aeruginosa* is an opportunistic pathogen responsible for burn injuries, urinary tract infections [22-24]. Among gram (-) bacteria, **Hc<sub>3</sub>** (20 mm) showed the highest inhibitory effect against *P. aeruginosa*. Among gram (+) bacteria, **Hc<sub>3</sub>** (18 mm) showed the highest inhibitory effect against *S. epidermidis*. It is a pathogen that causes some infections (septicemia, endocarditis, etc.) [25]. **Hc<sub>1</sub>** (16 mm) also exhibited the highest antibacterial activity against *M. Luteus*. It is a bacteria that causes bloodstream infections [26]. **Hc<sub>1</sub>** (20 mm) showed the highest antifungal activity against *C. albicans*. The complex exhibited as much antifungal activity as standard antibiotic NYS10. *C. albicans* is a fungus that causes infections in the gastrointestinal tract and bloodstream [27].

**Table 3.** Antimicrobial activities of the thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes (diameter of zone of inhibition (mm)).

Microorganisms	Compounds			Positive control			
	Hc <sub>1</sub>	Hc <sub>2</sub>	Hc <sub>3</sub>	AMP10	SXT25	AMC30	K30
<i>M. luteus</i>	16	13	16	22	21	25	23
<i>S. epidermidis</i>	15	11	18	26	25	27	25
<i>B. cereus</i>	13	12	15	23	25	20	28
<i>P. aeruginosa</i>	15	16	20	8	18	15	14
<i>K. pneumonia</i>	11	-	16	21	20	21	23
<i>E. aerogenes</i>	15	12	18	21	19	20	24
<i>S. typhi</i> H	13	12	15	11	17	19	20
<i>S. dysenteria</i>	10	10	11	10	18	14	25
<i>P. vulgaris</i>	10	10	11	17	19	20	21
				<b>NYS10</b>			
<i>C. albicans</i>	20	11	16	20			
DMSO (solvent control)	-	-	-				

Standard reagents: K30 Kanamycin, 30 µg; SXT25 sulfamethoxazol, 25 µg; AMP10 Ampicillin, 10 µg; AMC30 Amoxicillin, 30 µg; NYS100 Nystatin, 100 µg.

According to the biological evaluation results, it was determined that thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes had high or moderate antibacterial and antifungal effects. Based on these results, it can be said that newly synthesized thiosemicarbazone Ag(I) complexes can be used as powerful antimicrobial agents in various biomedical applications.



**Figure 5.** Photographs of inhibition zones (mm) of some Gram (+) and Gram (-) bacteria and yeast

## IV. CONCLUSION

In the work, novel heterocyclic thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes were synthesized to investigate their *in vitro* antibacterial and antifungal efficacy. The synthesized thiosemicarbazone Ag(I) complexes were characterized by various spectroscopic techniques. Biological assessments were performed using the well-diffusion method against pathogenic strains. The results demonstrated that the thiosemicarbazone Ag(I) complexes had high/or moderate antimicrobial efficacy. In conclusion, novel thiazole-based thiosemicarbazone Ag(I) complexes can be suggested as potential agents to be evaluated in relevant fields (such as pharmaceuticals, medicinal chemistry, biology, *etc.*) due to their biological activities.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is supported by Düzce University Scientific Project (Project no: 2021.05.03.1215).

## V. REFERENCES

- [1] B. Pan, C. V. S. Reddy, Y. Wu, L. Qiu, "Recent advances in cyclization reactions via catalytic allylic substitution for the asymmetric synthesis of heterocyclic compounds," *Tetrahedron Letters*, vol. 141, pp. 155071, 2020.
- [2] A. Khan, K. Paul, I. Singh, J.P. Jasinski, V.A. Smolenski, E.P. Hotchkiss, P.T. Kelley, Z.A. Shalit, M. Kaur, S. Banerjee, P. Roy, R. Sharma, "Copper(I) and silver(I) complexes of anthraldehyde thiosemicarbazone: synthesis, structure elucidation, *in vitro* anti-tuberculosis/cytotoxic activity and interactions with DNA/HSA," *Dalton Transactions*, vol. 15, no. 49(47), pp. 17350–17367, 2020.
- [3] R. K. Mahajan, T.P.S. Walia, T.S. Lobana, Sumanjit, "Cyclopentanone thiosemicarbazone, a new complexing agent for copper determination in biological samples by adsorptive stripping voltammetry," *Analytical Sciences*, vol. 22, pp. 389–392, 2006.
- [4] A. Castiñeiras, N. Fernández-Hermida, I. García-Santos, L. Gómez-Rodríguez, "Neutral Ni<sup>II</sup>, Pd<sup>II</sup> and Pt<sup>II</sup> ONS-pincer complexes of 5-acetylbarbituric-4N-dimethylthiosemicarbazone: synthesis, characterization and properties," *Dalton Transactions*, vol. 41, pp. 13486–13495, 2012.
- [5] A. I. Matesanz, P. Souza, "Unprecedented Pt(II) complex of an asymmetric 2,6-diacetylpyridine bis(4N-substituted thiosemicarbazone) ligand," *Inorganic Chemistry Communications*, vol. 27, pp. 5–8, 2013.



- [6] M. Bingül, "Synthesis and characterisation of novel 4,6-dimethoxyindole-7- and -2-thiosemicarbazone derivatives: Biological evaluation as antioxidant and anticholinesterase candidates," *Journal of Chemical Research*, vol. 43, no. 9-10, pp. 399–406, 2019.
- [7] D. R. Richardson, "Iron chelators as therapeutic agents for the treatment of cancer," *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, vol. 42, no. 3, pp. 267–281, 2002.
- [8] B. Kaya, A. Koca, B. Ülküseven, "Asymmetric  $N_2O_2$  complexes of iron(III) and nickel(II) obtained from acetylaceton-S-methyl-thiosemicarbazone: synthesis, characterization and electrochemistry," *Journal of Coordination Chemistry*, vol. 68, no. 4, pp. 586–598, 2015.
- [9] M. Karatepe, F. Karatas, "Antioxidant, prooxidant effect of the thiosemicarbazone derivative Schiff base (4-(1- phenylmethylcyclobutane-3-yl)-2-(2- hydroxybenzylidene- hydrazino) thiazole) and its metal complexes on rats," *Cell Biochemistry and Function*, vol. 24, no. 6, pp. 547–554, 2006.
- [10] S. Padhye, Z. Afrasiabi, E. Sinn, J. Fok, K. Mehta, N. Rath, "Antitumor metallothiosemicarbazones: structure and antitumor activity of palladium complex of phenanthrenequinone thiosemicarbazone," *Inorganic Chemistry*, vol. 44, no. 5, pp. 1154–1156, 2005.
- [11] N. A. H. Syahrina, J. N. Fariza, M. R. M. Abd Razak, N. R. F. Mohd Sofyan, S. N. Abdul Halim, N. F. Rajab, R. Sarip, "Synthesis, characterization, and evaluation of silver(I) complexes with mixed-ligands of thiosemicarbazones and diphenyl(p-tolyl)phosphine as biological agents," *Journal of Coordination Chemistry*, vol. 72, no. 5-7, pp. 879–893, 2019.
- [12] N. Özdemir, M. Sahin, T. Bal-Demirci, B. Ülküseven, "The asymmetric ONNO complexes of dioxouranium(VI) with  $N^1, N^4$ -diarylidene-S-propyl-thiosemicarbazones derived from 3,5-dichlorosalicylaldehyde: Synthesis, spectroscopic and structural studies," *Polyhedron*, vol. 30, no. 3, pp. 515–521, 2011.
- [13] D. U. Kirtani, N. S. Ghatpande, K. R. Suryavanshi, P. P. Kulkarni, A. A. Kumbhar, "Fluorescent copper(II) complexes of asymmetric bis(thiosemicarbazone)s: Electrochemistry, cellular uptake and antiproliferative activity," *ChemistrySelect*, vol. 6, pp. 6063–6070, 2021.
- [14] D. Polo-Cero'n, "Cu(II) and Ni(II) complexes with new tridentate nns thiosemicarbazones: synthesis, characterisation, dna interaction, and antibacterial activity," *Bioinorganic Chemistry and Applications*, vol. 2019, pp. 1-14, 2019.
- [15] D. S. Kalinowski, P.C.S. Yu, M. Islam, L. Yi-Tyng, D.B. Lovejoy, N. Kumar, P.V. Bernhardt, D.R. Richardson, "Design, synthesis, and characterization of novel iron chelators: structure-activity relationships of the 2-benzoylpyridine thio-semicarbazone series and their 3-nitrobenzoyl analogues as potent antitumor agents," *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 50, no. 15, pp. 3716–3729, 2007.
- [16] E. Ülke, E. Hasanoğlu Özkan, D. Nartop, H. Ogutcu, "New antimicrobial polymeric microspheres containing azomethine," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, vol. 32, pp. 3971–3982, 2022.
- [17] L. N. Obasi, P. O. Ukoha, K. F. Chah, A. O. Anaga, "Synthesis, spectroscopic characterization and antibacterial screening of novel n-(benzothiazol-2-yl)ethanamides," *Eclética Química*, vol. 36, no. 1, pp. 1–3, 2011.
- [18] B. Sundaram, M. Dharmasivam, S.K. Raju, G.K. Young, G. Mani, K. Kyobum, K.R. Aziz, "Biocompatibility, in vitro antiproliferative, and in silico EGFR/VEGFR2 studies of heteroleptic metal(II) complexes of thiosemicarbazones and Naproxen," *Chemical Research in Toxicology*, vol. 32, no. 8, pp. 1554–1571, 2019.



- [19] K. Vinod, S. Vikram, N.G. Ajit, K.M. Krishna, B.P. Lal, G.B.D. Michael, S. Nanhai, "Influence of ligand environment on the structure and properties of silver(I) dithiocarbamate cluster-based coordination polymers and dimers," *New Journal of Chemistry*, vol. 38, no. 9, pp. 4478–4485, 2014.
- [20] R. Suman, K.M. Tapan, M. Partha, L.T. Elena, S. Chittaranjan, "Synthesis, structure, spectroscopic properties, electrochemistry, and DFT correlative studies of N-[(2-pyridyl)methylidene]-6-coumarin complexes of Cu(I) and Ag(I)," *Polyhedron*, vol. 30, no. 6, pp. 913–922, 2011.
- [21] M. M. Jan, W. K. Mohd, D. Kiran, "A novel tetrahedral silver complex of (z)-o-methyl s-hydrogen tosylcarbonimidothioate: DFT supported crystallographic and spectroscopic study," *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 99, no.8, pp. 100626, 2022.
- [22] D. Nartop, E. Tokmak, E. Hasanoğlu Özkan, H.E. Kızıl, H. Ögütçü, G.Ağar, S. Allı, "Synthesis of novel polymers containing Schiff base as potential antimutagenic and antimicrobial agents," *Journal of Medicinal and Chemical Sciences*, vol.3, no.4, pp. 363–372, 2020.
- [23] D. Nartop, E. Hasanoğlu Özkan, M. Gündem, S. Çeker, G. Ağar, H. Ögütçü, N. Sarı, "Synthesis, antimicrobial and antimutagenic effects of novel polymeric-Schiff bases including indol," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1195, pp. 877–882, 2019.
- [24] D. Nartop, B. Demirel, M. Güleç, E. Hasanoğlu Özkan, N. Kurnaz Yetim, N. Sarı, S. Çeker, H. Ögütçü, G. Ağar, "Novel polymeric microspheres: Synthesis, enzyme immobilization, antimutagenic activity, and antimicrobial evaluation against pathogenic microorganisms," *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, vol.34, no.2, pp. e22432, 2019.
- [25] P. Georg, S.P. Françoise, J. Bernd, "Staphylococcus epidermidis-a Versatile Pathogen," in *Pathogenesis of wound and biomaterial-associated infections*, 1st ed., London, Springer-Verlang, 1990, no. 46, pp. 309–311.
- [26] M. Zhu, Q. Zhu, Z. Yang, Z. Liang, "Clinical characteristics of patients with micrococcus luteus bloodstream infection in a Chinese tertiary-care hospital," *Polish Journal of Microbiology*, vol. 70, no. 3, pp. 321–326, 2021.
- [27] H. Carolus, K.V. Dyck, P.V. Dijck, "Candida albicans and Staphylococcus species: A threatening twosome," *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, no. 2162, pp.1–8, 2019.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Traktörlerde Kullanılan Elektro-Hidrolik Kaldırıcılar İçin Tasarlanan Alternatif Bir Çeki Algılama Sistemi

 Gökay UYMAZ <sup>a,\*</sup>,  Bahar UYMAZ <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Hema Endüstri A.Ş., Çerkezköy, Tekirdağ, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gokayuyamaz@hattat.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.1180954

### Öz

Traktör hidrolik kaldırıcılarının performansı, önemli ölçüde kaldırma kapasitesi ve çeki kontrol sisteminin hassasiyeti ile belirlenir. Konuyla ilgili uzun süredir devam eden uygulamalardan da anlaşılacağı gibi, mekanik-hidrolik çeki kontrol sistemlerinde çeki kuvvetini algılama sistemleri çok parçalı ve karmaşıktır. Elektro-hidrolik çeki kontrol sistemleri, nispeten basit olmakla birlikte, yük pimleri (load pin) ve elektronik kontrol üniteleri gibi pahalı ve özel elektronik parçalar içerir. Ayrıca yük piminin sisteme uygulanabilmesi için hidrolik kaldırıcı gövdesi ve reaksiyon mesnedi ayrı parçalar olarak tasarlanmalı ve yük pimleri ve diğer bazı bağlantı alt parçaları ile birleştirilmelidir. Özel elektronik bileşenler ve çok parçalı karmaşık bir tasarım, iyileştirilmesi gereken bir sorun olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, traktör hidrolik kaldırıcılarında kullanılan elektro-hidrolik çeki kontrol sistemlerindeki mevcut yük pimleri yerine, çeşitli traktörlere kolaylıkla adapte edilebilecek ve aynı işlevi fonksiyon kaybı olmadan sağlayabilecek alternatif bir tasarım önerilmiştir. Çok parçalı tasarım yerine kaldırıcı gövdesi ve reaksiyon mesnedinin tek parça halinde entegre edilen bu alternatif sistem tasarımı bir avantaj olarak sunulmaktadır. Çalışmada reaksiyon mesnedi üzerine yeni tasarım için uygulama yapılabilecek en uygun nokta sonlu elemanlar (FEA) analizi ile belirlenmiştir. Yeni tasarım, hidrolik kaldırıcı test düzeneğine uygulanmış ve işlevselliğini doğrulamak için deneysel olarak test edilmiştir. Sonuçlar, yeni tasarımın pratikliğini ve güvenilirliğini doğrulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çeki kontrol, Yük pimi, Gerinim ölçer, Traktör hidrolik kaldırıcı

## An Alternative Draft Sensing System Designed for Electro-Hydraulic Lifts Used on Tractors

### ABSTRACT

The performance of tractor hydraulic lifters is largely determined by the lifting capacity and the precision of the draft sensing system. As can be understood from the long-standing applications on the subject, the draft sensing systems in mechanical-hydraulic draft sensing systems are multi-part and complex. Electro-hydraulic draft sensing systems, while relatively simple, contain expensive and specialized electronics such as load pins and electronic control units. In addition, in order for the load pin to be applied to the system, the hydraulic lifter body and the reaction support must be designed as separate parts and combined with the load pins and some other connecting sub-parts. Special electronic components and a complex multi-part design were identified as a problem to be improved. In this study, an alternative design that can be easily adapted to various tractors and provide the same function without loss of function has been proposed instead of the existing load pins in electro-hydraulic draft sensing systems used in tractor hydraulic lifters. This alternative system, in which the lifter body and reaction support are integrated in one piece instead of the multi-piece design, is presented as an advantage in the design. In

the study, the most suitable point to be applied for the new design on the reaction support was determined by finite element (FEA) analysis. The new design has been applied to the hydraulic lifter test rig and has been experimentally tested to verify its functionality. The results confirm the practicality and reliability of the new design.

*Keywords: Draft sense, load-pin, Strain-gage, Tractor hydraulic lifter*

## **I. GİRİŞ**

Hidrolik kaldırıcıların tarım traktörlerinde kullanımının başlangıcı 1965 yılı olarak bilinmektedir, [1]. Tarım traktörlerinde kullanılan hidrolik kaldırıcıların fonksiyonları; kaldırma, indirme, taşıma, otomatik derinlik kontrolü, yüzer pozisyon ve pozisyon kontrolüdür. Son zamanlarda hem konforu hem de hassas kontrol olanaklarını arttırdığı için genelde traktör hidroliğine özelde de hidrolik kaldırıcılara elektronik eklentiler dahil edilmektedir. Traktör hidrolik kaldırıcının performansı, traktör hidrolik kaldırıcının kaldırma kapasitesi ve çeki kontrol (güç kontrol) sisteminin hassasiyeti ile belirlenir. Al-Kheer ve arkadaşları [2] toprak işleme kuvvetlerinin değişkenliğini çeşitli koşullar altında incelemiştir. Tarlada traktörle işlem yapılırken çok sert veya çok nemli gibi düzgün olmayan toprak koşulları veya taş, kök gibi çeşitli engellerle karşılaşılması olağan bir durumdur ve bu koşullar traktörün ekipmanı çekmek için yüksek güç kullanmasını gerektirir veya traktörün takılmasına sebep olur. Bu durumların meydana gelmesi çeki kontrol sistemi ile engellenmektedir. Çeki kontrol sistemi, ekipmanın sahada zorlandığını hisseder ve sahadan gelen kuvvet ortadan kalkana kadar kaldırma kollarının ekipmanı kaldırmasına izin verir. Tarladan gelen kuvvet ortadan kalkar kalkmaz kollar eski konumuna geri döner ve önceden ayarlanan toprak derinliğine iner. Çeki kontrol sistemi yoksa veya düzgün çalışmıyorsa motor zorlanır, tekerlekler patinaj yapar ve bağlı tüm mekanik parçalar yorulmaya maruz kalır. Bu, motor ve lastikler dahil tüm parçaların ömrünün azalmasına neden olur. Kısa vadede ise manuel müdahaleler nedeniyle operatör yorgunluğuna ve yakıt tüketiminde artışa sebep olur.

Çeki kontrol sistemi tasarımı, mekanik-hidrolik kaldırıcılarda ve elektro-hidrolik kaldırıcılarda prensipte aynı olmasına rağmen, çekme kuvvetini hissetmek için kullanılan yöntemler farklıdır. Mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik çeki kontrol sistemi tasarımı temel olarak iki şekilde yapılmaktadır; birinci tipte çeki kuvveti üç nokta askı sisteminin üst bağlantı noktasından (orta kol / üst bağlantı noktası) hissedilirken, ikinci tipte çeki kuvveti alt bağlantı noktasından (alt askı kolları) hissedilir. Mekanik-hidrolik kaldırıcılarda zeminden gelen çeki kuvveti, kuvvetin büyüklüğüne göre bir yayı veya benzeri bir mekanizmayı iter ve kontrol sürgüsü vasıtasıyla oransal olarak kontrol valfine iletir. Elektro-hidrolik kaldırıcılarda, zeminden gelen çeki kuvveti çoğunlukla mekanik-hidrolik kaldırıcı benzeri yaylı bir mekanizmanın hareketini ölçen bir sensör ya da yükleme pimi vasıtasıyla ve elektronik kontrol ünitesinde (EKÜ) hissedilir. EKÜ 'de değerlendirildikten sonra oransal solenoidler tarafından kontrol edilen kontrol valfine iletir. Yük pimi, mekanik çeki kontrol sistemlerine benzer şekilde üst bağlantı noktasına ya da alt bağlantı noktasına uygulanır. Yüksek beygir gücüne sahip traktörlerde alt askı kolu bağlantı noktası uygulamaları tercih edilir.

Lift [1], mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik kaldırıcıları traktör hidroliği ile birlikte incelemiş ve çalışma prensiplerini detaylı olarak açıklamıştır. Elektro-hidrolik kaldırıcı çekiş algılama sistemlerinde kullanılan yük pimlerinin mekanik-hidrolik uygulamalardan farklı olarak yük algılama noktasında harekete ihtiyaç duymadan çalışabildiğinden, yük pimi uygulamalarının mekanik-hidrolik kaldırıcı çeki algılama sistemlerinden daha hassas olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde Renius [3], traktör tasarımının temel ilkelerinden bahsederken mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik kaldırıcıları detaylı olarak karşılaştırmıştır.

John Deere [4] tarafından tasarlanan çeki algılama sisteminde, mekanik çeki algılama sisteminin hareketinin bir sensor yardımıyla elektrik sinyaline dönüştürülmesi ve çeki kontrol sisteminin bu sinyale göre hareket etmesi prensibi kullanılmıştır. Sensor (potansiyometre) ile sürekli açı ölçümü yapılarak hareket dairesel hale getirilir ve EKÜ'ye iletilir. Maliyet, bir yük algılama pimi kullanmaktan nispeten daha düşük olmasına rağmen, sistem hassasiyeti daha azdır. Ayrıca reaksiyon yayı da dahil olmak üzere mekanik sistemin tüm alt parçalarını içerir ve mekanik sistemin karmaşık yapısının dezavantajlarına sahiptir.

Schafer [5], US4271910 patent başvurusunu, John Deere tarafından elektro-hidrolik kaldırııcılarda kullanım için tasarlanan alternatif bir yük algılama sistemi üzerine yaptı. Bu tasarımda alt kollara gelen kuvveti ölçen bir yapı ile üç noktalı askı sistemi oluşturulmuştur. Alt bağlantı kollarının çekilmesinden veya itilmesinden kaynaklanan kuvvet ile bir yay sıkıştırılır ve elde edilen dönme hareketi bir mekanizma ile mesafeyi ölçen lineer bir sensöre ileterek elektrik sinyaline dönüştürür. Elektrik sinyalini bir EKÜ aracılığıyla operatör tarafından önceden ayarlanan değerle sürekli karşılaştırarak ve gerektiğinde hidrolik sistemi devreye sokarak kaldırma ve indirme fonksiyonlarını bir silindir vasıtasıyla yönetir.

Sedoni ve Cevolini [6], New Holland firmasının yük pimi tasarımı üzerine EP0713637A1 patent başvurusunu yapmıştır. Bu patent, günümüzde elektro-hidrolik kaldırıcı için kullanılan yük pimlerinin uygulanmasının tipik bir örneğidir. Burn [7], Case firması adına US005682954A patent başvurusunu, yük piminin bağlı olduğu braketin tasarımında yapmıştır. Bu tasarımda, üç nokta askı sisteminin üst askı koluna (orta kol) gelen kuvveti ölçen bir yapı ile çeki algılama sistemi oluşturulmuştur. Üst bağlantı kolu, gerinim ölçer (strain-gage) uygulanmış bir yük pimi ile traktörün arkasındaki özel bir braketeye takılır. Yük piminin takılı olduğu braket, üst bağlantı koluna uygulanan kuvvet nedeniyle pimin biraz bükülmesine olanak tanır. Bu sayede pim içerisinde gerinim ölçere gelen kuvvetle orantılı bir elektrik sinyali oluşturur ve bu sinyal hidrolik kaldırma çeki kontrol sistemini kontrol etmek için kullanılır. Askari ve arkadaşları [8], üç nokta askı sistemine bağlı ekipmanların maruz kaldığı kuvvetleri ölçmek için ayarlanabilir bir dinamometre geliştirmiştir. Bu sistemde kuvvet sensörü olarak yük algılayıcı (load cell) kullanılmaktadır. New Holland 8210 traktör için elektronik çeki kontrol sistemi tasarlanırken, yük pimleri ile çeki algılaması yapılmıştır [9]. Tüm bunlara ek olarak, yük pimleri kullanmadan, basınç kontrol algoritması kullanarak çeki kontrolü gibi ilgili işlevleri gerçekleştiren çalışmalar da bulunmaktadır [10]. Ancak basınç sensörleri ve karmaşık yazılım algoritmalarının uygulanması gerekliliği nedeniyle bu çözüm de kolay uygulanabilir olmaktan uzaktır.

Yukarıda bahsedildiği gibi, yük pimleri, hem nispeten eski tasarımlarda hem de güncel tasarımlarda halen çeki algılama için kullanılmaya devam etmektedir [11]. Bu çalışmada, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcıların yük pimlerine alternatif olarak daha basit bir tasarım yapılarak aynı işlevin fonksiyon kaybı olmadan sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma sırasında reaksiyon braketine ve hidrolik kaldırıcı gövdesine uygulanan kuvvetlere karşı elektriksel gerinim ölçer uygulamaya uygun bölge, çeşitli senaryolarda FEA analizi ile incelenmiştir. Alternatif tasarım olarak inceleme sonucunda belirlenen lokasyonlara elektriksel gerinim ölçerler uygulanmıştır. Yükleme pimlerinden çok daha basit olan yeni tasarım karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Geçmişteki ve günümüzdeki çalışmalarda, hidrolik kaldırıcıların çeşitli kısımlarına gerinim ölçerler [12]-[13] veya yük hücresi [14] uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmanın ayırt edici yönü, hidrolik kaldırıcının uygun bir parçasının –burada reaksiyon braketini– uygun yerine bir gerinim ölçer uygulanarak kullanışlı bir sensöre dönüştürülmesidir. Uygun yer belirlenirken eksantrik çekişin etkisi de [15] dikkate alınmıştır. Bu çalışmaya benzer bir başka çalışmada da gerinim ölçer plakalı transdüser kullanılmıştır [16]. Çalışmada geliştirilen yöntemin uygulanabilmesi için yük pimi gibi ayrı bir dönüştürücü kullanılması gerekmektedir. Bu uygulamayı

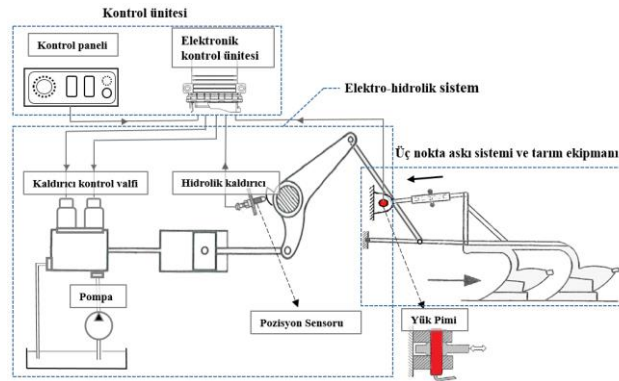
yapabilmek için hidrolik kaldırıcının transdüserine göre tasarlanması gerekecektir ki bu ekstra bir zorluktur.

## **II. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **A. ELEKTRO-HİDROLİK ÇEKİ KONTROL SİSTEMİNE ALTERNATİF OLARAK ÖNERİLEN YENİ TASARIM**

Hidrolik kaldırıcıların traktörlerde iki ana işlevi vardır; (1) Çeki kontrolü: Toprak işleme sırasında hidrolik kaldırıcının, toprak işleme derinliğine bağlı olarak ekipmana gelen kuvveti algılamasını ve traktörün çekiş gücünü ekipman derinliğini değiştirerek muhafaza etmesini sağlayan özelliktir. (2) Konum kontrolü: Ekipmanı hidrolik kaldırıcının kaldırma aralığı içinde istenilen konuma getiren özelliktir. Elektro-hidrolik kaldırıcılarda çeki kontrolü; Çekme kuvveti çoğunlukla yüke duyarlı bir yük pimi veya mekanik-hidrolik kaldırıcılara benzer bir yay mekanizmasının hareketini ölçen bir sensör tarafından algılanır ve EKÜ’de elektrik sinyali olarak işlendikten sonra, oransal solenoidler tarafından kontrol edilen kontrol valfine iletilir.

Bu çalışmada önerilen tasarım, hidrolik kaldırıcının toprak işleme derinliğine bağlı olarak ekipmana gelen kuvveti algılama yöntemini içeren elektro-hidrolik kaldırıcılardaki çeki kontrol sisteminin alternatif bir tasarımıdır. Şekil 1’de verilen elektro-hidrolik kaldırıcının ana parçaları; yük pimi, oransal solenoidler tarafından kontrol edilen kontrol valfi, konum sensörü, reaksiyon mesnedi ve diğer mekanik alt parçalardır, ayrıca önerilen tasarım bu elektro-hidrolik kaldırıcı üzerinde açıklanmaktadır. Yeni tasarımın temel amacı, yükleme piminin tasarım kısıtlamalarını ortadan kaldırarak daha basit, daha pratik ve aynı zamanda uygun maliyetli bir çözüm sağlamaktır. Mevcut tasarımdaki yük piminin işlevi, yeni tasarımdaki gerinim ölçer tarafından gerçekleştirilecektir. Çalışmanın kapsamı, gerinim ölçer uygulamasının yapılacağı kritik parçanın belirlenmesi, kritik parça üzerinde en uygun alanın belirlenmesi ve yeni tasarımın geçerliliğinin doğrulanmasıdır.

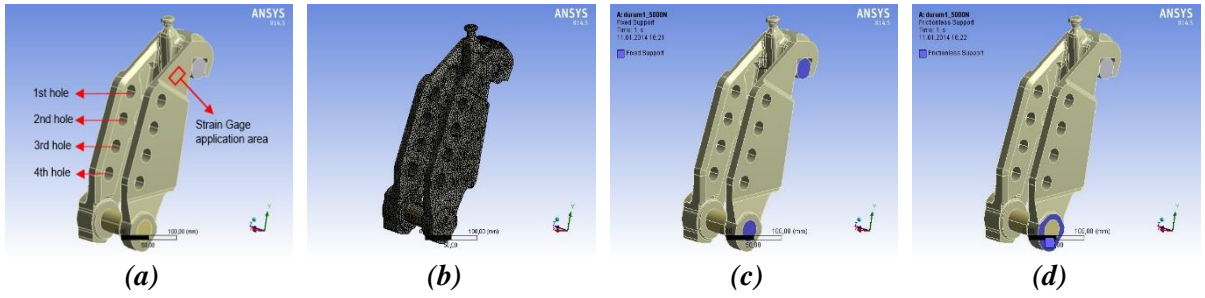


*Şekil 1. Üst bağlantı noktasından çeki kuvvetini hisseden elektro-hidrolik kaldırıcının şematik diyagramı, kısmi olarak Lift [1]’den uyarlanmıştır).*

### **B. GERİNİM ÖLÇER UYGULAMASININ YAPILACAĞI KRİTİK PARÇANIN VE KONUMUN BELİRLENMESİ**

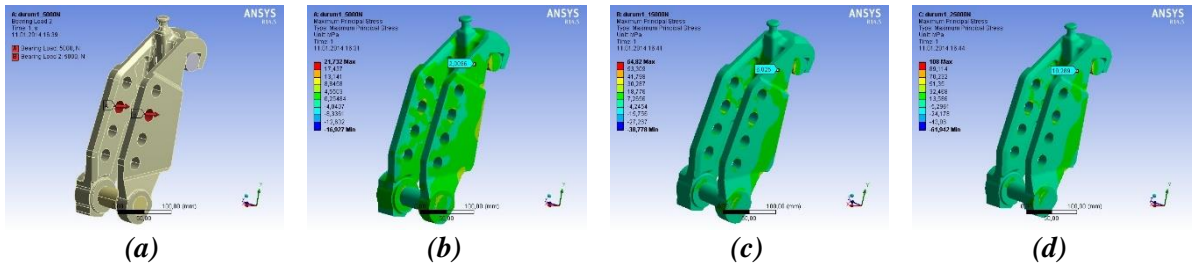
Reaksiyon mesnedi, arazide topraktan gelen çeki kuvvetlerine maruz kalan hem mekanik-hidrolik kaldırıcılarda hem de elektro-hidrolik kaldırıcılarda çeki algılama yönteminden bağımsız olarak çeki kontrol sisteminin en kritik parçasıdır. Bu nedenle yeni tasarımın uygulanacağı en kritik parça olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, çalışma sırasında yük pimi takılı olarak reaksiyon mesnedine gelen çeki kuvvetleri ve reaksiyon mesnedinin hidrolik kaldırıcı gövdesine bağlı olduğu halde iken çeki kuvvetlerine karşı tepkisi FEA analizi ile incelenmiştir. FEA ile analiz edilecek reaksiyon mesnedinin üç boyutlu (3D) modeli Şekil 2(a)'da, FEA ile oluşturulan reaksiyon mesnedinin ağ yapısı Şekil 2(b)'de verilmiştir. Analizlerde reaksiyon mesnedinin malzemesi GGG50-küresel grafitli dökme demir olarak tanımlanmıştır. Gerinim ölçer uygulamasına yapısal olarak en uygun bölge belirlenmiş ve reaksiyon mesnedindeki bağlantı deliği değiştirilerek uygulanan kuvvet değişiklikleriyle orantılı bir gerilme değişikliği olup olmadığı incelenmiştir. Kullanılan hidrolik kaldırıcıda reaksiyon mesnedini hidrolik kaldırıcı gövdesine bağlayan pimler sabitlendiğinden (Şekil 2(c)), analizlerde reaksiyon mesnedinin bağlı olduğu iki pim "Sabit Destek" olarak tanımlanmıştır. Bu pimler ile reaksiyon mesnedi arasındaki sürtünme ihmal edilmiş ve sürtünmesiz olarak tanımlanmıştır (Şekil 2(d)).

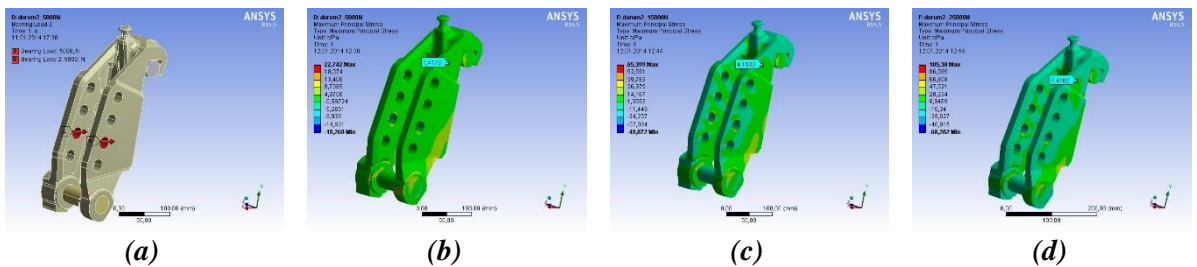


Şekil 2. Reaksiyon mesnedi FEA için (a) 3D model, (b) mesh yapısı, (c) sabit destek bağlantı pimleri, (d) alt bağlantı pimi sürtünmesiz bağlantı.

Analizlerde, çalışmada referans alınan yük piminin hissettiği en yüksek sıkıştırma kuvvetinin 25 kN olduğu göz önünde bulundurularak, x eksenine doğrultusunda reaksiyon mesnedindeki 2. ve 3. deliğe 5kN, 15 kN ve 25 kN'luk yükler uygulanmıştır (Şekil 3-4). Kuvvet uygulama noktasındaki bu değişiklik, gerinim ölçer uygulama noktasında oluşacak gerilmeleri nasıl etkileyeceğinin belirlenmesini sağlamıştır. Analizde tüm kuvvet yükleri yatak yükü olarak tanımlanmıştır. Daha önceki deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar da seçilen bu uygulama kuvvetlerinin uygun olduğunu doğrulamaktadır [17]-[18].



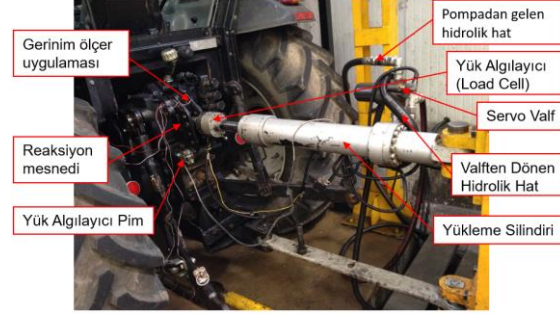
Şekil 3. Reaksiyon mesnedi (a) 2. delik kuvvet uygulama noktası ve 2. delik kuvvet uygulama noktasındaki gerilme analizleri (b) 5 kN, (c) 15 kN, (d) 25 kN.



Şekil 4. Reaksiyon mesnedi (a) 3. delik kuvvet uygulama noktası ve 3. delik kuvvet uygulama noktasındaki gerilme analizleri (b) 5 kN, (c) 15 kN, (d) 25 kN.

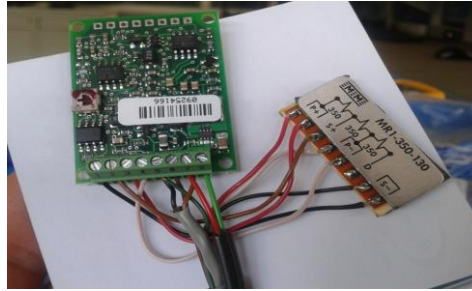
### C. TEST DÜZENEGİ

Elektro-hidrolik kaldırıcı, alt bağlantı kollarının ucunda 4400 kg kaldırma kapasitesine sahiptir ve deneysel çalışmada Şekil 5'te verildiği gibi traktör yerine geçen bir fikstür üzerine monte edilmiştir. Çalışma sırasında reaksiyon mesnedine bağlı orta kola gelen çeki kuvveti maksimum 2500 kg'dır. Elektro-hidrolik kaldırıcı Valtra A serisi traktöre aittir ve üzerindeki mevcut yük piminin algılayabildiği en yüksek çekme kuvveti 25 kN'dir, [19].



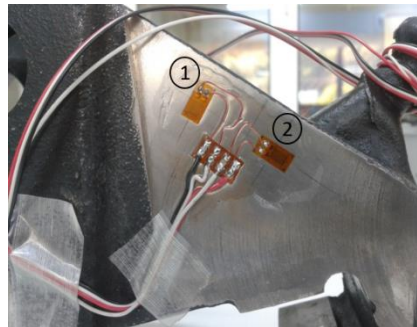
Şekil 5. Test düzeneği.

Bu çalışmada, kalibrasyon sabitinin sıcaklık ve zamanla değişmediği, birim uzamaların  $1 \times 10^{-6}$  mertebesinde ölçülebildiği, nokta ölçümlerinin yapılabildiği, dinamik ve statik ölçümlerin yapılabildiği elektriksel direnç gerinim ölçerleri kullanılmıştır. Böylelikle hassas lineer gerinim cevabı, pratik ve ekonomik olarak elde edilmiştir. Ölçümler yarım Wheatstone köprüsü elektrik devresi üzerinden yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Ölçümde kullanılan yardımcı elektrik devresi.

Ölçüm noktalarında dikdörtgen rozet tipi gerinim ölçer rozetler kullanılarak  $45^\circ$  ve  $135^\circ$  yönlerinde yerleştirilmiştir (Şekil 7). Ölçümler oda sıcaklığında yapılmış ve sıcaklığın etkisi ihmal edilmiştir. Dinamik yükleme koşulları altında gerinimin zamana bağlı değişimi gözlenmiştir. Burada silindirin sağladığı çeki kuvveti eksenine göre 1 numaralı gerinim ölçer  $45^\circ$  yönünde ve 2 numaralı gerinim ölçer  $135^\circ$  yönünde yerleştirilmiştir. Kullanılan gerinim ölçerlerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 7. Gerilme alanlarının ölçülmesi.



*Tablo 1. Gerinim ölçer teknik özellikleri (Strain gage specifications).*

<b>Teknik özellik</b>	<b>Açıklama</b>
Seri	CEA
Model	Universal genel kullanım gerinim ölçer
Gerinim toleransı	$\pm 5\%$
Sıcaklık aralığı	$-100^{\circ}$ to $+350^{\circ}\text{F}$ [ $-75^{\circ}$ to $+175^{\circ}\text{C}$ ]

## **D. TEST YÖNTEMİ**

Reaksiyon mesnedi üzerinde tespit edilen alana Şekil 7'de görüldüğü gibi gerinim ölçer rozetleri uygulanmıştır. Şekil 5'te görülen test düzeneğinde orta kol vasıtasıyla reaksiyon mesnedine etki eden maksimum çeki kuvveti 25 kN'dir. Şekil 5'te verilen test tezgahına bağlı elektro-hidrolik kaldırıcıya topraktan gelen kuvveti simüle eden silindirin uyguladığı çeki kuvveti, kuvvet dönüştürücü doğrusallığı ile  $\pm 0.05$  hassasiyetle ölçülmüştür. Sadece en yüksek çeki yükünün değil, farklı zemin koşullarında oluşabilecek tüm yüklerin test edilebilmesi için 0'dan maksimum yüke kadar zamana bağlı bir kuvvet uygulanması planlanmıştır. Test sisteminin rijitliğini sağlamak için yükleme silindiri tarafından uygulanan kuvvet 22 kN ile sınırlandırılmıştır. 0'dan 22 kN'e kadar olan çeki kuvvetine 15 saniyede ulaşılması hedeflenmiştir. Bu, ölçüm ekipmanının doğru verileri kaydedebileceği makul bir süredir.

## **E. VERİ TOPLAMA SİSTEMİ**

Şekil 5'te gösterilen test düzeneğinde silindir vasıtasıyla reaksiyon mesnedine uygulanan kuvvetlerin neden olduğu gerilmeler Şekil 8'de gösterilen bilgisayar tarafından  $\pm 5\%$  doğrulukla kaydedilmiştir.



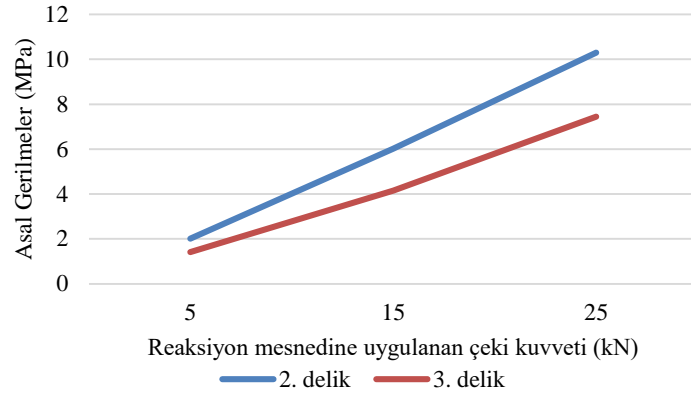
*Şekil 8. Veri toplama sistemi.*

## **F. KALİBRASYON VE YENİ TASARIMIN DOĞRULANMASI**

Gerinim ölçer kuvveti, yük pimine göre kalibre edilmiştir. Ölçüm işlemi sırasında silindir kuvveti, gerinim ölçer ve yük pimi kuvveti aynı anda kaydedilmiştir. Silindir tarafından sağlanan aynı çekim kuvvetine karşı gerinim ölçer ve yük pimi kuvvetleri arasında bir korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır.

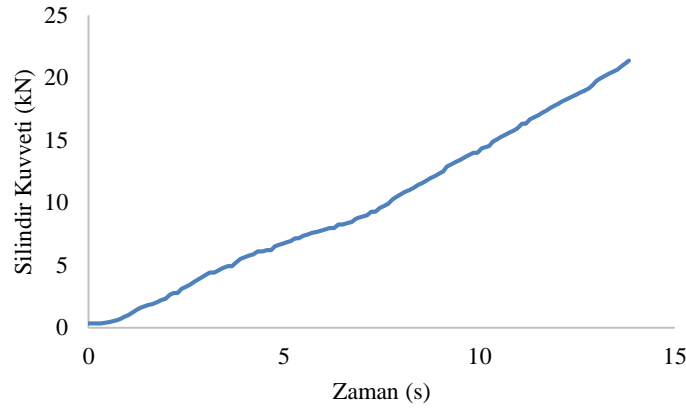
## **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

FEA analizinde topraktan geldiği kabul edilen çeki kuvvetinin reaksiyon mesnedinin 2. ve 3. deliklerine uygulanması ile gerinim ölçer uygulama noktasında oluşacak gerilmelerin nasıl etkilediği belirlenmiştir. Reaksiyon mesnedinin 2. ve 3. deliklerine sırasıyla 5 kN, 15 kN ve 25 kN'luk yüklerin uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir. 2. delik yüklemesi esnasında oluşan gerilme değerleri beklendiği gibi daha büyüktür.



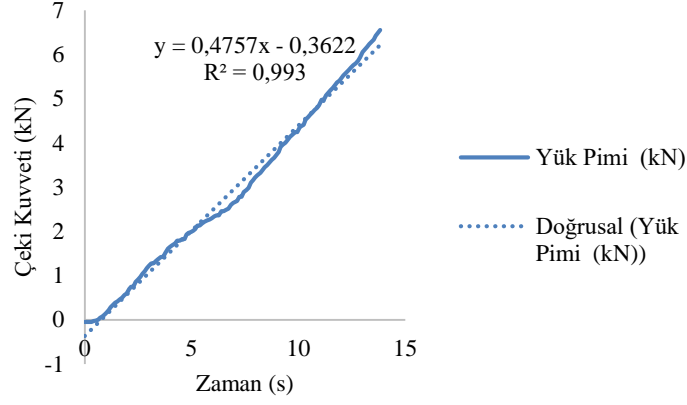
**Şekil 9.** 2. delikten yükleme değişikliklerine tepki olarak gerinim ölçer uygulama alanındaki stres değişiklikleri.

Şekil 5'te verilen deney düzeneğinde, topraktan gelen çeki kuvvetini simüle eden bir hidrolik silindir ile reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine zamana bağlı olarak artan yük uygulanmıştır. Gerinim ölçer üzerinden alınan veriler ve yük pimi üzerinden alınan veriler aynı anda kaydedilmiştir. Şekil 10'da, silindir tarafından reaksiyon mesnedinin 2. deliğine zamana bağlı olarak uygulanan ve yük hücresi tarafından ölçülen çeki kuvveti gösterilmektedir.

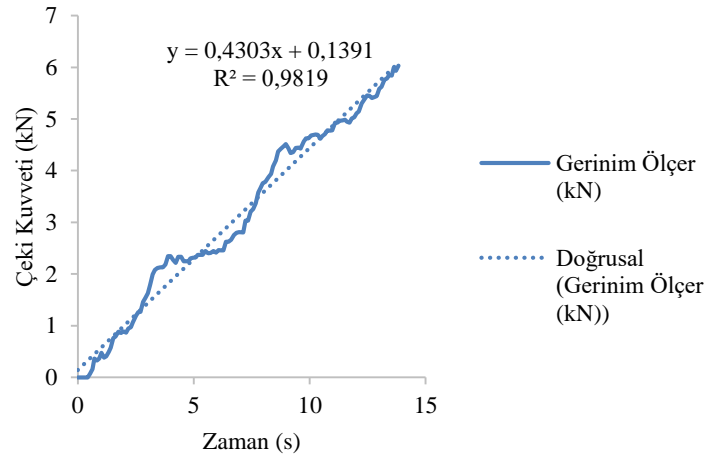


**Şekil 10.** Silindir tarafından reaksiyon mesnedinin 2. deliğine uygulanan çeki kuvveti.

Şekil 11'de reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine hidrolik silindir ile uygulanan çeki kuvvetine karşı yük pimi de oluşan kuvvetlerin ve Şekil 12'de reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine hidrolik silindir ile uygulanan çeki kuvvetine karşı gerinim ölçer de oluşan kuvvetlerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Burada  $y = f(x)$ , yük pimi tarafından algılanan çekme kuvvetinin eğri denklemini ve  $R^2$  korelasyon katsayısını gösterir.

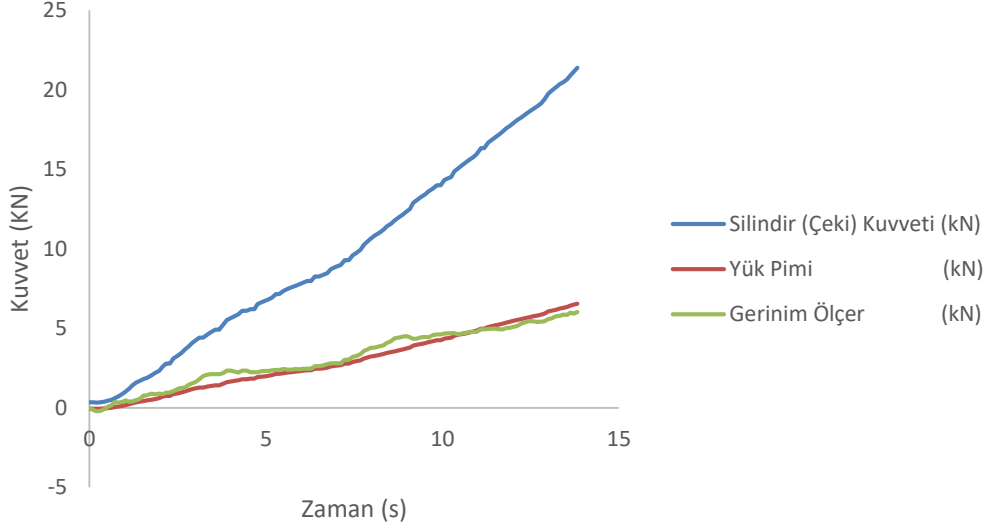


**Şekil 11.** Reaksiyon mesnedinin 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvvetinin sağladığı çeki kuvvetinin etkisiyle yük pimi üzerinde oluşturulan kuvvet.

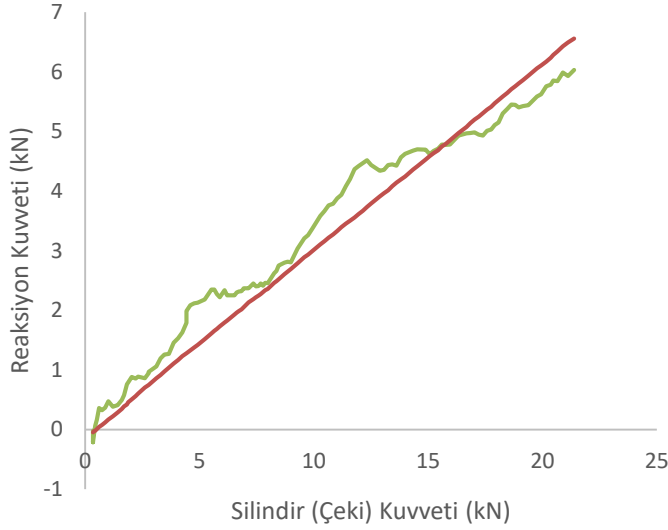


**Şekil 12.** Reaksiyon mesnedinin 2. deliğine uygulanan silindir tarafından sağlanan gerinim ölçer tarafından algılanan çeki kuvveti üzerinde oluşturulan kuvvet.

Gerinim ölçerden (Şekil 12) okunan kuvvet değerleri ile yük piminden (Şekil 11) okunan kuvvet değerleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. 129 test verisi için korelasyon katsayısı 0.98655 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısı veri büyüklüğü ile birlikte değerlendirilmiş ve aralarında bir korelasyon olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, aynı sayıda veri için, yük pimi ve gerinim ölçer ile teker teker silindir kuvveti arasındaki ilişki araştırılmış; silindir kuvveti ile yük pimi arasında 0.99998 ve silindir kuvveti ile gerinim ölçer arasındaki 0.98655 korelasyon katsayıları hesaplanarak güçlü korelasyon doğrulanmıştır. Reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine silindir tarafından uygulanan yük pimi ve gerinim ölçer tarafından algılanan çeki kuvvetlerinin karşılaştırması Şekil 13'de verilmiştir. Şekil 13'de zamana bağlı olarak verilen karşılaştırma, şekil 14'de uygulanan silindir (çeki) kuvvetine karşılık yük pimi ve gerinim ölçerden ölçülen kuvvet sonuçları olarak verilmiş, böylece yeni tasarlanan sistem ile yük piminin reaksiyon kuvveti ölçüm sonuçları doğrudan karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.



**Şekil 13.** Reaksiyon mesnedi ikinci deliğe silindirin sağladığı çeki kuvvetinin uygulanması ile gerinim ölçere gelen kuvvet ile yük pimiinde oluşan kuvvetin karşılaştırma grafiği.



**Şekil 14.** Reaksiyon mesnedi ikinci deliğe silindirin sağladığı çeki kuvvetinin uygulanması ile gerinim ölçer ve yük pimiinde oluşan reaksiyon kuvveti.

## **IV. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcılardaki yük pimi uygulamasına alternatif olarak, gerinim ölçer uygulaması ile fonksiyon kaybı olmaksızın daha basit bir tasarım yapılmıştır. İlk olarak, çalışma sırasında yükleme piminin monte edildiği reaksiyon mesnedine etkiyen çeki kuvvetleri ve reaksiyon mesnedinin bu kuvvetlere karşı davranışı incelenmiştir. Çalışmanın devamında alternatif tasarım olarak önerilen reaksiyon mesnedi üzerinde FEA analizi ile belirlenen uygun noktalara elektriksel gerinim ölçer uygulaması yapılmıştır.

Çalışma sırasında yükleme piminin monte edildiği reaksiyon mesnedine etkileyen çeki kuvvetleri ve reaksiyon mesnedinin bu kuvvetlere karşı davranışı FEA yazılımı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda gerinim ölçer uygulaması için yapısal olarak en uygun bölgedeki gerilmelerin uygulama kuvvetine göre orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca kuvvetin uygulama noktası değiştirilerek gerinim ölçer uygulama noktasındaki gerilmelerin orantılı değiştiği doğrulanmıştır.

Gerinim ölçer uygulanmış olan yeni tasarım, test düzeneğinde test edilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. FEA analizine benzer şekilde 2. delikten silindirin sağladığı çeki kuvveti uygulanarak gerinim ölçerden elektriksel değerler alınmıştır. Bu değerler yük pimine göre kalibre edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sistemin orijinal yük sensörü olan yük pimi ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut reaksiyon mesnedi üzerinde, uygulama kuvvetine lineer bir tepki verebilen sınırlı alanlar ve pratikte bir yapısal olarak gerinim ölçer uygulamasının yapılabileceği alanların sınırlı olması nedeniyle, uygulama alanı olarak düşük gerilmelerin meydana geldiği bir bölge seçilmek zorunda kalınmıştır. Bu durum, ölçüm doğruluğunu biraz azaltmıştır. Bu nedenle, gerinim ölçerden elde edilen kuvvet eğrisi, orijinal yük piminden elde edilen kuvvet eğrisine kıyasla bölgesel küçük sapmalara sahiptir. Ancak traktör üzerindeki çalışma koşulları için kabul edilebilir toleranslar içinde olduğu değerlendirilmiştir.

Yükleme pimlerinden çok daha basit olan ve tek parça entegre tasarım için uygun olan yeni tasarımın pratik olarak uygulanabilir ve fonksiyonel olarak kabul edilebilir olduğu doğrulanmıştır.

**TEŞEKKÜR:** Yazarlar, deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesine verdiği büyük destek için Hema Endüstri A.Ş.'ye teşekkür eder.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] H. Lift, *Hydraulik in der Landtechnik*, Würzburg, Germany, 1992.
- [2] A. A. Al-Kheer et al., “Estimating the variability of tillage forces on a chisel plough shank by modeling the variability of tillage system parameters”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1): 61-70, 2011.
- [3] K. Renius, *Traktoren, Technik und ihre Anwendung*, Münih, Germany, 1985.
- [4] *John Deere TM2198 Technical Service Catalog*, 1st ed., Deere & Company, Litho, USA, 2006, pp. 720
- [5] R. Schafer, “Draft sensing device including load pin with free end” U.S. Patent 4 271 910, Jul. 02, 1979.
- [6] C. Sedoni and A. Cevoloni, “Draft force sensor apparatus” European Patent 0713637A1, Nov. 24, 1994.
- [7] S. Burn, “Upper hitch link electronic draft sensing” U.S. Patent 005682954A, Sept. 10, 1996
- [8] M. Askari et al., “A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements”, *Research in Agricultural Engineering* vol. 57, no. 4, pp. 128-136, 2011.
- [9] J. Macqueene et al., “Development of the electronic draft control system for the ford new holland 8210 tractor”, *SAE Transactions*, vol. 99, no. 2, pp. 327-339, 1990.

- [10] C. Liu et al., "Pressure control algorithm based on adaptive fuzzy PID with compensation correction for the tractor electronic hydraulic hitch", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 9, pp. 3179, 2020.
- [11] B. Bhondave et al., "Design and development of electro hydraulics hitch control for agricultural tractor", *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, vol. 10, no. 1, pp. 405-410, 2017.
- [12] P. Porteš et al., "Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels", *Soil&Tillage Research*, vol. 128, pp 81-90, 2013.
- [13] M. Askari et al., "The effect of new wings on subsoiler performance", *Applied Engineering in Agriculture*, 32(3): 353-362, 2016.
- [14] J. Čupera and T. Šmerda, "Influence of top link length of three-point hitch on performance parameters of ploughing set", *Research in Agricultural Engineering (Praha)*, vol. 56, no. 3. pp. 107-115, 2010.
- [15] M. Simikić et al., "Influence of eccentric drawbar force on power delivery efficiency of a wheeled tractor", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 36, no. 4, pp. 486-500, 2012.
- [16] J. Marcinkiewicz et al., "Methodology for determining six components of loads arising during the operation of tillage tools in soil using a strain gauge plate transducer", *Journal of Terramechanics*, vol. 95, pp. 59-72, 2021.
- [17] M. Tatiček et al., "The effect of setup of three point linkage on energetic and performance parameters of tractor aggregate", *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, vol. 59, no. 5, pp. 253-262, 2011.
- [18] F. Bauer et al., "Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing", *Soil & Tillage Research*, vol. 172, pp. 69-78, 2017.
- [19] K. Hoffmann, *Practical Hints for the Installation of Strain Gages*, HBM Publication, Germany, 2011.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Detecting Turkish Cyberbullying Tweets Using Machine Learning

 Yavuz Selim BALCIOĞLU<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Management Information System, Faculty of Social Science, Gebze Technical University, Kocaeli, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: ysbalcioğlu@gtu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1379657

### ABSTRACT

Cyberbullying is a form of crime where individuals are subjected to online hate speech and harassment, and its prevalence has increased with the growth of social media. There is a noticeable gap in the current literature, especially for cyberbullying detection in languages other than English. This study proposes a method for automatic cyberbullying detection in Turkish tweets. The proposed model incorporates the Support Vector Machine and Random Forest classification algorithms. The model has been trained on labeled real-world data sourced from Twitter. To address the characteristics of the Turkish language, a natural language processing tool called Zemberek-NLP has been used. This tool captures the nuances of the language, enhancing the accuracy of the detection model. This research aims to contribute to the fight against cyberbullying by presenting an innovative approach to detecting it in Turkish.

**Keywords:** Cyberbullying detection, Turkish social media, Machine learning, Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) classifier

## Makine Öğrenimi Kullanarak Türkçe Siber Zorbalık Tweetlerini Tespit Etme

### ÖZ

Siber zorbalık, çevrimiçi nefret söylemi ve tacizle bireylerin maruz kaldığı bir suç biçimidir ve sosyal medyanın büyümesiyle yaygınlık kazanmıştır. Mevcut literatürde, özellikle Türkçe dışındaki dillerde siber zorbalık tespiti için belirgin bir eksiklik bulunmaktadır. Bu çalışma, Türkçe tweet'lerde otomatik siber zorbalık tespiti için bir yöntem önermektedir. Önerilen model, Destek Vektör Makinesi ve Rastgele Orman sınıflandırma algoritmalarını içerir. Model, Twitter'dan alınan etiketli gerçek dünya verisiyle eğitilmiştir. Türk dilinin, özelliklerini ele almak için Zemberek-NLP adlı bir doğal dil işleme aracı kullanılmıştır. Bu araç, dilin, nüanslarını, ele alarak, tespit modelinin doğruluğunu artırır. Bu çalışma, Türkçe'deki siber zorbalık tespiti için yenilikçi bir yaklaşım sunarak, siber zorbalıkla mücadelede katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Siber zorbalık tespiti, Türkçe sosyal medya, Makine öğrenimi, Destek Vektör Makinesi (SVM), Random Forest (RF) sınıflandırıcı

# **I. INTRODUCTION**

In recent years, the digital landscape has undergone a striking transformation with the evolution of the internet and social media platforms into powerful venues for education, discourse, and idea exchange. Twitter, one of the leading social network platforms [1], provides a dynamic environment that allows users to broadcast both positive and negative thoughts beyond geographical and temporal boundaries. These virtual communities, particularly appealing to the younger demographic [2], have become an integral part of our increasingly digital world. However, the anonymity offered by these platforms, where users typically prefer pseudonyms over real names, contributes to an uptick in online violations, including cyberbullying [3]. These clandestine activities pose significant challenges for monitoring and regulation. Cyberbullying, defined as any aggressive act directed at an individual through online media, is a critical ethical concern on the internet. The number of individuals [4], especially youth, falling victim to cyberbullying, is alarmingly high. Cyberbullying has been the focal point of numerous studies aiming to ascertain its prevalence, and the results consistently underscore it as a persistent issue among today's youth, with the number of victims showing an increasing trend [5]. In response to these challenges, researchers have pioneered a range of mechanisms for the detection of cyberbullying, aiming to enhance surveillance and foster preventive measures.

Research in the field of cyberbullying detection has seen a significant surge in recent years. However, regarding addressing this issue in languages other than English, particularly in Turkish, there exists a notable gap. The Turkish language possesses a rich morphological structure that adds a layer of complexity to the task of detecting cyberbullying. This intricacy, combined with the dearth of specific research in this field, presents a significant challenge in devising an effective detection mechanism that takes into account the Turkish cultural and linguistic context. In light of cross-cultural and linguistic variances, users and their interactions present multifaceted challenges. Solutions formulated for other linguistic landscapes are not readily transferrable to Turkish contexts, given the distinctive cultural subtleties and idiosyncratic expressions inherent to the language. Some phrases or terms, which might seem harmless or even mundane in certain cultures, can carry aggressive connotations in the Turkish context. Despite these challenges, recent advancements in the automatic detection of cyberbullying have resulted in notable developments in classifying cases of cyberbullying, especially in the English language [6]. However, research geared towards the application of machine learning for Turkish cyberbullying detection on social networks remains inadequate.

This paper, while acknowledging the aforementioned challenges, identifies a significant gap in the current literature: a lack of research aimed at detecting cyberbullying in non-English social media content, particularly in Turkish. We propose an automatic cyberbullying detection method for Turkish tweets using machine learning techniques and the Zemberek-NLP tool, aiming to overcome the complexities of the Turkish language. By focusing on this niche yet critical research area, this paper aspires to contribute to the broader fight against cyberbullying striving to create safer online spaces for users beyond linguistic and cultural boundaries.

As we proceed, the article is structured into several key sections to provide a comprehensive understanding of our research. Following this introduction, we explore into the Literature Review, where we explore existing studies and methodologies pertinent to cyberbullying detection, particularly focusing on the unique challenges posed by the Turkish language. The subsequent section, Proposed Framework and Approach, outlines the methodology we employed in our study. Here, we detail our approach to data collection, preprocessing, and the specific machine learning algorithms used, namely the Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) classifiers. In the Analysis Results and Discussion section, we present the outcomes of our experiments, comparing the effectiveness of different classifiers and preprocessing techniques. This section is crucial for understanding the efficacy of our proposed model in the context of Turkish cyberbullying detection. Finally, the Conclusions section encapsulates our key findings, highlights the implications of our research, and suggests directions for future work. This includes potential applications of our model in broader social media contexts and the exploration of deep learning techniques for enhanced cyberbullying detection.



## **II. BACKGROUND**

In this section, we will explore the fundamentals of cyberbullying, its impact, and the role of Machine Learning and Natural Language Processing (NLP) in addressing this issue.

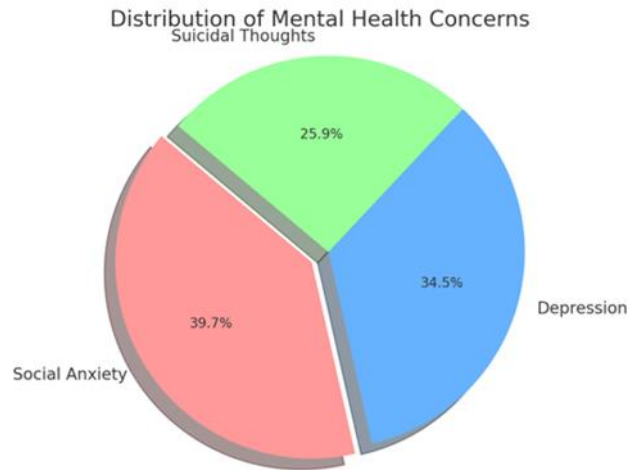
### **A. CYBERBULLYING: DEFINITION AND TYPES**

As a complex and multifaceted phenomenon, cyberbullying lacks a universally accepted definition. However, it has been explored from various angles in the literature, each providing a unique interpretation. In a general sense, cyberbullying is conceptualized as a mode of harassment mediated through Information and Communication Technologies (ICT). This encompasses a spectrum that spans textual data, messaging platforms, and an array of social media channels. An alternative widely accepted delineation of cyberbullying describes it as "a deliberately recurring act executed by an individual or collective, leveraging electronic modalities, directed at a victim who faces challenges in mounting a sustained defense.

Cyberbullying manifests itself in multiple forms, including:

- Threats: The perpetrator sends intimidating messages to instill fear in the victim.
- Persistent Harassment: The aggressor persistently transmits identical remarks or incendiary comments, or repeatedly engages the "Enter" key, thereby obstructing the victim's ability to partake in the discourse.
- Masqueraded Attack: The bully assumes another person's identity, creating an illusion that the intimidation isn't direct.
- Mass Attack: A perpetrator sends disparaging or rude messages to one or more victims in an online group via email or electronic messages.
- Trolling: The perpetrator intentionally posts distasteful comments to incite negative discussion or emotions.
- Harassment: The perpetrator persistently sends aggressive messages to users.
- Denigration: Often referred to as 'Dissing', this entails a perpetrator propagating unfounded rumors or misleading information concerning an individual, aiming to malign their standing or interpersonal relations.
- Social Exposure: The aggressor reveals confidential or humiliating details pertaining to the victim on widely accessible social media platforms.
- Exclusion: The intentional exclusion of an individual from a social community, a form of bullying commonly seen among teenagers and adolescents.

As technology continues to progress and proliferate, it brings forth a series of ethical dilemmas. Social networks, with their vast user base, have become indispensable in many societies, including Turkey. Recent research in 2023 has revealed intriguing trends. The percentage of young Turkish users on social media has seen a steady increase from 35% in 2015 to a remarkable 85% in 2023. As of 2023, Turkey ranks among the top ten countries globally in terms of active Twitter users. While this hyper-connectivity offers countless opportunities for communication and learning, it also harbors various risks, one of which is cyberbullying. Given the potentially devastating consequences for its victims, this issue has grown into a significant societal concern [7]. A study conducted in Turkey between 2022-2023 revealed that individuals aged 10 to 19 who experienced cyberbullying or online harassment were 60% more likely to have suicidal thoughts. Additionally, research by the Cyberbullying Research Group in Turkish schools indicated that over 42% of students aged 12-17 skipped school due to their experiences with cyberbullying [8]. The adverse effects of cyberbullying extend beyond student performance, impacting the victim's mental health and self-esteem. Cyberbullying statistics underscore the severity of this issue and the urgent need for effective countermeasures. The repercussions on public health are profound, with 46% of cyberbullying victims exhibiting social anxiety, 40% showing signs of depression, and 30% having suicidal thoughts [9]. These figures underscore the pressing need for robust solutions to address the cyberbullying problem on Turkish social media platforms.



*Figure 1. Distribution of mental health concerns*

## **B. MACHINE LEARNING**

As a subset of Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML) empowers systems with the ability to learn and improve from past experiences [10] without the need for explicit programming, thereby enhancing automation processes. Essentially, machine learning allows a system to learn autonomously based on a training data set, facilitating decisions. This capability is especially useful for tasks like cyberbullying detection, which can be too intricate or time-consuming for humans. Machine Learning is broadly divided into two approaches: supervised and unsupervised learning [11]. Supervised learning algorithms utilize a labeled training dataset to construct a predictive model. This model can later be used to predict class labels for unlabeled data. Classification methodologies exhibiting commendable efficacy and precision encompass Decision Trees [12], Naïve Bayes (NB), K-Nearest Neighbors, Support Vector Machine (SVM), and Random Forest (RF). Within the scope of our investigation, the SVM and RF algorithms, employed as binary classifiers, operate under the presumption that data instances are delineable with discernible demarcations. They attempt to determine the optimal hyperplane (or multiple hyperplanes in the case of RF) that maximizes the margin between classes. On the other hand, unsupervised learning algorithms use unlabeled training data. In the absence of predetermined classifications, the system endeavors to discern inherent patterns within the data and cluster analogous data points in proximity. While our study does not directly use unsupervised learning, it seeks to highlight its potential use in exploratory analysis or in the preprocessing stages of the cyberbullying detection process.

## **C. MACHINE LEARNING AND NATURAL LANGUAGE PROCESSING IN CYBERBULLYING DETECTION**

Machine Learning (ML) and Natural Language Processing (NLP) have emerged as crucial tools in detecting and mitigating cyberbullying. Machine Learning algorithms like Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) allow for automated detection by being trained on annotated datasets to classify the content as cyberbullying or not. Meanwhile, Natural Language Processing tools for Turkish, such as Zemberek-NLP, are used to analyze and understand the linguistic nuances of the content. NLP techniques like tokenization, part-of-speech tagging, and named entity recognition assist in extracting meaningful features from text data, which can later be used to train machine learning algorithms.

### **III. LITERATURE REVIEW**

In this section, we present a comprehensive review of the literature on cyberbullying detection, categorizing the studies into two primary areas: problem definition and technical methodologies.

#### **A. PROBLEM DEFINITION IN CYBERBULLYING RESEARCH**

Recent research has emphasized automatic cyberbullying detection, leveraging users' psychological characteristics [13] presents a study that developed a cyberbullying detection framework using Twitter content. The authors proposed leveraging a pointwise mutual information technique to generate features, which were then used in a supervised machine learning solution for both detecting cyberbullying and categorizing its severity. The study applied various features, including Embedding, Sentiment, and Lexicon, along with PMI-semantic orientation, to algorithms such as Naïve Bayes, KNN, Decision Tree, Random Forest, and Support Vector Machine. The results were promising in both multi-class and binary settings, showing high classifier accuracy and f-measure metrics. This study is significant as it highlights the feasibility of using advanced feature generation techniques in the effective detection of cyberbullying behavior and its severity on social networks, [14] critically examines the existing research on cyberbullying, noting the challenges posed by inconsistent findings and exaggerated prevalence claims. The authors emphasize the importance of reaching a consensus on defining cyberbullying as a scientific concept, distinct from general cyberaggression or cyberharassment. They advocate for considering cyberbullying within the broader 'bullying context,' which would facilitate clearer and more focused research outcomes. The recommendation to categorize cyberbullying as a specific form of bullying, akin to verbal, physical, and indirect/relational bullying, is pivotal. This perspective is crucial for developing targeted detection and intervention strategies, as it delineates cyberbullying from other forms of online aggression, thereby refining the focus of machine learning algorithms used for detection. Studies have explored aspects like personality, emotion, and sentiment on Twitter, using models such as the Big Five and the Dark Triad. In [15] involves a survey of 2052 school children, shedding light on the prevalence of cyberbullying and the discrepancies between direct and indirect measurement methods. Key findings indicate that younger children who engage in cyberbullying are often involved in traditional bullying, either as perpetrators or victims. The study also reveals that victims of cyberbullying tend to depend more on the internet, perceive themselves as less popular, engage in riskier online behaviors, and are frequently involved in cyberbullying as both bystanders and perpetrators. These insights are vital for understanding the multifaceted nature of cyberbullying and its overlap with traditional bullying. The study's implications for future research and prevention strategies provide a foundational basis for developing more effective cyberbullying detection and intervention programs, particularly those targeting school-aged children. Natural Language Processing (NLP) techniques are applied to correlate linguistic characteristics of tweets with these psychological frameworks, indicating that incorporating psychological dimensions enhances the accuracy of detection algorithms.

#### **B. TECHNICAL METHODOLOGIES IN CYBERBULLYING DETECTION**

In the technical realm, various machine learning classifiers have been employed for cyberbullying detection. A study focusing on the use of machine learning in social media, [16] addresses the growing issue of cyberbullying in the context of the increased use of social media. It highlights how social networks provide a fertile ground for bullying behavior and underscores the necessity of detecting and preventing cyberbullying due to its adverse effects on victims. The paper proposes a supervised machine learning approach, utilizing several classifiers to train and recognize bullying actions. The evaluation of their approach on a cyberbullying dataset demonstrates the superior performance of Neural Networks, achieving an accuracy of 92.8%, and compares favorably to SVM, which achieves 90.3% accuracy.

These results are particularly noteworthy as they indicate that Neural Networks are more effective than other classifiers for detecting cyberbullying patterns, which aligns with the increasing focus on machine learning as a vital tool in combating online harassment. Another significant contribution is a comprehensive review of cyberbullying prediction models in the context of social media platforms [17]. The authors explore the transformation of social interactions from geospatially bound communication to the expansive domain of online platforms. This shift has resulted in new forms of online aggression and violence, including cyberbullying. The paper highlights the importance of constructing prediction models to combat aggressive behaviors on social media. A key focus of this research is the review of cyberbullying prediction models, identifying the main challenges in developing these models for social media contexts. The study emphasizes the methodology involved in cyberbullying detection, covering aspects such as data collection, feature engineering, and the application of machine learning algorithms for predicting cyberbullying behavior. The paper concludes by presenting the issues and challenges in this field, thereby offering new research directions for scholars to investigate further. This study traces the evolution of social interactions and the application of various machine learning techniques for cyberbullying behavior prediction, emphasizing the importance of accuracy, precision, recall, and f-measure as evaluation metrics. The study focusing on sarcasm in cyberbullying, [18] addresses the challenge of cyberbullying in the context of the widespread use of social media platforms. It underscores that, while various strategies have been proposed to combat cyberbullying, the aspect of sarcasm remains relatively unexplored. This research aims to fill this gap by proposing an approach that not only detects cyberbullying but also considers the element of sarcasm. Such an approach is crucial because sarcasm adds a layer of complexity to the detection process, often masking the intent of the message. The study's findings indicate that the Support Vector Machine (SVM) classifier outperforms other classifiers in this context. This insight is particularly valuable for developing more sophisticated cyberbullying detection tools that can accurately interpret and categorize sarcastic content, which is often used in harmful ways online. Furthermore, the study introducing the Participant-Vocabulary Consistency (PVC) method, [19] tackles the issue of harassment and cyberbullying on social media, a problem that has escalated in scale and severity. The study proposes a unique machine learning method that infers user roles in harassment-based bullying while also identifying new vocabulary indicators. This method, which requires only weak supervision, uses a seed vocabulary provided by experts and then applies a large, unlabeled corpus of social media interactions to further extract bullying roles and language indicators. The key aspect of this approach is the Participant-Vocabulary Consistency (PVC) model, which estimates the bullying nature of interactions based on participant behavior and language use. The effectiveness of PVC in cyberbullying detection has been demonstrated through evaluations on three different social media datasets. This approach is significant as it offers a comprehensive way to understand both the social structure of bullying and the linguistic cues that accompany such behaviors, thereby enhancing the detection and analysis of cyberbullying incidents. The prevalence of cyberbullying in Turkey [20] has underlined the need for effective detection mechanisms. Studies have shown promising results using Linear SVM models with text vectorization methods like CountVectorizer and Tf-Idf Vectorizer [21]. These findings indicate that machine learning is pivotal in addressing cyberbullying, especially in languages other than English. Additionally, recent advancements in Turkish cyberbullying detection include the development of eight different artificial neural network models, such as ANN-2, which demonstrated a 91% F-measure score in identifying cyberbullying in 3000 Turkish tweets, outperforming several machine learning classifiers from previous studies [22]. Collectively, these studies provide a nuanced understanding of cyberbullying detection, highlighting the advancements in machine learning techniques and the importance of considering various linguistic and social factors.

Collectively, these studies indicate that, while significant advancements have been made in the field of cyberbullying detection [23], there remains a significant room for improvement, especially when

considering the content in Turkish. Hence, in this scholarly composition, our objective is to traverse the intricacies inherent to the Turkish language utilizing machine learning methodologies in conjunction with the Zemberek-NLP instrument. Our ultimate goal is to enhance the efficacy of cyberbullying detection within the Turkish digital landscape.

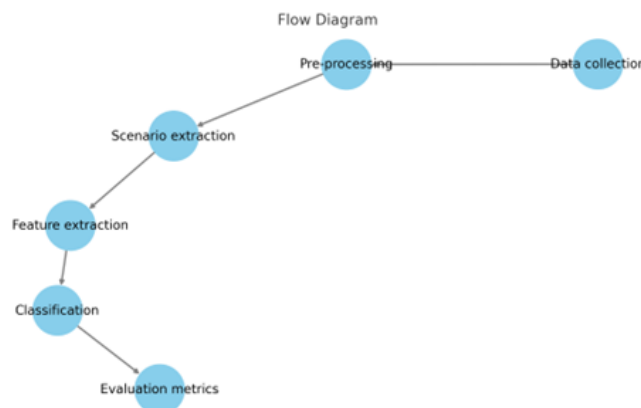
The primary aim of our research is to develop an effective method for detecting cyberbullying in Turkish tweets using machine learning techniques. This objective stems from the recognition that while there is substantial research on cyberbullying detection in English, there is a noticeable gap in the literature regarding languages like Turkish. Given the unique linguistic characteristics of Turkish and the growing prevalence of social media use in Turkey, our study seeks to address this gap by developing a tailored model for the Turkish context.

Our motivation is driven by several key factors;

- **Increasing Prevalence of cyberbullying;** the rise of social media has unfortunately been accompanied by an increase in cyberbullying [24], which can have severe psychological impacts on individuals, especially young users.
- **Linguistic Challenges;** Turkish, with its rich morphological structure, presents unique challenges for natural language processing. Standard cyberbullying detection models, predominantly designed for English [25], are often ineffective for Turkish due to these linguistic complexities.
- **Social Responsibility;** as researchers, we feel a strong sense of responsibility to contribute to safer online environments. By developing a model that can accurately detect cyberbullying in Turkish, we aim to provide tools for social media, platforms and authorities to better protect users.
- **Technical Innovation;** we are motivated by the opportunity to advance the field of natural language processing and machine learning by tackling the explored area of Turkish language processing.

## **IV. PROPOSED FRAMEWORK AND APPROACH**

In this scholarly inquiry, we advocate for an approach to architect a machine learning model tailored to identify instances of cyberbullying within Turkish tweets. A supervised learning approach has been utilized with two classifiers: Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF). The methodology encompasses the following stages, as depicted in Figure 2:



*Figure 2. Recommended methodology*

The problem definition of cyberbullying, including its global and Turkey prevalence and impact.

## Global Prevalence and Impact of Cyberbullying

- **Widespread Issue** [26]; cyberbullying has emerged as a significant global concern with the increasing ubiquity of social media and online communication platforms.
- **Psychological Effects** [27]; it poses serious psychological risks, including anxiety, depression, and in extreme cases, suicidal thoughts, particularly among adolescents and young adults.
- **Statistical Evidence** [28]; studies have shown varying prevalence rates across different countries, with some reporting that up to 35-40% of young internet users have experienced cyberbullying.

## Cyberbullying in Turkey

- **Rising Concern** [29]; in Turkey, the rise of internet and social media usage has been paralleled by an increase in cyberbullying incidents.
- **Youth Vulnerability** [30]; Turkish youth, who constitute a significant portion of the online population, are particularly susceptible to online harassment.
- **National Studies and Statistics**; recent surveys and studies in Turkey have indicated that cyberbullying is a growing problem, affecting a substantial number of adolescents. For instance, a study might reveal that over 30% of teenagers in Turkey have reported experiencing some form of online harassment [31].
- **Cultural Context**; the problem is compounded by cultural factors unique to Turkey, where social media is a vital part of daily life for many, yet discussions around cyberbullying and online safety are still emerging.

## Problem Definition

- **Broad Implications**; cyberbullying encompasses various forms of online harassment, including spreading rumors, posting hurtful comments, and sharing private information without consent.
- **Global and Local Relevance**; while the problem is global, its manifestations can vary by culture and language, necessitating localized approaches to detection and prevention, as we propose in our study for the Turkish context.

Each of these stages is designed to collectively contribute to an effective and efficient system for detecting incidents of cyberbullying in Turkish tweets. We aim to navigate the nuances of the Turkish language using the Zemberek-NLP tool and to leverage machine learning techniques to accurately classify tweets. This approach is expected to enhance the effectiveness of cyberbullying detection and thus contribute to a broader goal of creating safer online environments.

## A. DATA COLLECTION

The first step in our methodology involves data collection. On February 5, 2021, we gathered a dataset comprising 35,000 Turkish comments from Twitter APIs. These comments were subsequently labeled as 'bullying' or 'not bullying' based on the presence of bullying keywords that we manually collected from posts, which frequently occur in the Turkish community. This resulted in a comprehensive list of bullying words that we used to classify comments into bullying and non-bullying classes. Of the 35,000 comments collected [for example, 5,500 were labeled 'bullying', and the rest 'not bullying']. This distribution was taken into account when evaluating the model's performance. The collected comments include comments with both positive and negative emotional tones. Additionally, comments from users from different geographic regions, different age groups, and different genders are included in the dataset.

## **B. DATA PREPROCESSING - LABELING**

A specific code set for Turkish is used for data preprocessing and tokenizing words. This allows a large text sample to be divided into individual words. In the data labeling process, a total of 3 experts were used.

The labeling process of the dataset was carried out using a two-stage approach:

- **Automatic Keyword-Based Labeling:** In the first stage, we created a list containing keywords related to bullying that frequently occurs in Turkish society. This list includes terms obtained from previous studies in the literature, as well as observations from social media and expert opinions. The collected 35,000 comments were automatically categorized into "bullying" and "not bullying" categories by filtering them through these keywords.
- **Manual Review:** After the automatic labeling process, a manual review was conducted on a randomly selected subset. This was done by 3 experts to validate and, if necessary, correct the accuracy of automatic labeling. During this process, comments that were misleadingly labeled were detected and corrected.

This two-stage approach was used with the aim of ensuring both speed and accuracy in labeling. While the automatic labeling process enables quick processing of large datasets, the manual review process helps enhance the accuracy of labeling.

In total, 35,000 Turkish comments were collected. Of these, 5,500 were labeled as 'bullying' and the remaining 29,500 as 'not bullying'. This labeling was based on a list containing signs of bullying and keywords. To better understand the effect of the preprocessing stage on the data, we examined a sample tweet in detail. The initial sample tweet was: "Today they treated me very badly at school. #badday". In the first step, we converted all characters to lowercase, resulting in "today they treated me very badly at school. #badday". Then, special characters, numbers, and emojis were removed from the tweet, giving us "today they treated me very badly in the school badday". In the third step, we eliminated frequently used stop words in Turkish (e.g., 'to me' and 'very'), obtaining "today school bad, treat bad". Finally, stemming was applied using Zemberek-NLP, and the final form became "today school bad, treat bad". These steps help make the text data more processable for the model, aiding it in better understanding the text and thus making more accurate predictions. Prior to integrating the data into the model, it necessitates cleansing and normalization as delineated below:

### **B. 1. Data Cleaning**

This process encompasses the exclusion of URLs, hashtags, "@" references, numerical values, non-Turkish lexemes, and extraneous components from the assembled tweets. Additionally, each word is refined through the following steps:

- Removal of repeated letters in words;
- Exclusion of prohibited terms, retaining words in textual form if they are not encompassed within the roster of disallowed words.

It is imperative to acknowledge that the Turkish linguistic framework is intricate, encompassing myriad grammatical constructs. Consequently, a singular term might manifest in diverse morphological variations, yet retain identical semantic values.

### **B. 2. Normalization**

This process involves word normalization to eliminate potential letter misinterpretations. Due to common misspellings of some words, some Turkish letters have been replaced with their official forms.

### **B. 3. Zemberek-NLP**

This toolkit offers an effective text processing solution for Turkish text. The tool provides a suite of capabilities, including tokenization, stemming, spell-checking, Named Entity Recognition (NER), Part-of-Speech tagging (POS tagging), and morphological analysis. Within the architectural design of our model, the stemming and tokenization functionalities were harnessed as delineated below:

#### ***B.3.1. Stemmed Words***

This is the process of reducing inflected terms to their root forms. This is especially useful for Turkish, which has a rich morphological structure. This reduces the number of features and groups different forms of the same word together.

#### ***B.3.2. Tokenization***

This entails a data delineation method that deconstructs a sentence into finer segments, commonly referred to as tokens. Each segment carries its own meaning. This enhances the granularity of our analysis and improves the perception of bullying terms.

### **B. 4. Extraction of Diverse Configurations**

Subsequent to the preprocessing phase, we extrapolated six distinct scenarios from our dataset. These scenarios facilitate the exploration of various text processing strategies to optimize our model's performance:

#### ***B.4.1. Cleaned Data***

This configuration encompasses data postprocessing, wherein URLs, hashtags, “@” references, numerical entities, non-Turkish lexemes, repetitive letters, and singular characters have been excised. Furthermore, this particular configuration has been subjected to normalization procedures.

#### ***B.4.2. Stemmed data***

This scenario encompasses a cleaned dataset that underwent stemming using the Zemberek tool.

#### ***B.4.3. Tokenization***

This scenario includes a cleaned dataset that underwent tokenization using the Zemberek tool.

#### ***B.4.4. Tokenization***

This scenario includes a dataset cleaned by removing the encoded words.

#### ***B.4.5. Tokenization***

This scenario includes data cleaned with the Zemberek tool and removed from the list of words to be blocked.



#### B.4.6. Tokenization

This scenario includes data cleaned with the Zemberek tool and removed from the list of words to be blocked. It is important to note that Turkish also has a rich long word sequence. Therefore, when these words are not considered, the performance of our model can usually be improved. After deriving these scenarios, both SVM and RF classifiers were used to determine which scenario provided the highest accuracy.

### B. 5. Feature Extraction

At this juncture, the model metamorphoses the data into a structure conducive to the deployment of machine learning methodologies. The paramount aim is to extract salient attributes from the dataset. To realize this aim, we harnessed the capabilities of the Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) vectorizer in tandem with the Bag of Words (BoW) algorithm. These approaches allow us to extract the most essential features from the data and organize them in a feature list.

TF-IDF is a weight calculation approach commonly used in text mining. It assigns value to words collected through statistical analysis of a document's content. In this scholarly investigation, multiple TF-IDF analyzers, encompassing Unigram and Bigram, have been deployed.

Term Frequency (TF) typically undergoes normalization to ascertain its weight. Conceptually, it represents the occurrence frequency of a term ( $t$ ) within a document ( $d$ ), adjusted to the cumulative word count of the said document:

*Formula (1) for Term Frequency (TF):*

$$TF_{(t,d)} = \frac{n_{(t,d)}}{\sum_{t' \in d} n_{(t',d)}} \quad (1)$$

Where:

- $TF_{(t,d)}$  is the term frequency of term  $t$  in document  $d$ .
- $n_{(t,d)}$  is the number of times term  $t$  appears in document  $d$ .
- $\sum_{t' \in d} n_{(t',d)}$  is the total number of terms in document  $d$ .

This formula correctly calculates the frequency of a term  $t$  in a document  $d$ , normalized by the total number of terms in that document. The removal of the index  $k$  clarifies the formula, ensuring it accurately represents the term frequency calculation as intended in the context of TF-IDF analysis.

*Formula (2): Inverse Document Frequency (IDF)*

The Inverse Document Frequency (IDF) is a measure of how much information a word provides, based on its frequency across all documents. It helps in assessing the significance of a word; less frequent words across documents are considered more significant. The formula for IDF is:

$$IDF(t) = \log\left(\frac{N}{df(t)}\right) \quad (2)$$

Where:

- $IDF(t)$  is the inverse document frequency of the term  $t$ .
- $N$  is the total number of documents in the corpus.
- $df(t)$  is the number of documents containing the term  $t$ .
- The logarithm scale is used to dampen the effect of IDF. It ensures that terms that appear in a small number of documents do not get an excessively high IDF value.

Formula (3): TF-IDF Weight

The TF-IDF weight is a statistical measure used to evaluate the importance of a word to a document in a collection or corpus. It is the product of two statistics, term frequency and inverse document frequency. The formula for calculating TF-IDF is:

$$TF - IDF(t, d) = TF_{(t,d)} \times IDF(t) \quad (3)$$

Where:

- $TF-IDF(t,d)$  is the TF-IDF score of the term  $t$  in document  $d$ .
- $TF_{(t,d)}$  is the term frequency of term  $t$  in document  $d$ , as explained in Formula (1).
- $IDF(t)$  is the inverse document frequency of the term  $t$ , as calculated in Formula (2).

The TF-IDF score increases proportionally to the number of times a word appears in the document, offset by the frequency of the word in the corpus. This helps to adjust for the fact that some words appear more frequently in general. TF-IDF is a key technique in text mining, used for text-based classifier algorithms like SVM and RF in our study.

The Bag of Words (BoW) serves as a representational technique that enumerates the recurrence of individual words within a text, yielding fixed-dimensional vectors. Each tweet is treated as a discrete data instance, and the occurrence rate of every term within that tweet is determined. This culminates in a representation termed as a vector, predicated upon the numerical quantification of the term. This method is effective in converting text data into a format that machine learning algorithms can process efficiently.

## B. 6. Feature Extraction

After the feature extraction process, the collected dataset is randomly split into training and test sets in an 80:20 ratio. Concurrently, the training data serves as the foundation for instructing the model employing both SVM and RF classifiers, whereas the test dataset is leveraged to ascertain the model's efficacy in the concluding phase.

SVM (Support Vector Machine) is a supervised learning algorithm that can be used for both classification and regression tasks. It is especially effective in high-dimensional spaces and when the number of dimensions exceeds the number of samples. In addition to SVM, the Random Forest (RF) classifier has been used, which is an ensemble learning method that operates by constructing multiple decision trees during training and outputs the class, that is the mode of the classes of individual trees.

## B. 7. Feature Extraction

Various classification metrics have been used to evaluate the analysis performance. The metrics of Accuracy (A), Recall (R), F1 score (F), and Precision (P) are deduced employing the subsequent mathematical expressions:

*Precision (P):*

$$P = \frac{\text{True Positive (TP)}}{\text{True Positive (TP)} + \text{False Positive (FP)}} \quad (4)$$

*Recall (R):*

$$R = \frac{\text{True Positive (TP)}}{\text{True Positive (TP)} + \text{False Negative (FN)}} \quad (5)$$

*F1 Score (F):*

$$F = 2 \cdot \frac{\text{True Positive (TP)}}{\text{True Positive (TP)} + \text{False Negative (FN)}} \quad (6)$$

*Accuracy (A):*

$$A = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (7)$$

True Positives (TP) represent the instances aptly identified as positive.

- True Negatives (TN) signify the instances accurately categorized as negative.
- False Positives (FP) represent samples that are incorrectly classified as positive when they are actually negative.
- False Negatives (FN) denote the samples that are incorrectly classified as negative when they are actually positive.

## **V. ANALYSIS RESULTS AND DISCUSSION**

We chose SVM due to its renowned effectiveness in text classification tasks, particularly in high-dimensional spaces like those encountered in natural language processing. SVM is adept at handling sparse data, which is common in textual analysis. Its ability to construct an optimal hyperplane for classification purposes makes it particularly suitable for differentiating between bullying and non-bullying content. Additionally, SVM's robustness in the face of overfitting, especially when dealing with limited training data, influenced our decision.

RF was selected for its proficiency in handling large datasets and its ability to maintain accuracy even when a significant portion of the data is missing or not clearly defined, which is often the case in social media content. RF's ensemble learning approach, where multiple decision trees are used to improve the predictive accuracy and control overfitting, makes it a powerful tool for classifying complex and noisy data such as tweets.

While other algorithms like Naïve Bayes, K-Nearest Neighbors, and Decision Tree are also used in similar contexts, we found SVM and RF to be more aligned with the specific challenges of our dataset, particularly considering the linguistic complexity of Turkish and the intricacies of cyberbullying detection.

Lastly, the selection of SVM and RF was based on their demonstrated strength in handling high-dimensional and noisy data, their robustness in classification tasks, and their suitability for the specific challenges presented by Turkish text data in cyberbullying detection.

Based on the results of our experiments, it has been determined that the SVM model combined with Zemberek-NLP shows superior performance in detecting Turkish cyberbullying tweets compared to other classifiers. Essentially, the performance in various experiments through various scenarios with the Zemberek-NLP tool via SVM and RF classifiers has been compared. Both of these classifiers are known for their effectiveness in text mining tasks. However, the analysis of the conducted experiments indicates that the SVM model combined with the stemming tool in the Zemberek-NLP toolkit yields the most promising results in the tested Turkish cyberbullying tweets. We undertook a comprehensive assessment of the outcomes from all experiments, synthesizing the findings and extrapolating insights from the paramount models across diverse scenarios. Based on the culled data, the scenario titled "Removal of blocked words from stemmed word data" manifested superior precision, registering an accuracy of 95.9% when paired with the SVM model facilitated by the TF-IDF vectorizer. Additionally, the SVM with BoW vectorizer showcased impressive performance with an accuracy of 95.7%. Interestingly,

when distributed with NLTK, the "Removal of blocked words from stemmed word data" scenario provides the best accuracy. Within this framework, stemming serves to truncate inflected words to their foundational forms by excising suffixes, prefixes, and other affixations. This process augments the efficacy of pinpointing terms indicative of bullying. Hence, it can be concluded that the Zemberek toolkit improves accuracy and surpasses the most advanced data collection tools in Turkey. This is largely due to words having different structures, especially in Turkish. Finally, the model yields superior results when stop words are removed.

*Table 1. Synopsis of accuracy outcomes across varying test proportions.*

Scenario	0.2	0.4	0.6
Cleaned	94.2%	92.8%	91.8%
Stemmed words	94.9%	94.6%	93.6%
Discrete words	94.4%	94.9%	89.4%
Removing blocked words on cleaned data	94.2%	92.5%	89.4%
Removing blocked words on stemmed word data	93.7%	94.2%	89.1%
Removing blocked words on discrete word data	94.6%	93.1%	93.2%

Our findings show that the "Stemmed words" scenario with a test rate of 0.2 achieved 94.9% accuracy, closely followed by the "Removal of blocked words on discrete word data" scenario with 94.6% accuracy. However, when the test rate is increased to 0.6, the accuracy of the results generally decreases. Notably, a test ratio of 80:20 has given the most promising results. After settling on an 80:20 test ratio, we classified our dataset for further analysis using SVM and RF classifiers. Following this, stemming was undertaken using both the TF-IDF and BoW techniques. The BoW vectorizer emerges as an instrumental mechanism for extracting noteworthy features from textual repositories. It transfigures text-centric data into a matrix paradigm by gauging the frequency of terms within the designated corpus.

*Table 2. Compendium of peak accuracy outcomes for the delineated scenarios.*

Best Scenario Based on Accuracy {High to Low}	TF-IDF Ngram_Length (1, 2)	BoW Ngram_Length (1, 2)
Stemmed {With removed blocked words}	95.9%	95.7%
Stemmed	95.8%	95.2%
Discrete {With removed blocked words}	95.3%	95.0%
Discrete	94.8%	94.6%
Cleaned {With removed blocked words}	94.7%	94.5%
Cleaned	94.3%	94.1%

*Table 3. Confusion matrix for the SVM classifier*

Scenario	TN (%)	TP (%)	FN (%)	FP (%)
Cleaned	92.20	5.27	1.95	0.59
Stemmed	92.43	5.44	1.75	0.39
Discrete	92.26	5.30	1.90	0.54
Cleaned {With removed blocked words}	92.29	5.27	1.95	0.49
Stemmed {With removed blocked words}	92.39	5.57	1.70	0.34
Discrete {With removed blocked words}	92.30	5.36	1.85	0.49

Within the ambit of our empirical investigations utilizing the SVM classifier in conjunction with the TF- IDF vectorizer, the confusion matrix provides clarity on the distribution of True Negatives (TN), True Positives (TP), False Negatives (FN), and False Positives (FP) within our dataset. The "stem {Removal of blocked words}" scenario is determined to be the most effective in correctly classifying both non-bullying and bullying tweets. In the context depicted in Table 5, around 5.57% of tweets, originating from a pool of 537 bullying tweets, were aptly classified as cyberbullying. Concurrently, an estimated 92.39% of tweets were correctly ascertained from a total of 6524 non-bullying tweets. Therefore, the "stem {Removal of blocked words}" scenario is more effective in grading true negative and true positive results in the SVM model.

**Table 4.** Efficacy Metrics for the Elucidated Scenarios

Scenario	Class	Precision	Recall	F1 Score
Cleaned	No (0)	0.99050	0.988	0.989248
	Yes (1)	0.88770	0.862	0.874500
	Average	0.93910	0.925	0.931874
Stemmed	No (0)	0.99260	0.990	0.991298
	Yes (1)	0.91750	0.892	0.904600
	Average	0.95505	0.941	0.947949
Discrete	No (0)	0.99150	0.989	0.990248
	Yes (1)	0.90760	0.887	0.897200
	Average	0.94955	0.938	0.943724
Cleaned {With removed blocked words}	No (0)	0.99130	0.990	0.990650
	Yes (1)	0.89620	0.882	0.889100
	Average	0.94375	0.936	0.939875
Stemmed {With removed blocked words}	No (0)	0.99140	0.992	0.991700
	Yes (1)	0.90810	0.912	0.910300
	Average	0.94975	0.952	0.951000
Discrete {With removed blocked words}	No (0)	0.98990	0.990	0.989950
	Yes (1)	0.89120	0.890	0.890500
	Average	0.94055	0.940	0.940225

The conventional matrix of confusion was employed to deduce precision, recall, and F1 score across all delineated scenarios. As shown in Table 4, these measurements provide a comprehensive view of the performance of each scenario. Among the scenarios, the one using the Zemberek tool, "stemming data with removal of blocked words", achieves the highest accuracy. This particular configuration appears to be the most suitable for detecting Turkish cyberbullying. The Zemberek tool is especially effective due to its ability to reduce inflected terms to their root forms. Given that Turkish is a language with rich morphology, this presents a significant advantage. By removing prefixes, suffixes, and affixes, the detectability of definite bullying words has been enhanced, thus leading to an increase in the model's accuracy. Additionally, it's worth noting that the model's performance improves when stop words are removed. Stop words are common words that don't contribute to the meaning of a sentence and can be disregarded without loss of meaning. By removing these words, the model can focus on significant words that contribute to detecting cyberbullying.

**Table 5.** Confusion matrix for the RF classifier.

Scenario	TN (%)	TP (%)	TN (%)	TP (%)
Cleaned	76.53	4.37	1.62	0.49
Stemmed	76.72	4.52	1.45	0.32
Discrete	76.58	4.40	1.58	0.45
Cleaned {With removed blocked words}	76.60	4.37	1.62	0.41
Stemmed {With removed blocked words}	76.68	4.62	1.41	0.28
Discrete {With removed blocked words}	76.61	4.45	1.54	0.41

Our experiments resulting from the RF classifier using the TF-IDF vectorizer provide a breakdown of True Negatives (TN), True Positives (TP), False Negatives (FN), and False Positives (FP). The scenario "stem {Removal of blocked words}" has been determined to be particularly effective in correctly classifying both bullying and non-bullying examples of tweets. In this scenario, from Table 5, about 4.62% of tweets from 486 bullying tweets were correctly identified as cyberbullying, and approximately 76.68% of tweets from 5349 non-bullying tweets were correctly labeled. This observation underscores that the "stem {Removal of blocked words}" scenario exhibits particular adeptness in accurately categorizing both true negative and true positive outcomes within the RF model. Despite a decline in performance compared to the SVM model, the RF model maintains its relevance and utility in the field of cyberbullying detection.

**Table 6.** Confusion matrix for the RF classifier in numerical terms.

Scenario	TN	TP	FN	FP
Cleaned	5357	305	113	34
Stemmed	5370	316	101	22
Discrete	5360	308	110	31
Cleaned {With removed blocked words}	5361	305	113	28
Stemmed {With removed blocked words}	5367	323	98	19
Discrete {With removed blocked words}	5362	311	107	28

Table 6 presents the confusion matrix results obtained using the RF classifier for different preprocessing scenarios in numerical form. For each scenario, the True Negative (TN) values represent the number of examples where the model correctly classified comments that did not contain cyberbullying. The True Positive (TP) values indicate the number of examples where the classifier correctly identified comments containing cyberbullying. The False Negative (FN) values show the number of instances where the model misclassified comments that contain cyberbullying as non-cyberbullying, while the False Positive (FP) values indicate the number of times non-cyberbullying comments were misclassified as containing cyberbullying. These values are crucial for evaluating the model's performance and the impact of different preprocessing steps on the classifier.

Through our investigative lens, the SVM classifier has demonstrably surpassed the RF classifier in classification accuracy metrics. Within this scholarly exploration, we engaged in the classification of Turkish cyberbullying tweets leveraging these two machine learning methodologies. Significantly, the SVM classifier, harmoniously paired with the TF-IDF vectorizer, has demonstrated unparalleled proficiency in prognosticating cyberbullying comments. Comparatively, Mouheb et al. achieved an accuracy of 0.95 using the NB classifier. However, our methodology is improved compared to this result, and with the SVM classifier and the "Stemmed {Removal of blocked words}" scenario, an accuracy of 95.9% has been achieved. Table 7 delineates the accuracy metrics for both SVM and RF classifiers across diverse scenarios. The SVM classifier registers a pinnacle of accuracy at 95.9%, whereas the RF classifier attains an accuracy of 81.515% in the "Stemmed" context. Intriguingly, this contrasts sharply with the SVM classifier, wherein the "Stemmed {Removal of blocked words}" scenario proffers the most commendable outcomes. In conclusion, a hybrid classification approach might be the most effective solution when considering different contexts (scenarios).

**Table 7.** Accuracy of classifiers for extracted scenarios.

Scenario	SVM Accuracy (%)	RF Accuracy (%)
Stemmed {With removed blocked words}	95.9	81.430
Stemmed	95.8	81.515
Discrete {With removed blocked words}	95.3	81.005
Discrete	94.8	80.580
Cleaned {With removed blocked words}	94.7	80.495
Cleaned	94.3	80.155

## **VI. CONCLUSIONS**

In this study, we trained the Support Vector Machine (SVM) model on a significant Turkish dataset consisting of approximately 35,000 comments. The model was later evaluated on a distinct Twitter dataset, selected in consideration of Twitter's pervasive utilization as a reservoir for textual data acquisition. Our primary aspiration was the adept classification of cyberbullying remarks. The results intimate that the efficacy of SVM, when allied with the TF-IDF vectorizer, is notably proficient in pinpointing instances of cyberbullying. These outcomes were contrasted with those procured from the Random Forest (RF) classifier, wherein we fine-tuned parameters such as the ngram range and incorporated auxiliary feature extraction techniques, notably the Bag of Words (BoW). It's important to note that BoW produces fixed-length vectors by counting the frequency of each word appearing in the text, using the CountVectorizer for this process. Despite these measures, SVM exhibited superior performance in detecting cyberbullying content, achieving an impressive accuracy of 95.9%. The high accuracy of our model offers a promising route to protect users from cyberbullying on social platforms.

Projecting ahead, we advocate for an expansive evaluation of our model, potentially spanning the analysis of millions of daily submissions across social media platforms. Furthermore, integrating this model within messaging applications could empower users with heightened cognizance of cyberbullying within social networks, simultaneously facilitating the automatic excision of comments laden with bullying. We can also envisage integrating a new version of the model with law enforcement and social aid organizations to monitor and address severe bullying incidents that lead to tragic outcomes like suicide.

A further research aim involves transitioning our model from traditional machine learning to deep learning techniques. This transition might provide an opportunity to compare the results produced by these two different training methodologies and could potentially provide more nuanced insights into cyberbullying detection.

## **VII. REFERENCES**

- [1] A. Mishrif and A. Khan, "Causal Analysis of Company Performance and Technology Mediation in Small and Medium Enterprises During COVID-19," *Journal of the Knowledge Economy*, Oct. 2022,
- [2] Erdal Özbay, "Transformatör-Tabanlı Evrişimli Sinir Ağı Modeli Kullanarak Twitter Verisinde Saldırganlık Tespiti," *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, pp. 986–1001, Dec. 2022
- [3] Ayça Balmumcu and Hilal Yüceyılmaz, "Investigation of Cyberbullying and Cyber Victimization Level of Young Women," *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi dergisi*, May 2023
- [4] A. Blanchard and T. Horan, "Virtual Communities and Social Capital," *Social Dimensions of Information Technology: Issues for the New Millennium*, 2000. <https://www.igi-global.com/chapter/virtual-communities-social-capital/29107> (accessed Mar. 31, 2020).
- [5] L. Cheng, K. Shu, S. Wu, Y. N. Silva, D. L. Hall, and H. Liu, "Unsupervised Cyberbullying Detection via Time-Informed Gaussian Mixture Model," *arXiv.org*, Aug. 06, 2020. <https://arxiv.org/abs/2008.02642> (accessed Oct. 22, 2023).
- [6] S. N. Firdaus, C. Ding, and A. Sadeghian, "Retweet Prediction based on Topic, Emotion and Personality," *Online Social Networks and Media*, vol. 25, p. 100165, Sep. 2021

- [7] S. C. S. Caravita, B. Colombo, S. Stefanelli, and R. Zigliani, "Emotional, psychophysiological and behavioral responses elicited by the exposition to cyberbullying situations: Two experimental studies," *Psicología Educativa*, vol. 22, no. 1, pp. 49–59, Jun. 2016
- [8] Rüstem Göktürk HAYLI and Yrd. Doç. Dr.yüksel ÇIRAK, "Siber Zorba Olan ve Olmayan Ergenlerin Yordanmasında Siber Mağduriyet, Akran Zorbalığı ve Karanlık Üçlünün Rolü," *Journal of Inonu University Faculty of Education*, vol. 24, no. 1, pp. 420–448, May 2023
- [9] K. Jordan, "From Social Networks to Publishing Platforms: A Review of the History and Scholarship of Academic Social Network Sites," *Frontiers in Digital Humanities*, vol. 6, Mar. 2019,
- [10] I. F. Kilincer, F. Ertam, and A. Sengur, "Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection: Datasets and Comparative Study," *Computer Networks*, vol. 188, p. 107840, Jan. 2021
- [11] M. C. Martínez-Monteagudo, B. Delgado, Á. Díaz-Herrero, and J. M. García-Fernández, "Relationship between suicidal thinking, anxiety, depression and stress in university students who are victims of cyberbullying," *Psychiatry Research*, vol. 286, p. 112856, Apr. 2020
- [12] A. Muneer and S. M. Fati, "A Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Cyberbullying Detection on Twitter," *Future Internet*, vol. 12, no. 11, p. 187, Oct. 2020
- [13] B. A. Talpur and D. O'Sullivan, "Cyberbullying severity detection: A machine learning approach," *PLOS ONE*, vol. 15, no. 10, p. e0240924, Oct. 2020
- [14] D. Olweus and S. P. Limber, "Some problems with cyberbullying research," *Current Opinion in Psychology*, vol. 19, pp. 139–143, Feb. 2018
- [15] H. Vandebosch and K. Van Cleemput, "Cyberbullying among youngsters: profiles of bullies and victims," *New Media & Society*, vol. 11, no. 8, pp. 1349–1371, Nov. 2009
- [16] J. Hani, M. Nashaat, M. Ahmed, Z. Emad, E. Amer, and A. Mohammed, "Social Media Cyberbullying Detection using Machine Learning," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 5, 2019
- [17] M. A. Al-Garadi *et al.*, "Predicting Cyberbullying on Social Media in the Big Data Era Using Machine Learning Algorithms: Review of Literature and Open Challenges," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70701–70718, 2019
- [18] A. Ali and A. M. Syed, "Cyberbullying Detection using Machine Learning," *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*, Sep. 2020
- [19] E. Raisi and B. Huang, "Cyberbullying Detection with Weakly Supervised Machine Learning," *Proceedings of the 2017 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining 2017 - ASONAM '17*, 2017
- [20] M. Sadigzade and E. Nasibov, "Comparative Analysis of Count Vectorization vs TF-IDF Vectorization for Detecting Cyberbullying in Turkish Twitter Messages," in *Journal of Modern Technology & Engineering*, vol. 7, no. 1, 2022.
- [21] B. ERDİ, E. A. ŞAHİN, M. S. TOYDEMİR, and T. DÖKEROĞLU, "Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Trol Hesapların Tespiti," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Nov. 2020,



- [22] V. Diogho and A. Paula, "Exploring Text Mining and Analytics for Applications in Public Security: an in-depth dive into a systematic literature review," *Socioeconomic Analytics*, vol. 1, pp. 5–55, Jul. 2023
- [23] A. Bozyigit, S. Utku, and E. Nasiboglu, "Cyberbullying Detection by Using Artificial Neural Network Models," *2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Sep. 2019
- [24] H. Baruah, P. Dashora, and M. K. Chaudhary, "Incidences of cyberbullying among adolescents," *Advance Research Journal Of Social Science*, vol. 8, no. 2, pp. 143–149, Dec. 2017
- [25] A. Al-Marghilani, "Artificial Intelligence-Enabled Cyberbullying-Free Online Social Networks in Smart Cities," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 15, no. 1, Jan. 2022
- [26] I. Aoyama and T. L. Talbert, "Cyberbullying Internationally Increasing," pp. 183–201, Jan. 2010
- [27] S. Skilbred-Fjeld, S. E. Reme, and S. Mossige, "Cyberbullying involvement and mental health problems among late adolescents," *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*, vol. 14, no. 1, Feb. 2020
- [28] M.-J. Wang, K. Yogeewaran, N. P. Andrews, D. R. Hawi, and C. G. Sibley, "How Common Is Cyberbullying Among Adults? Exploring Gender, Ethnic, and Age Differences in the Prevalence of Cyberbullying," *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 22, no. 11, pp. 736–741, Nov. 2019
- [29] M. ERDOĞDU and M. KOÇYİĞİT, "The correlation between social media use and cyber victimization: A research on generation Z in Turkey," *Connectist: Istanbul University Journal of Communication Sciences*, 2021
- [30] Y. Akbulut and B. Eristi, "Cyberbullying and victimisation among Turkish University students," *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 27, no. 7, 2011
- [31] A. ARSLAN, O. BİLGİN, and M. INCE, "Lise Öğrencilerine Yönelik Siber Zorbalık Ölçeği Geliştirme Çalışması," *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, pp. 1–1, Jun. 2020



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Tekstil Sektöründe Sürdürülebilirliğin Düzce İli Özelinde İncelenmesi

 Filiz DURSUN <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Tasarım Bölümü, Düzce Meslek Yüksekokulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

<sup>\*</sup> *Sorumlu yazarın e-posta adresi: filizdursun@duzce.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.1283420

### ÖZ

Tekstil sektörü; yarattığı istihdam, ciddi yatırımlar ve yüksek ihracat oranlarıyla Türkiye'nin lokomotif sektörlerinden birisidir. Ayrıca farklı birçok sektör ile etkileşim halindedir. Bu açıdan bu sektörün ülkemiz ve bölgemizdeki sürdürülebilirliği büyük önem taşımaktadır. Çalışmanın amacı, Düzce ili Tekstil/Hazır Giyim sektörünün mevcut durumunu, sorunlarını ve bu sorunların çözüm önerileri, son dönemin en önemli kavramlarından sürdürülebilirlik ile ilişkisini belirlemek ayrıca sektörün geleceği konusunda öngörülerde bulunabilmektir. Bu temel amaç doğrultusunda yapılan çalışmalar incelenmiş, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve araştırma için veri toplama aracı hazırlanmıştır. Hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formu ile Tekstil/Hazır Giyim İşletmesi yöneticileri ile görüşmeler yapılmıştır. Araştırmada elde edilen verilerin Düzce İlinde Tekstil sektörünün devamlılığı ve gelişiminin sağlanması açısından son derece önemli olduğu ayrıca araştırma sonuçlarının konuyla ilgili literatüre ve sektör temsilcilerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Tekstil 1, Sürdürülebilirlik 2, Düzce 3*

## An Investigation of Sustainability in the Textile Industry in Düzce Province

### ABSTRACT

Textile sector; It is one of the locomotive sectors of Turkey with the employment it creates, serious investments and high export rates. It also interacts with many different sectors. In this respect, the sustainability of this sector in our country and region is of great importance. The aim of the study is to determine the current status of the Textile/Apparel industry in Düzce, its problems and solutions to these problems, its relationship with sustainability, one of the most important concepts of the last period, and also to make predictions about the future of the industry. Studies conducted in line with this main purpose were examined, the results obtained from these studies were analyzed and a data collection tool was prepared for the research. With the semi-structured interview form prepared, interviews were held with the managers of the Textile/Apparel Business. It is thought that the data obtained in the research is extremely important in terms of ensuring the continuity and development of the textile sector in Düzce, and the results of the research will contribute to the relevant literature and sector representatives.

**Keywords:** *Textile 1, Sustainability 2, Düzce 3*

# I. GİRİŞ

Düzce, 1999 depreminin hemen öncesinde il statüsü kazanmış, Batı Karadeniz bölgesinde bulunan küçük ama ülke ekonomisi açısından önemli bir yere sahip olan 81. ildir. 2018 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre 387 844 kişinin yaşadığı Düzce ilinde, 2022 itibariyle nüfusun 405 131 kişiye ulaştığı bilinmektedir [1]. Ekonomik anlamda büyük darbe almasına sebep olan 1999 depremi sonrasında toparlanma sürecine girmiş olan Düzce ili, tarım, hayvancılık, ormancılık gibi temel uğraşların yapıldığı, 5084 sayılı kanun ve coğrafi konumu itibariyle de birçok farklı sanayi dalında gözde bir yatırım bölgesi haline gelmiştir. Düzce İlinin, ülkenin en önemli iki kenti; İstanbul ve Ankara arasında olması, ulaşım kolaylığı, liman ve hammadde kaynaklarına yakın olması, Marmara Sanayi Bölgesine yakın olması, Akçakoca ilçesi ile deniz bağlantısının da bulunması, onu konum olarak önemli kılarken ekonomik anlamda dinamik bir yapıya sahip olmasını sağladığı da söylenebilir. Tüm bunlarla birlikte; denizi, doğası, Batı Karadeniz bölgesinin ayakta olan tek antik kenti olması Düzce ilini turizm ve tarih açısından ayrıcalıklı kılmakta ve onun cazibe merkezi olmasını sağlamaktadır. Bu nedenledir ki Düzce ilinde Tekstil ve Hazır giyim sektörleri uzun yıllardır varlıklarını sürdürmekte ve binlerce kişiye istihdam olanağı sağlamaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında tekstil hazır giyim sektörünün Düzce ilinde devamlılığının sağlanabilmesi (sürdürülebilirliği) açısından çalışma büyük bir öneme sahiptir. Çalışmanın amacı, Düzce ilinde Tekstil/Hazır Giyim sektörünün durumunu, sorunlarını ve bu sorunların çözüm önerileri, son dönemin en önemli kavramlarından sürdürülebilirlik ile ilişkisini belirlemek ayrıca sektörün geleceği konusunda öngörülerde bulunabilmektir. Bu temel amaç doğrultusunda daha önce tekstil sektörü ile ilgili il bazında yapılan çalışmalar incelenmiş, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar analiz edilerek araştırmanın yönü saptanmış ve araştırma için veri toplama aracı hazırlanmıştır. Hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formu ile Tekstil/Hazır Giyim İşletmesi yöneticilerinin görüşlerinin elde edilmesi planlanmıştır. Araştırmadan elde edilen verilerin Düzce İlinde Tekstil sektörünün varlığını sürdürmesi ve gelişmesi açısından önemli olduğu ayrıca araştırma sonuçlarının literatüre ve tekstil sektörü araştırmacılarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada tekstil sektörünün bugünü değerlendirilirken, yöneticilerin sektörün geleceğine dair öngülerinin Düzce ilinde tekstil sektörünün gelişimi için önemli kararların alınmasında yol gösterici olabileceği ayrıca karar mekanizmaları arasında iletişim ve işbirliği kurabileceği tahmin edilmektedir.

## II. TEKSTİL SEKTÖRÜ VE SÜRÜDÜRÜLEBİLİRLİK

### **A. TEKSTİL SEKTÖRÜ VE TEKSTİL SEKTÖRÜNÜN DİĞER SEKTÖRLERLE İLİŞKİSİ**

Hammadde olarak lif üretimi ile başlayan Tekstil Sektörü, iplik üretimi, yüzey üretimi (dokuma, örme, dokusuz yüzey), terbiye (apre-bitim) işlemleri ile hazır giyimi içine alan, ürünün nihai tüketiciye ulaşıncaya dek birçok işlem ve makineden geçtiği, son derece kapsamlı ve ürün çeşitliliğinin fazla olduğu önemli sektörlerden biridir.

Tekstil sektörü birçok farklı sektör ile etkileşim halindedir. Ayrıca, hazır giyim sektörünün tedarik zincirinde yer alan ve çok geniş üretim ve ürün çeşitliliğine sahip bir sektördür [2]. Örneğin doğal lifler nedeniyle tarım ve hayvancılık, sentetik lifler ve boya-apre (terbiye işlemleri) açısından petrol ve kimya sanayii Boya-terbiye kimyasalları açısından kimya sanayii ile etkileşim halindedir. Ayrıca Teknik tekstil üretim ve kullanımı açısından ilişki içinde olmadığı sektör yok gibidir. Teknik tekstiller yüksek katma değerli ürünler olarak, otomotivden, uzay sanayine, tıptan, jeolojik tekstillere kadar birçok farklı alanla ilişkilidir. Elde edilen düşük (hazır giyim) veya yüksek katma değerli (teknik tekstiller) ürünlerin tüketiciyle buluşmasında etkili olan lojistik peşi sıra perakende ve mağazacılık, sektörün tedarik zincirinin halkaları olarak kabul edilmektedir. 1970'lerin başından günümüze önemli gelişmeler kaydetmiş olan tekstil/hazır giyim sanayi; moda-tasarım-estetik ve stillere göre kullanım belirleyiciliği olması dolayısıyla hızla büyüyen sektörler arasındadır [3]. Hazır giyim; moda sektörüne bağlı olarak lif, iplik, yüzey ve terbiye işlemlerini kapsayan tekstil sektörü ürünlerinin işlendiği, tasarım ve

markalaşma ile değer yaratan ancak emek-yoğun olması nedeniyle işçiliğin ucuz olduğu gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerin yatırım yaptığı sektörlerden biri olarak görülmektedir. Genel olarak basit ve ucuz ürünlerin üretimi sanayileşmekte olan ülkelerde, yüksek katma değerli moda-marka ürünler ile teknik tekstillerin üretimi gelişmiş ülkelere yapılmaktadır [2]. Refah düzeyindeki artış, inşaat sektöründe ki yükseliş, turizm sektörünün ve destinasyon turizminin hızla gelişmesi, tüm alt dallarıyla birlikte tekstil sektörüne olan ihtiyacı artırmış ve sektörün büyümesini sağlamıştır [3]. Moda açısından ele alındığında da tekstil, hazır giyim, deri ve deri ürünleri sektörleri birbirleriyle ilişkili sektörler olarak moda aracılığıyla tüketiciye ulaştırılmaktadır. Özellikle tekstil sektörü hazır giyim sektörünün tedarik zincirinde yer alarak bu sektörün ayrılmaz bir parçası haline almıştır. Ayrıca her iki sektör bazı durumlarda tekstil sektörü olarak da tek isim altında telafuz edilmektedir [2]. Buradan da anlaşıldığı gibi tekstil sektörü tüm sektörlerle etkileşim halindedir. Hazır giyim ve tekstil bir bütünün parçaları olarak Giyim Modasının oluşumu ve üretiminin en önemli enstrümanlarıdır.

## B. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TEKSTİL SEKTÖRÜNÜN GENEL GÖRÜNÜMÜ

Global birçok farklı kuruluşun tekstil sektörü ile ilgili yaptıkları araştırma raporlarına bakıldığında 2020 Mart ayında hayatımıza giren Covid-19 salgınından en çok etkilenen sektörlerden birinin tekstil sektörü olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu raporlarda salgın sonrası 1-1,5 yıllık süreçte olabilecekleri öngörmek adına sektör temsilcilerinin görüşlerinin alındığı; Business of Fashion'ın McKinsey & Company ile ortak hazırladıkları Covid-19 salgınından sonra güncellenen moda durum raporunda [4]: Hazır giyim sektörü için 2019 yılına göre; 2020 yılında %27-30 oranında küçülme, 2021'de %2-4 büyüme saptanırken, lüks hazır giyim sektöründe %35-39 küçülme, 2021'de %1-4 büyüme saptanmıştır [5].

T.C. Ticaret Bakanlığı verilerine göre 2019 ile 2020 Kasım ayları karşılaştırıldığında; İhracat, %0,95 azalmış 16,1 milyar dolar, ithalat, %16,1 artmış 21,2 milyar dolar olmuştur, Dış ticaret hacmi 37,3 milyar ABD doları ile %8,1 artmıştır. İhracatın ithalatı karşılama oranı %76 olarak belirlenmiştir. 2020 Mart ayından bu yana tüm dünyayı sosyal, ekonomik her anlamda büyük çapta negatif etkileyen Covid-19 salgını nedeniyle tüm Dünya'da ekonomide yaşanan küçülmenin olumsuz etkilerinin Haziran 2021 sonu itibarıyla ortadan kalkmaya başladığı, Dünya ve özellikle Türkiye ekonomilerinin normalleşme sürecine girdiği, bu olumlu etkinin fark edilir hale geldiği belirlenmiştir [6].

Türkiye Genel İhracatı ile Hazır Giyim ve Konfeksiyon İhracatı, 2021 ile 2022 Ocak-Nisan dönemleri kıyaslandığında %21,7 oranında artış göstermiş 68,7 milyar dolardan 83,6 milyar dolara çıkmıştır. Türkiye sanayi ihracatı ise aynı dönemde %22,6 oranında artarak 62,9 milyar dolara yükselmiştir. 2021 yılı ile 2022 Ocak-Nisan dönemi Türkiye'ye Hazır giyim ve Konfeksiyon ihracatı karşılaştırıldığında %18,5 oranında artış ile 7,5 milyar dolar olduğu belirlenmiştir [7].

Türkiye İhracatçılar Meclisinin (TİM) verilerine göre; Hazır Giyim ve Konfeksiyon sektörü 2022 yılı ilk üç ayında genel ihracat içinde %12,5'lik pay ile kimyevi maddeler, %12,4'lük pay ile otomotiv sektörü ve %9,4'lük payıyla çelik sektörü ardından %9,1'lik payıyla dördüncü sıradadır. 2022 yılı ilk çeyreğinde sektörel ihracatın %62,5'i Avrupa Birliği (AB) ülkelerine gerçekleştirilmiş ve bu ülkelere ihracatta 2021 yılına kıyasla %19,1 yükselme saptanmıştır. 2022 yılı ilk üç ayında en fazla Hazır giyim ihracatı yapılan ülkelerin başında Almanya, İspanya, İngiltere ve Hollanda gelmektedir. İhracat Performansı en yüksek ürün grubu yıllardır örme hazır giyim mamulleridir. 2022 ilk çeyrekte örme giyim mamullerinin toplam Hazır giyim ve Konfeksiyon ihracatındaki payı %48,1 dokuma konfeksiyon ürünlerinin payı %36,9 ve hazır eşyaların payı %13,4'dür [8].

2022 Yılı Ocak-Nisan dönemi Türkiye'den en fazla Hazır giyim ihracatı yapılan ülkeler Almanya, İspanya ve İngiltere'dir. 2022 yılında geçtiğimiz yıl aynı döneme göre bu ülkelere ihracat oranları artmış, Almanya'ya 1,3 milyar dolarlık, İspanya'ya 914,8 milyon dolarlık ve İngiltere'ye 722,5 milyon dolarlık ihracat gerçekleştirilmiştir [7]. 2022 yılı Ocak-Nisan döneminde Hazır giyim ve konfeksiyon ihracatında öne çıkan ürünlerden ilk sırada bir önceki yıla göre %30,2'lik artış ve 1,4 milyar dolarlık ihracat değeri ile kadın/kız çocuk giyimi, dokuma takım elbise, ceket vb. ürünler yer almaktadır. Bu ürün grubunu 2021 yılı Ocak-Nisan dönemine göre 1,1 milyar dolarlık ihracat değeri ile t-shirt, atlet vb.

ürünler takip etmektedir. Aynı dönem ihraç edilen ilk on ürün grubu arasında bir önceki yıl aynı döneme göre tüm ürün gruplarında artış yaşanmıştır. Erkek ve erkek çocuk gömleklerinin yer aldığı giyim grubunda bir önceki yılın aynı dönemine göre %45,9'lık artış, göze çarpmaktadır. 2022 Nisan ayında TC Merkez Bankası verilerine göre, giyim eşyası imalat sanayiinde kapasite kullanım oranları %84,14 olarak belirlenmiştir [7].

Türkiye'nin hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı 2023 yılı Ocak-Mart verilerine göre 2022 yılı aynı dönemde %4,4 azalma ile 5,2 milyar dolar civarındadır. Hazır giyim sektörü 2023 ilk çeyreğinde 5,2 milyar dolarlık ihracat ve genel ihracat içindeki %8,5'lük payıyla; %14 payı olan otomotiv ve %12,1'lik payı olan kimyevi maddeler sektörünün peşinden üçüncü gelmektedir. 2023 yılı Ocak-Mart dönemi sektörel ihracatın %58,1'i AB ülkelerine gerçekleştirilmiş ve 2021 yılına göre %11,1'lik bir azalma gerçekleşmiştir. 2023 yılı ilk 3 ayında Türkiye en fazla Almanya, İspanya ve Hollanda, İngiltere ve Fransa' hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı yapmıştır. Hazır giyim sanayiinde kapasite kullanım oranları 2022 Aralık ayında %80,3 iken, 2023 yılı Mart sonunda %75,9'a gerilemiştir [9].

### C. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik kavramı son dönemin en popüler konuları arasında yer almaktadır. Bu kavrama yönelik uygulamalar önceleri farkındalık seviyelerine bağlı olarak gönüllülük çerçevesinde ve prestij kaynağı olarak gerçekleştirilirken, son yıllarda zorunlu yönetmelikler dâhilinde hatta pazarlama stratejisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sanayi devrimiyle insanlık doğadan ve doğaldan uzaklaşmış, teknolojik gelişmeler hızlanmış ve tüketim artmaya başlamıştır. Günümüz Dünya'sında nüfusun artması buna istinaden kaynakların azalması ile birlikte hızla artmaya devam eden atıklar gelecek yeni nesiller için kaygı uyandırmakta, yaşanabilir bir Dünya için devamlılığı sorgulamamıza sebep olurken sürdürülebilirlik kavramının daha fark edilir olmasını sağlamaktadır.

Sürdürülebilirliğin kelime anlamı bir varlığın 'var olma' halini sürekli olarak devam ettirebilmesi olarak açıklanabilirken [10], işletmeler açısından sürdürülebilirlik, (yapının, kurumun, organizasyonun) uzun vadede ayakta kalabilme yeteneği olarak tanımlanabilir [11]. İlk önceleri ekolojik veya çevresel konularla bağlantılı ele alınmış olan sürdürülebilirlik ardından ekonomik ve sosyal konuları içerecek şekilde evrilmiştir [12]. Bu nedenle, uzun vadede şirketlerin hayatta kalabilmeleri için işlerini karlı bir şekilde yapmaları, aynı zamanda çevresel etkilerini sosyal sorumluluk ile kontrol etmeleri gerekmektedir. Genellikle üç fark edilebilir ve iç içe geçmiş sürdürülebilirlik boyutu vardır: ekonomik, çevresel ve sosyal [10] [13]. Bu açıdan yaklaşıldığında sürdürülebilirlik, insan toplumunun ekonomik, sosyal, kurumsal ve çevresel yönlerinin sürekliliği ile ilgili önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplumun, üyelerinin ve ekonomilerinin iyi durumda olması için medeniyeti ve insan faaliyetini yapılandırmanın bir aracı olan, biyoçeşitliliği ve doğal ekosistemleri korurken ihtiyaçlarını karşılayabilir ve mevcut potansiyellerini ifade edebilir ve bu idealleri süresiz olarak sürdürme kabiliyeti için planlama ve eylemde bulunma amaçlanmıştır. Sürdürülebilirlik, yerel çevreden tüm gezegene kadar organizasyonun her seviyesini etkiler [14]. Sürdürülebilirlik çevresel açıdan ekosistemin devamlılığı, doğal kaynak kullanımı, karbon ayak izi ve sera gazı vb. konular ile ekonomik boyutu ürünlerin yaşam döngüsünde oluşturdukları maliyet ve ekonomik kar gibi maddi çıkarımlar ile sosyal boyutu ise insan hakları, cinsiyet eşitliği ve eğitim hakkı vb. konular ile ilgilenmektedir [10]. En farkındalık yaratacak şekilde sürdürülebilirlik, çocuklarımızın, torunlarımızın ve torunlarımızın torunlarının dostane, temiz ve sağlıklı bir dünyada rahat bir şekilde yaşamalarını sağlayacak şekilde yaşamı sürdürerek ilerleme sorumluluğumuz olarak tanımlanabilir [15]

Tekstil sektörü, insan haklarıyla ilgili sorunların yanı sıra, özellikle tekstil terbiyesinde çevresel açıdan kimyasalların kullanımı, akarsuların ve doğanın kirlenmesi, arazi ve su kullanımı (örneğin pamuk üretimi, boyama, ağartma, haşılama) vb. faaliyetlerin önlenmesi ve azaltılması suretiyle sürdürülebilir bir sektördür [16]. Üretici ve tüketici boyutuyla "Hızlı moda" olan düşkünlük önemli bir konudur. Çünkü Tekstil/Hazır giyim endüstrisi düşük kaliteli, kısa süreli kullanımı olan, çok sık yenilenen ve hızla artan atıkları ile karakterize edilmektedir ve tüm bunların önlenmesi sürdürülebilirlik açısından büyük bir öneme sahiptir [16][17].

Dünya çapında her geçen saniyede bir kamyon dolusu tekstil ürünü yakılmakta ya da atık sahalarına depolanmaktadır. Günümüzde maalesef tekstil ürünlerinden sadece %1'i kadarının geri dönüştürülebildiği düşünülmektedir. Yeni iş ve tüketim modeli uygulamaları, tekstil ürünlerini sınıflandırma, ileri dönüşüm ve geri dönüşüm artırılarak, tüketicilerin ekolojik ve dönüştürülebilir ürünleri seçmesine olanak sağlanmış olacaktır. Eko-tasarım ve eko-üretim daha geniş bir ürün grubuna uygulanırken, kıyafetler daha uzun vadede dayanacak biçimde tasarlanacak ve üretilecektir. AB Komisyonu araştırmalarına göre tekstil sektörü sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomiye geçiş ile karbon sıfırlandığında küresel karbon emisyonunun düşürülmesinde hacim olarak en etkili olacak 3. büyük sektördür. Tekstil sektörü yalnızca üretim sürecinde bile enerji kullanımı olarak küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. Bu oranın, uluslararası hava ve deniz taşımacılığı toplamından daha fazla olduğu bilinmektedir. Tekstilde yenilenebilir enerjiye geçiş ile 600.000 hanenin sebep olduğu karbon emisyonu kadar azaltım sağlanabilir. Tekstil sektörü sadece üretim süreci içindeki su tüketimi ile üretim endüstrileri arasında 2. sırada, pamuk üretimi en çok su tüketen endüstriyel ürünler arasında 5. sıradadır. Pamuğun geri dönüştürülmesi ile ülkemizde ki ekili alanlardan 766.390 hektar tarım alanını kurtarabilir. Depolanan ve yakıt olarak kullanılan tekstil atıkları yüksek oranda karbon emisyonuna sebep olmaktadır. Küresel karbon emisyonunun %1,9'u düzenli depolama sahalarından salınmaktadır ve düzenli depolama sahalarındaki tekstil atığı miktarı toplamın ortalama %8'idir. Her yıl 1 milyon ton tekstil atığı, ileri dönüşüm, geri dönüşüm ve yeniden kullanıma kazandırma sayesinde kurtarılabilir [18].

Sürdürülebilirlik hedefi olan tüm kurumların, amaçladıkları yolda ilerleyebilmeleri için öncelikli odaklanması gereken somut araçlara, stratejilere ve bilimsel ilkelere ihtiyaçları vardır. Bu araçlar; sertifikalar, standartlar, stratejiler ve ilkelerdir. Bunlar; Endüstriyel Simbiyoz, ISO14001, Çevre Yönetim Sistemleri (EMAS), Yaşam Döngüsü Yaklaşımı (LCA), Factor 10, Sıfır Salınım, Ekolojik ve Karbon Ayak İzi hesaplamaları, Sınırdaki Karbon Düzenlemesi, Islak Prosesi Olan İşletmelerde Su ve Atık Su Yönetimi, Atık Yönetimi ve Sıfır Atık, Beşikten Beşiğe (C2C), Geri Dönüşüm ve İleri Dönüşüm, Küresel İlkeler Sözleşmesi (Global Compact), Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji, Kurumsal Sosyal Sorumluluk (CSR), Tekstilde Sürdürülebilir Finansman Ekosistemi, Yeşil Bina Sertifika Sistemleri (LEED, BREEAM vb.), Yerel Gündem 21 (Agenda 21), Adil Ticaret (Fair Trade), Temiz Üretim (Cleaner Production), Eko Verimlilik ve Eko Tasarım vb. Bu araçlar vasıtasıyla, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülemezliğin hangi insani faaliyetler yüzünden gerçekleştiğinin tespiti sürdürülebilir bir dünya için atılabilecek önemli adımlardan biri olacaktır [19], [20]. Bu bağlamda tekstilde döngüsellik adına başlıca yaklaşımlar; Beşikten beşiğe; Belirli bir malzeme için her aşamanın beşik olarak kabul edildiği, yenileme, ileri dönüştürme, geri dönüştürme, döngüsel bir yaşam oluşturma yoluyla atıkların ortadan kaldırıldığı bir ekonomiyi benimsemektir. Endüstriyel simbiyoz; Endüstriyel iş birliği içinde bir şirketin atığının diğerinin hammaddesi olduğu yapıdır. Bu konuda bölgesel veya daha geniş iş birlikleri ile işlenmemiş hammadde ve atık boşaltımına olan ihtiyaç azaltılabilir. Kapalı döngü; Atık suları arıtmak, deşarj ile yeniden kullanıma döndürmek ve ürün dayanımını artırmak sureti ile hammadde tüketimini ve atık oluşumunu azaltmaya odaklanan ters ve ileri lojistiği (tedarik, üretim ve dağıtım) biraraya getiren lojistik süreç sistemidir [18].

Türkiye İhracatçılar Meclisi tarafından Tekstil Sektörü için Sürdürülebilirlik Eylem Planı hazırlanmış, Tekstil ve Hammaddeleri Sektör Kurulu Sürdürülebilirlik Komitesi oluşturulmuştur. Bu komite sayesinde Sürdürülebilirlik alanında uluslararası çalışmaların takip edilerek, firmalara genel ve teknik eğitimler verilmeye, çalıştaylar, webinarlar düzenlemeye çalışılmaktadır. Bu eylem planı doğrultusunda tekstil Sektörü; hammadde ve ürün, tedarik zinciri, döngüsel ekonomi, iklim, su ve enerji, kurumsal sosyal sorumluluk ana başlıkları altında birçok alt çalışma birimi oluşturulmuş sektörün devamlılığına yönelik çalışmaların hızlandırılmasına odaklanılmıştır. Örneğin; "Organik Türk Pamuğu" Sertifikasının uluslararası akreditasyonunun sağlanması, doğa dostu elyaf üretimi bilincinin artırılması, Sürdürülebilir hammadde girişimlerinin ve AR-GE çalışmalarının teşvik edilmesi (Organik üretim, vegan elyaf, kenevir, bambu, bitkisel atıklarından elyaf üretimi vb. Dijital Ürün Pasaportu ile nesnelere interneti (IoT) ve Blockchain teknolojisinin yaygınlaştırılması (Ürünün QR kod ile tüm tedarik zincirine bilgi sağlayan teknolojiler), (Tedarik zinciri haritalama, scorecard vb.), (Yeniden Kullanım, İleri Dönüşüm vb.). Sıfır Atık, Tekstil Geri dönüşüm Merkezi Projesi, bilimsel karbon ayak izi ölçüm ve raporlaması,

karbon emisyonu azaltmaya yönelik araştırmalar, Avrupa Yeşil Mutabakatı "Karbon Nötr" amacı ile dijital teknolojilerin üretim, pazarlama ve satış süreçlerine entegre edilmesi (ERP vb. sistemlerle verimlilik arttırıcı otomasyon sistemleri, digital showroom vb. Boyahane ve diğer işletmelerde dünya genelinde uygulanan çalışmaların ve projelerin takibi ve bu alanlarda su ve enerji tüketiminin azaltılması, Enerji verimliliği ve Yenilenebilir Enerjiye geçiş projeleri için finansman ve destek için kamu ve Avrupa Birliği ile işbirlikleri (Güneş enerjisi, IREC - Uluslararası Yeşil Enerji Sertifikası belgeli enerji kullanımı vb.), Endüstriyel Atıksu Geri Kazanımı (ZLD) sistemlerinin yaygın hale getirilmesi, (ZLD: Atık suları arıtıp yeniden kullanmak ve kalan atıkların da tekrar değerlendirilmesini sağlayan, böylece suyun kapalı bir sistem içerisinde devamlı olarak kullanımını sağlayan uygulama.) Tehlikeli Atıkların Sıfır Deşarjı (ZDHC) için destek sağlama (ZDHC: Endüstriyel atık suyun arıtılmasından sonra ortaya çıkan deşarj suyu ve arıtma çamuru için yapılan testler.) Tekstil sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği risklerinin ortadan kaldırılması ve iş kazalarının önlenmesi, Tekstil işletmelerinde kadın çalışan istihdamının arttırılmasına yönelik projelerin geliştirilmesi gibi son derece kapsamlı çalışmalar yürütülmesi planlanmaktadır. [21].

### **III. YÖNTEM**

Araştırma, tarama modelinde betimsel bir araştırmadır. Betimsel yöntem içerisinde yer alan tarama modelleri; Birçok elemandan oluşan evren hakkında genel bir kanıya varmak üzere, evrenin tüm üyeleri ya da içinden farklı yollarla seçilecek örneklem üzerinden yapılan tarama şekilleridir [22], [23].

Düzce Ticaret ve Sanayi odasından elde edilen 2022 yılı Mayıs ayı sicil kayıtlarına göre, 7. Meslek grubuna bağlı 87 imalat yapan işletmeden rastgele örnekleme yoluyla seçilen üretici 25 işletmeye yarı yapılandırılmış görüşme formu uygulanmıştır. Yapılandırılmış görüşme tekniğine göre daha esnek olan yarı yapılandırılmış görüşme formunda saptanmak istenen konuya uygun olarak sorular oluşurularak form hazırlanır. Bununla birlikte araştırmacı görüşmenin akışına göre yan ve alt sorulara yönelterek kişinin cevaplarını daha detaylandırmasını sağlayabilir [24]. Yarı yapılandırılmış görüşme formu, firmaları tanımlayıcı 6 soru ile Sürdürülebilirlik kapsamında; Ar-Ge, Tasarım, Markalaşma, Eğitim, Sendika, Sektörün Sorunları ve Sorunlara Yönelik Çözüm Önerileri ana başlıkları altında toplan 20 sorudan oluşmaktadır.

Çalışma grubu olarak belirlenen bu 25 firmanın yöneticileri ile yüz yüze görüşmeler yapılarak yarı yapılandırılmış görüşme sorularının cevaplandırılması sağlanmıştır. Görüşmeler sadece üst düzey yöneticiler veya firma sahipleriyle 2022 yılında gerçekeştirilmiştir. Literatür araştırması ve elde edilen veriler ışığında Düzce İlinde Tekstil Sektörünün sürdürülebilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

#### **A. ARAşTIRMAYA DÁHİL EDİLEN FİRMALARA İLİşKİN VERİLER**

Araştırma kapsamına dahil edilen 25 tekstil/hazır giyim firmasının sahibi/yöneticisiyle görüşülmüştür.

Araştırma dahilindeki firmaların Düzce ili tekstil sektöründe faaliyet sürelerine bakıldığında; %24'ünün 1-5 yıl, %24'ü 6-10 yıl, %24'ü 11-15 yıl, %28'nin ise 16 yıl ve fazlası olduğu saptanmıştır. Araştırma kapsamındaki firmaların %73 ihracat yapmakta olduğunu, %27'si ihracat yapmadığını belirtmiştir. Araştırmaya dahil edilen işletmelerin %52'si bu sektörde 11 yıl ve üstü süredir var oldukları ve çoğunun ihracat yapan üretici işletmeler olduğu belirlenmiştir.

Araştırmaya dahil edilen; büyük, orta ve küçük ölçekli işletmelerdeki toplam çalışan sayısı 5908 kişidir. Düzce ilinde kayıtlı olarak faaliyet gösteren firmalar da çalışan sayısına oranlandığında çalışanların %55'ine ulaşıldığı söylenebilir.

Araştırma kapsamındaki işletmelerin %80'inde Kalite Yönetim Sistemi olmasına karşın % 20'sinde bulunmamaktadır. Kalite yönetim sistemi bulunan işletmelerin kurumsal ve büyük ölçekli, gelişmeye açık işletmeler olduğu belirlenmiştir.

## **IV. BULGULAR**

### **A. DÜZCE TEKSTİL SANAYİNİN MEVCUT DURUMU**

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yatırım ve Teşvik Sistemi (2022) Bölgesel Teşvik uygulamaları ile iller arasındaki gelişmişlik farkını azaltmak ve illerin üretim ve ihracat seviyelerini arttırmak hedeflemektedir. İllerin gelişmişlik düzeylerine göre destek oranları değişmektedir. Desteklenecek sektörler, illerin gelişim potansiyelleri ve ekonomik büyüklükleri dikkate alınarak belirlenmiş, iller, SEGE 2017 (Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları) esas alınarak 6 bölgeye ayrılmıştır.

Bölgesel Teşvik Uygulamalarında; iller bazında saptanan sektörlerin, asgari kapasite veya tutarları sağlamaları halinde yararlanacakları destekler; KDV İstisnası, Gümrük Vergisi Muafiyeti, Vergi İndirimi, Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği, Faiz veya Kâr Payı Desteği (3.,4.,5. ve 6. Bölgelerde), Yatırım Yeri Tahsisi, Sigorta Primi Desteği (6. Bölgede). Genel Teşvik Uygulamaları kapsamında da bölge ayrımı yapılmadan; KDV İstisnası, Gümrük Vergisi Muafiyeti uygulanmaktadır. Ayrıca Alt Bölge Destekleri kapsamında; “Yatırım OSB/EB’de yapılır veya aynı sektörde yer alan en az beş gerçek veya tüzel kişinin ortağı olduğu yatırımcı tarafından koordinasyon sağlanan bir yatırım olması durumunda, yatırımcılar vergi indirimi ve sigorta primi işveren hissesi desteği açısından bir alt bölgede sağlanan oran ve sürelerde bu desteklerden yararlanabilmektedir. OECD teknoloji yoğunluk tanımına göre orta yüksek teknolojili sanayi sınıfında yer alan ürünlere yönelik yatırımlar, İstanbul dışında 1, 2 ve 3’üncü bölgelerde gerçekleştirilmeleri durumunda 4’üncü bölgede uygulanan bölgesel desteklerden yararlanabilmektedir” [6].

21/08/2020’de yapılan 01/01/2021 tarihinde yürürlüğe giren değişiklik ile Bölgesel teşvik uygulamaları kapsamında, “1, 2, 3 ve 4’üncü bölge illeri ve ilçelerinde gerçekleştirilecek yatırımlar ilçenin bulunduğu ilin bir alt bölgesine sağlanan bölgesel desteklerden; söz konusu ilçelerin organize sanayi veya endüstri bölgelerinde gerçekleştirilecek yatırımlar ise bulunduğu ilin iki alt bölgesine sağlanan bölgesel desteklerden yararlanır” şeklindedir [6].

Tüm bu veriler ışığında; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bölgesel Teşvik Uygulamaları kapsamında Düzce İli Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik seviyesi araştırmalarına (SEGE 2017) göre 3. Bölgede yer almaktadır. Düzce İlinde Organize Sanayi Bölgelerinde yer alan İşletmeler ise 4. Bölge kapsamında değerlendirilmektedir. Ayrıca İlçeler bazında, 5 ilçesi 4. Bölge, 3 ilçesi 3. Bölge teşviklerden yararlanabilmektedir. Alt Bölge Desteğinden 4. Bölge olarak yararlanabilecek Düzce ili ilçeleri; Çilimli, Kaynaşlı, Cumayeri, Gölyaka, Yığılca’dır.

Düzce İlinde Mayıs 2022 itibariyle, Düzce Ticaret Sanayi Odası Sistemine kayıtlı olan ve bir fiil çalışan 87 Tekstil ve Hazır Giyim işletmesi bulunmakta ve bu işletmelerde ortalama 11 bin kişi istihdam edilmektedir.

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği’nin 2021 yılı verileri incelendiğinde Düzce İlinde en çok kodlanan 5 faaliyet alanı içerisinde birinci sırayı, 42 kapasite raporu ile iç giyim eşyası imalatı almaktadır.

*Tablo 1. İllere Göre En Çok Kodlanan 5 Faaliyet (Düzce İli)*

Sıra	Kodu	Açıklama	Kapasite Rapor Sayısı
1	14.14	İç giyim eşyası üretimi	42
2	16.10	Ağaçların biçilmesi ve planlanması	38
3	14.13	Diğer dış giyim eşyaları üretimi	28
4	13.99	Başka yerde sınıflandırılmamış diğer tekstillerin üretimi	27
5	16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel üretimi	20

*Kaynak: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Sanayi Veri tabanı (2021) [25]*



Tablo 1 incelendiğinde illere göre kapasite rapor sayısına göre Düzce ilinden kodlanan ilk 5 ürün içerisinde 1. 3. ve 4. ürün tekstil ve hazır giyim sektöründendir.

**Tablo 2. İllere Göre Kodlanan İlk 5 Ürün (Düzce İli)**

Sıra	Kodu	Açıklama	Kapasite Rapor sayısı
1	14.14.30.00.01	Tişört, fanila, atlet vs. giyim eşyası; pamuktan (örgü (triko) veya tığ işi (kroşe))	32
2	16.10.10.50.00	Keresteler, testere ile kesilmiş /uzunlamasına yontulmuş, dilimlenmiş/soyulmuş, kalınlığı > 6 mm)	29
3	13.99.11.50.10	Danteller, makine yapımı (parça, şerit veya motif şeklinde)	12
4	14.31.10.33.00	Külotlu çoraplar ve tayt çoraplar, örgü (triko) veya tığ işi (kroşe) sentetik elyaftan yapılmış (tek kat iplik başına 67 dtex küçük ol.)	12
5	31.09.13.00.00	Diğer ahşap mobilyalar (yatak odası, yemek odası, oturma odası, mutfak, büro, tıbbi vb.)	11

**Kaynak:** Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Sanayi Veri tabanı (2021)[25]

Tablo 2 incelendiğinde illere göre Düzce ilinde kodlanan ilk 5 üründen 1. Örme veya triko giyim eşyası yada kroşet, 3. Dantel ve şeritler, 4. Külotlu çoraplar ve tayt çoraplar gibi örgü ürünler olduğu görülmektedir.

## B. DÜZCE TEKSTİL SANAYİNİN İTHALAT VE İHRACAT İSTATİSTİKLERİ

**Tablo 3. Düzce İli Tekstil Ürünleri, Giyim Eşyası ve Deri Ürünleri 2013-2021 İthalat Verileri**

İTHALAT	Tekstil Ürünlerinin İmalatı		Giyim Eşyalarının İmalatı		Deri İle İlgili Ürünlerin İmalatı	
	Kg	Dolar	Kg	Dolar	Kg	Dolar
2013	36.106	117.689	637	4.338	22.433	530.474
2014	105.398	786.691	561	7.104	39.878	449.827
2015	103.661	692.369	593	26.170	15.829	335.136
2016	14.101	361.884	2.813	4.140	17.884	358.283
2017	10.995	271.926	315	113.741	22.383	449.277
2018	227.432	1.145.745	1.065	31.309	13.751	308.486
2019	172.056	1.900.189	448	20.962	10.099	196.154
2020	138.801	1.527.462	2.951	31.193	10.146	211.559
2021	857.915	5.597.703	485	14.795	8.589	235.186

**Kaynak:** Türkiye İstatistik Kurumu (2022)[26]

Tablo 3’de Düzce ili tekstil ürünleri, giyim eşyası ve deri ürünleri ile ilgili 2013-2021 ithalat verileri incelendiğinde tekstil ürünlerinin imalatında artış, giyim eşyalarının ve deri ile ilgili ürünlerin imalatında ise azalma yönünde dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Genel olarak pandemi süreci olarak sayabileceğimiz 2020 yılı için azalma yaşandığı söylenebilir.

**Tablo 4.** Düzce İli Tekstil Ürünleri, Giyim Eşyası ve Deri Ürünleri 2013-2021 İhracat Verileri

İHRACAT	Tekstil Ürünlerinin İmalatı		Giyim Eşyalarının İmalatı		Deri İle İlgili Ürünlerin İmalatı	
	Kg	Dolar	Kg	Dolar	Kg	Dolar
2013	82.919	795.970	25.976	390.778	2.083	25.948
2014	49.886	647.506	44.355	1.426.409	5.143	40.657
2015	45.227	447.770	119.058	4.481.806	1.059	19.071
2016	189.166	1.347.701	173.002	6.555.640	239	6.018
2017	194.227	1.354.725	285.056	10.453.324	434	2.079
2018	370.899	1.994.566	269.292	11.189.912	516	7.828
2019	283.135	1.374.503	548.818	17.983.692	1.633	15.441
2020	435.872	2.082.972	1.250.946	31.503.973	5.139	32.937
2021	434.480	2.389.504	2.104.045	46.610.016	13.512	74.321

**Kaynak:** Türkiye İstatistik Kurumu (2022) [26]

Tablo 4 'de Düzce İli Tekstil Ürünleri, Giyim Eşyası ve Deri Ürünleri ile ilgili 2013-2021 İhracat Verileri incelendiğinde Tekstil ürünlerinin imalatında ve giyim eşyalarının imalatında dolar bazında artış olduğu deri ile ilgili ürünlerin imalatında 2016, 2017 ve 2018 yıllarında düşüş olduğu sonrasında yine ise artış yaşandığı gözlenmektedir. Düzce ilinde Tekstil, giyim ve deri imalatı ile ilgili olarak ihracatın salgından etkilenmediği tabloda açıkça görülmektedir.

Düzce ili özelinde ihracat ve ithalat verileri 2021 yılı temel alınarak karşılaştırıldığında tekstil ürünlerinin ve deri ile ilgili ürünlerin imalatında ithalat rakamlarının ihracat rakamlarından fazla olduğu, giyim eşyaları imalatında ise ihracatın, ithalattan açık ara fazla olduğu belirlenmiştir.

## C. DÜZCE İLİNDE FAALİYET GÖSTEREN FİRMALARA İLİŞKİN VERİLER

Gelişmekte olan ülkelerde lokomotif sektör olarak görülen Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü Türkiye ve Düzce'de de uzun yıllardır varlığını sürdürmektedir.

Düzce ilinde faaliyet gösteren tüm tekstil firmaları incelenmiş, faaliyet alanlarına göre firma sayıları ile çalışan sayıları Tablo 5. verilmiştir.

**Tablo 5.** Düzce İlinde Faaliyet Gösteren Tekstil Firmaları

İŞLETME FAALİYET ALANI	Firma Sayısı	Çalışan Sayısı
Geri Dönüşüm (Elyaf Üretimi ve İplik Üretimi)	3	591
İplik üretimi	2	207
Dokuma kumaş üretimi	1	16
Örme kumaş (Triko) üretimi ve konfeksiyon	2	403
Konfeksiyon (Örme Hazır giyim)	17	2446
Konfeksiyon (Dokuma Hazır giyim)	8	1155
Konfeksiyon (Örme-Dokuma Hazır giyim)	14	2887
Konfeksiyon (İç giyim)	5	392
Deri- Konfeksiyon Üretimi	1	501
Çorap Üretimi	1	880
Halı Üretimi	2	385
Tül, Brode, Dantel ve Fisto	25	688
Boyama-Yıkama Terbiye İşlemleri	1	34

Terbiye İşlemleri (apreleme) Eskitme, Zımparalama	2	35
Nonwoven, kaplama ve suni deri	1	91
Elbise Kılıfı	1	54
Temizlik Bezleri ve Paspas Üretimi	1	51
<b>TOPLAM</b>	<b>87</b>	<b>10816</b>

**Kaynak:** *Düzce Ticaret ve Sanayi Odası Sanayi (2022) [27]*

Tablo 5.'e bakıldığında özellikle Hazır Giyim/Konfeksiyon firmaları ile Tül, Brode, Dantel üretimi yapan firmaların ağırlıkta olduğu, çalışan sayısında yine Hazır Giyim/Konfeksiyon firmalarının önde olduğu görülmektedir.

### **C.1. Sürdürülebilirlik**

Sürdürülebilirlik kapsamında işletmelerin % 80'i çeşitli çalışmalar yaparken, %20'sinin yapmadığı saptanmıştır. Bu konuda çalışmaları olan firmaların tamamı kurumsal yapıya sahip, büyük ölçekli, Dünyaca tanınan büyük markalarla ihracat yapan firmalardır. Firmaların bu büyük markalar ile çalışmayı sürdürebilmek adına, müşterileri tarafından istenen tüm sertifika ve belgelendirmeleri almakla yükümlü oldukları bilinmektedir. Örneğin; Higg Index, organik üretim sertifikası, ekotex vb. Sürdürülebilirlikle ilgili yaptıkları çalışmalar incelendiğinde büyük kısmının çevre belgelendirme sistemine sahip oldukları, geri dönüşüm firmaları ile çalıştıkları, sıkı atık politikası ile çevre dostu ekolojik üretim (Organik ve geri dönüşüm odaklı üretim), yenilenebilir enerji kullanımına yönelindikleri, bazı atıklarını, enerji ve buhar üretiminde kullandıkları, geri dönüştürülemeyecek atıkları ise çimento fabrikaları veya enerji biyokütle santrallerine göndererek sanayi tipi atıklar konusunda mevzuatı uyguladıkları belirlenmiştir.

Firmaların %30'u önümüzdeki 3-4 yıl içinde enerji (elektrik, doğalgaz ve su tüketimini) azaltıcı çalışmalar ve verimlilik artışı ile pazardaki payını yükseltmek istemektedir. Tamamen ekolojik olacak olan yeşil bina için planlı çalışmalar yürütülmektedir. Hâlihazırdaki fabrikalarında ve bundan sonra kurulacak fabrikalarda ısıtma ve elektrikte güneş enerji sistemleri ile enerjiyi kendileri üreterek, enerji tüketimi az cihaz kullanımı ile verimlilik artışı ayrıca yağmur suyu biriktirme depoları ile ilgili çalışmalar planlanmaktadır.

Tekstilde ileri ve geri dönüşüm, malzemelerin ömrünü uzatırken, üretim sırasında çıkan atıkların da yeniden üretime dâhil edilmesiyle hammadde tüketimini azaltmakta ve atık maliyetlerinden korunmada önemli bir rol oynamaktadır [28]. Düzce ilinde faaliyet gösteren firmalar arasında kuruluş amacı tamamen geri dönüşüm olan, kumaş atıkları ile PET şişelerden elyaf ve iplik üreten Dünyada sayılı firmalardan biri bulunmaktadır. Görüşme yapılan firmaların önümüzdeki 5-10 yıl içinde eğilimleri incelendiğinde; Teknolojik gelişme %20, kalite yükseltimi %18.5, yeni pazarlar % 17.1, kapasite yükseltimi % 14.2, ürün geliştirme %14.2, yeni bir sektöre geçme %8.6, maliyeti düşürme %1.4, markalaşma %1.4, daha nitelikli markalar ile çalışma %1.4, istihdamı artırma %1.4, çalışanların niteliğini artırma %1.4 gibi amaçları olduğu belirlenmiştir.

#### **C1.1.Ar-Ge / Ür-Ge ve Proje**

Araştırma dahilindeki firmaların %32'sinde AR-GE departmanı var olması karşın % 68'inde bulunmamaktadır. AR-GE departmanı bulunmayan firmaların %70'i kurmayı da düşünmediklerini dile getirmişlerdir. İşletmelerde yapılan AR-GE çalışmalarının amaçları incelendiğinde; ilk olarak üretim maliyetlerini düşürmek (n=9), standartlara ve mevzuata uygun üretim yapmak (n=7), enerji tüketimini azaltmak (n=7), ihracatı arttırmak (n=7), yeni ürünler geliştirmek ve yeni pazarlara girmek (n=6), üretim teknolojilerini ve ürünleri geliştirmek ( n=5), AB projeleri, DPT, TÜBİTAK, Sanayi Bakanlığı vb. desteklerden yararlanmak (n=3), kalite hedeflerini tutturmak (n=1), ve verimliliği arttırmak (n=1) olduğu belirlenmiştir.

İşletmelerin %40'ının bünyesinde ÜR-GE birimi var olmasına karşın % 60'ın da bulunmamaktadır. ÜR-GE birimi olmayan firmaların %75'i ÜR-GE departmanı kurmayı da düşünmediklerini dile getirmişlerdir. Ayrıca firmaların %50'si Kosgeb, Tübitak, AB Projeleri vb. desteklerden yararlanmalarına rağmen, % 64'ünün Kosgeb, Sanayi Bakanlığı, Tübitak, AB Projeleri vb. destekler konusunda yeteri kadar bilgi sahibi olmadıkları belirlenmiştir.

### **C.1.2. Tasarım ve Markalaşma**

İşletmenizde tasarım departmanınız var mı sorusuna yöneticilerin %60'ı 'Evet' cevabı verirken %40'ı 'Hayır' cevabı vermiştir. Tasarım departmanı olan firmalardaki tasarım çalışanları ile ilgili bilgilere başvurulduğunda; firmaların büyük kısmında tasarım departmanlarının Merkez ofislerde (İstanbul) bulunduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte işletmenizin kendine ait markası var mıdır? Sorusuna verilen cevaplara bakıldığında tasarım departmanları olanların kendi markalarının da olduğu saptanmıştır. Tasarım departmanı ve markası olmayan firmaların %40 markalaşmayı düşündüklerini ve çalışmalarına başladıklarını dile getirmişlerdir.

Düzce ilinde faaliyet gösteren işletmelerin %73'ü büyük ve önemli markalar için üretim yapan ihracatçı konumundadırlar. Bu durum tekstil sektörünün Düzce ili içinde önemli lokomotif sektörlerden biri olduğunun göstergesidir. Bu durumun ne kadar devam edeceği kestirilememekte, bu sebeple firmaların başka markalar için üretimleri devam ederken bir yandan da tasarım ve markalaşma çalışmalarına yönelmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

### **C.1.3. Eğitim**

Araştırma kapsamındaki işletmelerin %90'ının çalışanlarına eğitim verdiği yada verdirmekte olduğu belirlenmiştir. Firmaların %90'ı çalışanı; işe ilk girdiğinde işletme hakkında bilgilendirildikten sonra, işyeri davranış eğitimi, fabrika içi ve dışı kuralları eğitimi, işçi sağlığı ve güvenliği vb. bir çok eğitim vermekte, sonrasında çalışma deneyimine göre mesleki anlamda iş başında eğitimlerden geçirmektedir. Bu eğitimlerin ortalama her yıl her çalışan için tekrarlanmakta olduğu belirlenmiştir. Bunların dışında; İşçi sağlığı ve iş güvenliği, yangın söndürme, acil müdahale, ilk yardım, iletişim eğitimi, bilgi güvenliği eğitimi, toplumsal cinsiyet eşitliği eğitimi, bağımlılık ile ilgili eğitimler, rüşvet önleme politikası eğitimi, kadın hakları eğitimi, kadın istihdamı ve kadın liderliği eğitimi, AÇEV, kalite eğitimi, müşteri bazlı kalite eğitimleri, çevre eğitimi, yalın üretim, sürdürülebilirlik ve sertifikalandırma ile ilgili eğitimler; GOTS, OCS, RCS, GRS vb. Çoğunluğu iş başı eğitimleri olmak üzere mesleki eğitimler (kesim, dikiş, ayakçılık eğitimi, yarma, traş, boyama, yapıştırma, iplik, iğne, kumaş, singer, overlok, reçme, punteriz, ürün güvenliği, küçük makas ve işaret iğnesi prosedürü, cam sert plastik kullanımı eğitimi, kırık iğne prosedürü) gibi bir çok farklı eğitimin verilmekte olduğu saptanmıştır. Tüm bu eğitimlerin yanısıra belli aralıklarla koordinasyon ve motivasyon toplantılarının yapılmakta olduğu belirlenmiştir.

### **C.1. 4. Sendika**

Araştırma kapsamındaki işletmelerin % 68'inin bünyesinde sendikali çalışan olmamasına karşın, %32'sin de bulunmaktadır. İşletmelerin sendikaya bakışları değerlendirildiğinde % 44'ünün pek olumlu bakmadığı, %37, 5'unun olumlu ve %19'unun çekimser kaldığı belirlenmiştir. Bu durumun belirleyicisi olarak; sendikali çalışanları olsun olmasın işletmelerin büyük çoğunluğu, çalışanlarının haklarını savunduklarını, gerçekten çalışanın hak ve çıkarlarını gözeten sendikalar ile paydaş olduklarını ve aynı amaç doğrultusunda çalıştıklarını bunun dışındaki sendikalara çokta sıcak bakmadıklarını dile getirmişlerdir.

Sürdürülebilirlik en genel anlamıyla var olan bir işletme, durum ve varlıkların devamlılığının sağlanabilmesi olarak tanımlanmaktadır. Düzce ilinde tekstil sektörünün devamlılığının sağlanabilmesi için sorunları da incelenmiş, bu sorunlar ve sorunlara uygun çözüm önerileri maddeler halinde verilmiştir.

## D. DÜZCE İLİNDE TEKSTİL SEKTÖRÜNÜN SORUNLARI

Düzce ili tekstil sektörünün sorunları arasında en çok dile getirilenin çalışan sorunu olduğu belirlenmiştir;

İşletmelerin % 80'i çalışacak eleman bulmada zorluk yaşamaktadır. Çalıştırılacak pozisyon olarak ele alındığında; %54 işçi, %19 tekniker/teknisyen, %11 mühendis, %11 idari personel, %5 tasarımcı bulmada zorluk yaşandığı saptanmıştır. Özellikle işçi açısından, gerçekten çalışmak isteyen, nitelikli, deneyimli (kalifiye) dikim operatörü diğer bir deyişle makineci, overlokçu, reçmeci, punterizci ve kesimci konusunda sıkıntı yaşandığı, idari personel için ise İngilizce bilen idarecilere ihtiyaç olduğu bu konuda ciddi sıkıntılar yaşandığı belirlenmiştir.

İşletmelerde çalışanlar ile ilgili karşılaşılan sorunların başında %23 ile devamsızlık, %22 iş ahlakının olmayışı, %20 aidiyet hissetmeme, % 15 niteliksizlik, %13 iletişimsizlik, %1,7 öğrenmeye kapalı olma, %1,7 iş çok burası olmasa başka yerde çalışırız özgüveni, %1,7 sorumsuzluk, kayıtsızlık, geçimsizlik, dedikodu, %1,7 cahilce bir özgüven, %1,7 fındık (ekstra bir gelir kapısı olmasının disiplinli çalışmayı engellemesi) gelmektedir. Devamsızlık konusu incelendiğinde, keyfi işe gelmeme, özellikle yazın fındık toplama, kış hazırlıkları (ekmek günü, salça günü, yufka açma), düğün, cenaze vb. için işe gelmedikleri ve bu durumu sorun olarak görmedikleri belirlenmiştir.

Sadece bu bölgeye özgü olmamakla birlikte, çalışan ve çalışmayan bireylerde çalışma kültürünün oluşmamış olması önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Bu sorunun altında tarım kültüründen sanayi kültürüne tam anlamıyla geçilememesi ve çalışanların tarımdan elde ettikleri gelirlerini güvence olarak görmeleri yatmaktadır. Bununla birlikte çalışanların çalışmayı farklı şekilde algılamaları, çalışmayı bir ihtiyaç yâda gereklilik olarak görmemeleri örneğin; iş ortamını sosyalleşme aracı olarak kullanmaları, işi hobby olarak görmeleri, cep telefonu veya bilezik almak, borç ödemek vb. sebeplerle işe girip gereken parayı elde ettikten hemen sonra çıkmaları gibi. Tüm bu örneklerden ortaya çıkan durum ise insanların çalışmayı yaşam felsefesi olarak benimsememiş olmaları, işin amaç değil araç olarak görüldüğüdür. Tüm bunların yanında bölge halkının asgari ücreti az, çalışma saatlerini çok bulmaları dolayısıyla tekstil sektörünü tercih etmemeleri, emek yoğun bir sektör olan tekstil sektörü yerine cafe yâda mağazalarda çalışmanın daha cazip gelmesi, Düzce ilinin hızlı bir gelişim göstermesi dolayısıyla işsizlik oranlarının azalması sonucu sektörde çalıştıracak eleman sıkıntısı yaşanmaktadır. Çalışan elemanlar ile ilgili olarak; birçok firma özellikle kadın çalıştırmak istediklerini, Düzce ilinde erkeklerin çalışmayı sevmediklerini dile getirmişlerdir. Ayrıca; "Dikiş makinesini "ALLAH" kadınlar için yaratmış, kadınlar ince motor hareketler ile son derece hassas ve kaliteli işler çıkartıyorlar" şeklinde geri bildirim alınmıştır.

Bölgenin birçok farklı sektörde çokça ve kontrolsüz yatırım alması dolayısıyla çalıştıracak eleman bulmakta zorluk çekilmesi, nitelikli beyaz yaka çalışanın yetersiz olması ve nitelikli çalışanların çalışmak için Düzce ilini tercih etmemesi ayrıca firma sayısının fazla olması nedeni ile mavi yaka sadakati düşük seviyede olması gibi sebeplerle bazı firmalar çalışanlarının bir kısmını başka illerden getirttiklerini belirtmişlerdir.

Çalışanların yasal ve yasal olmayan yollarla çıkar sağlamaya çalışarak işletmeleri sıkıntıya sokmaları örneğin hasta olmadıkları halde çok kolay şekilde sağlık raporu alabilmeleri sorunlardan biridir. Devletten haksız yere alınan raporun maliyeti yine devletin kasasından çıkmakta, hem devlete hem işverene maddi külfet olarak geri dönmektedir. Bunun yanında üretimde ciddi aksamalara sebep olmaktadır.

Sendikalar, çalışanların her türlü hak ve çıkarlarını korumak, sorunlarını çözmek amacı ile kurulmuş birimlerdir. Türkiye' de büyük bir kesim bazı sendikaların amacına hizmet etmediğini düşünmekte, sendika olmadan da çalışanlarının haklarını vermekte olduklarını belirtmektedir. Çalışan açısından ele alındığında; sendikaya üye olan işçi, işverene karşı dokunulmazlık kazandığını zannetmekte, iş hukukunu sadece karşı tarafın uyması gereken yükümlülükler olarak görmekte, kendi yükümlülüklerini

öğrenmekten ve yerine getirmekten kaçınılmaktadır. Bu durum sendikaların çalışanlar tarafından araç olarak kullanılmakta olduğu fikrini doğurmaktadır. Bu açıdan sanayicilerin değindikleri diğer önemli bir nokta da çalışanların haklarını savunurken işverenin haklarının da göz ardı edilmemesidir.

Bazı yöneticiler; Düzce de tekstil üretimi vb. farklı alanlarda üretim yapmanın çevresel faktörler, verimli topraklar ve İSKİ'den dolayı, içme suyu havzasında tekstil üretiminin yapılmasının çok doğru bir yaklaşım olduğunu düşünmemektedir.

Düzgün bir kanalizasyon altyapısının olmaması, atık su deşarj ünitelerinin yaygın olmaması, sistemli bir alt yapının olmaması, var olan alt yapı problemleri ve sürekli elektrik kesintileri üretimi olumsuz yönde etkilemektedir.

Türkiye de brode üretiminin en yüksek olduğu 3. il olmasına rağmen Düzce'de pazarlama ve satış faaliyetlerinin gerçekleştirilebileceği ortak bir mecranın bulunmaması da önemli sorunlar arasındadır.

Sadece parası olup tekstil sektörüne giren insanların firma sahibi olması ve piyasayı bozması, kurumsal olmayan kısa süreli açılıp kapanan firmaların diğer firmalar hakkında olumsuz bir önyargı oluşturmaktadır. Başka illerde merdiven altı olarak tabir edilen kayıt dışı işletmelerin vergisiz, sigortasız şekilde çalışmaları ve vergilerini ödeyen firmalara göre daha çok üretim yaparak haksız kazanç elde etmeleri, Düzcenin büyüüp gelişmesiyle birlikte işçilik masraflarının ve üretim maliyetlerin artması sonucu bu tarz firmalarla rekabet edilememektedir.

İl organize sanayi bölgelerinde kira bedelleri çok yüksek olmakla, bazı ilçelerde organize sanayi bölgeleri bulunmamaktadır. Ayrıca işletmelerin personellerine kreş desteği verememeleri de sorunlardan biridir.

## **E. DÜZCE İLİNDE TEKSTİL SEKTÖRÜNÜN SORUNLARINA YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Araştırmaya dahil edilen firma yöneticilerinin, Düzce ilinde tekstil sektörünün sorunlarına yönelik çözüm önerileri maddeler halinde verilmiştir:

Meslek liselerinin müfredatlarının paydaşlarla birlikte yeniden yapılandırılması sağlanmalı, sayıları artırılmalı ve Eğitim-sanayi işbirlikleri geliştirilmelidir. Öğrencilerin bu mesleklere özendirilmesi sağlanmalıdır. Meslek okulları özellikle tekstil ve diğer bölümlerden meslek liselerinden mesleği bilen ve isteyen öğrencilerin işletmelere gelmesi sağlanmalıdır. Ekti (2017) raporunda belirttiği gibi; üniversite sanayi işbirliği artırılmalı, sektör kümelenmelerini sağlamak için tekstil ve hazır giyim üniversiteleri açılmalıdır [2].

Mevcut sistemde mesleki yeterliliği olmayanlara mesleğe en az 10-15 yılını adanmış kalfalık ve ustalık belgesi olan ustalar tarafından mesleki kursların verilmesi sağlanmalıdır.

İş tecrübesi olmayan, ya da az olan çalışanlar için yada daha nitelikli elemanlar yetiştirmek için; mesleki eğitim, iş başında uygulamalı eğitim çalışmaları, seminerler ayrıca bilinçlendirme programları yapılmalıdır.

Meslek liselerinde makineci eğitimi bölümleri (düz dikiş makinesi, overlok, reçme, remayöz, brode, tül, dantel, kopanaki, fisto makineleri) açılmalıdır.

Çıraklık eğitim merkezleri ile işletmeler protokoller yaparak iş başında uygulamalı meslek edindirme kursları yapılabilir.

İş ve işçi bulma kurumunun kendi bünyesinde eğitim birimi açılabilir, İşkur üzerinden mesleki eğitimler verilebilir.

Genç kuşağın eğitimini sektörel bazda yaparak okul ve okuldan sonra açılacak kurslarla insanlar firmalara kazandırılabilir. Mesleki eğitim verilen yükseköğretim kurumlarında 3+1 (ön lisan) ve 7+1( lisans ( bir dönemin tamamen işletmelerde geçirildiği) eğitim programlarına geçilerek iş başında eğitim ile istihdam olanakları artırılabilir.

Orta yaş ve üstü bireylerin iş bilgilerini arttırmak için özel kurslar açılarak, mesleki eğitimler verilerek istihdam edilmeleri sağlanabilir.

Çalışan çalışmayan her bireye çalışma kültürü (sanayi kültürü) kazandırmak üzere eğitimler, bilinçlendirme toplantıları, çalışmanın önemine yönelik seminerler düzenlenmelidir. Düzce ilinde çalışma kültürünün 10-15 yıl öncesinden daha iyi olduğu bu kültürün sadece zaman ve eğitimle kazandırılabileceği unutulmamalıdır. Aksi takdirde insanların yerine makineler, otomatlar yerleştirilerek bu sorun ortadan kaldırılabilir.

İller bazında; “sadece çalışacak sayıda ve vasıfta eleman talebine uygun işyerine teşvik verilmelidir. Maalesef ülkemizde sanayi tesisleri organizasyonunda yapılan fizibilite çalışmalarında; çalıştırılacak insan faktörü göz önünde bulundurulmamaktadır. Düzce’de olduğu gibi yetersiz sayıda çalışmaya "elverişli/istekli/ihitiyaç sahibi" işçinin az olduğu yörelerde ister istemez eleman tedariki konusunda sıkıntı yaşamakta, kalifiye olmayan elemana bile kalifiye eleman kadar maddi/manevi kıymet verilmesine yol açmakta, çalışanlar kendilerini vazgeçilmez olduklarına inandırmaktadır. Ayrıca yine Düzce gibi tarım ile bağlantılı insanların çoğunlukta bulunduğu yörelerdeki sanayileşmede, çalışan tarafı ister istemez sorunlu olmakta, çalışanlar ile çalıştıranlar arasındaki iş ilişkilerinde iş hukuku ve çalışma alışkanlıkları yönünden uyum problemleri yaşanmaktadır.”

Devlet olarak; işçi haklarına saygı duyulduğu kadar işveren haklarına saygı duyulmalı ve önem gösterilmelidir. İşsizlik maaşı ile ilgili düzenlemeler yapılmalıdır. Ücretlendirmelerin asgari ücrete göre değil yetkinliğe göre uygulanmalıdır. Ayrıca asgari ücretin yetkinlik kazanma ücreti olarak benimsenmesi, asla aile geçindirecek bir ücret olarak görülmemesi bir gerekliliktir.

Devlet teşvikleri, istihdama ve sürdürülebilirliğe göre ayarlanıp verilmelidir. Devlet teşviklerinin devamlılığı sektörde kalıcılık ve gelişim anlamında bir gerekliliktir. Teşvik; özellikle istihdama yönelik olmalı, SGK primlerinde devlet desteği artırılmalı, enerji maliyetlerin de devlet desteği devam etmelidir.

Düzce ili tekstil komitesinin daha aktif ve daha geniş kapsamlı çalışması sorunların çözümü için yeterli olacaktır. Düzce’ de sanayiciler ve kurumlar arası (Valilik, Belediyeler, TSO, Üniversite) iletişimin artırılması, mesleki bazda panel ve çalıştayların arttırılmasının sağlanmasıyla sorunlar daha net ortaya konulup çözüme kavuşturulabilir. Düzce TSO tarafından 2017 yılında Üniversite işbirliği ile SWOT analizi çalışması yaptırılmıştır [29]. Bu çalışmaların devamlılığının sağlanması beklenmektedir.

Özellikle belediyelerden alt yapı ile ilgili sıkıntıların giderilmesi beklenmektedir. Çevre düzenlemesi ve başı boş köpeklerin kontrol altına alınarak daha nezih ortamların sağlanması istenmektedir.

Tekstil sektörü sürdürülebilirlik eylem planı doğrultusunda, tekstil/hazır giyim işletmelerinde kadın çalışan istihdamının arttırılmasına yönelik projelerin geliştirilmesi kapsamında [21]; çocuk kreşlerinin yaygınlaşması ve kreş saatlerinin özel sektör çalışanlarına uygun hale getirilmesi ve il ve ilçelerde, çalışan ve işveren için kreş konusunda kolaylık sağlanması beklenmektedir. Böylelikle kadın istihdamının arttırılması sağlanabilir.

Belediyelerin sanayicilere, vergilerde daha makul ücretlendirme yapmaları beklenmektedir.

Düzcenin köy ve beldelerde yaşayan çalışmaya müsait insanları (ev hanımları) işe yönlendirme projeleri başlatılmalıdır. Bunun için büyük firmalarla üniversite ve belediyeler arasında protokoller yapılarak projeler gerçekleştirip çalışmaya uygun bireyler sektöre kazandırılabilir.

Sorunların acilen Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına iletilmesi, Kanunların sadece çalışanları değil işverenleri de düşünerek yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

İşsizlik maaşının daha doğru kullanılması için çalışmalar yapılmalı, ayrıca valilik tarafından haksız rapor alımlarının çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

İşletmeler; sendikaları daha verimli ve huzurlu bir çalışma ortamı yaratmak, üretimi arttırarak, maliyetlerinin azaltılmasını sağlamak ve sürdürülebilirlik açısından paydaş olarak görmeliler. Sendika, işçiye kurumsal kimlik ve bağlılık kazandırarak kazan/kazan prensibi ile çalışmalıdır. Sendikalar ve işçi hakları konusunda çalışanlara eğitimler verilmeli, bilinçlenmeleri sağlanmalıdır.

Bazı firmalar kendi bünyelerinde oluşturdukları eğitim bantları sayesinde Meslek liseleri, ön lisans veya lisans mezunlarına eğitim vererek usta öğreticilik belgelerini alma yolunda destekler sağlamaktadır. Bu uygulamanın diğer firmalara öneri olarak sunulması sağlanmalıdır.

Çalışanların devamsızlık yapmalarını engellemek, firmanın çıkarları ile kendi çıkarlarının aynı olduğu gösterebilmek ve onlara aidiyet duygusu kazandırmak üzere her firma kendi içinde eğitimler verebilir ya da farklı çalışmalar yapabilir.

Bazı firmalar istihdamı arttırmaktan ziyade varolan çalışanlarının yetkinliğini ve aidiyet duygusunu arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Örneğin; 360 derece etkinliği ve yönetime isimsiz mektup yazdırma, her gün en az 5 çalışanla görüşerek durum saptama, yetkinlik, devamlılık, üretim performansı vb. konularda prim ödemeleri, hatta haftanın 2 günü ücretsiz psikolog veya çalışanların çocuklarına yönelik pedagoğ hizmeti vb. Bu uygulamaların diğer firmalarda da hayata geçirilebilmesi için çalışmalar başlatılmalıdır.

Birçok firmanın yaptığı gibi; senelik izinlerin, doğru bir planlama ile toplu şekilde fındık mevsimine göre ayarlanması sağlanabilir.

## **V. SONUÇ**

İnsanlık var olduğu sürece devamlılığı olacak iki sektörden biri Tekstil ve Hazır Giyim sektörüdür. Çünkü insanlar varlıklarını sürdürebilmek için öncelikle yemek yemek ikinci olarak giyinmek zorundadırlar.

Türkiye'yi kalkındıran sektörlerin başında; inşaat sektörü ikinci sırada tekstil sektörü yer almaktadır. Tekstil sektörü Düzce ve Türkiye'nin her yerinde istihdam sağlandığı sürece durmayacak bir sektördür.

Araştırmaya dâhil edilen işletmelerin üretim merkezi olarak Düzce ilini seçme nedenleri incelendiğinde; en önemli sebep olarak devlet teşvikleri ve konumu peşi sıra üretim girdileri ve pazar olanaklarına yakın olması gelmektedir. İstanbul ve limanlara yakın olmasının, lojistik anlamında büyük kolaylıklar sağlaması, yerel yönetimlerin sağladığı olanakların yanında, bazı yöneticiler özellikle memleketlerini kalkındırmak üzere fabrikalarını burada açtıklarını dile getirmişlerdir. Düzce ilinin coğrafi konumu; lokasyon olarak İstanbul 'a (ticaret merkezlerine), limanlara ve pazara yakın olması, onu sektörel anlamda lojistik olarakta avantajlı kılmaktadır. Ayrıca Düzce halkı coğrafi bölgeden kaynaklı olarak tekstile yatkın olarak nitelendirilmektedir.

Tekstil sektörü genel olarak emek yoğun bir sektör olduğu için her zaman insan gücüne ihtiyaç duymaktadır ve nüfus artmadığı sürece bu talebe Düzce'nin karşılık vermesi pek olası görünmemektedir. Ayrıca yıllar geçtikçe insanlar daha rahat çalışabilecekleri, daha yüksek gelirler elde edebilecekleri işlere talip olmaktadır bu da ilerleyen yıllarda ilimizde tekstil sektörünün yavaş yavaş azalacağı düşüncesini doğurmaktadır.



Düzce ilinde tekstil/hazır giyim sektörünün en az beş yıl daha gelişerek devam edeceği varsayılmaktadır. Birçok farklı alanda yatırımların olduğu orantısız bir büyümeden söz edilmektedir. Nüfusun artan fabrikalar ile birlikte bunu kaldıramayacağını düşüncesi hâkimdir. Bu öngörü doğrultusunda personel ile çalışmanın sürdürülebilir olmadığı düşünen birçok firma 6-8 kişinin yapacağı işi yapabilecek otomasyon sistemlerine geçme konusunda çalışmalarına hız vermiştir.

Devlet teşviklerinin devam etmemesi durumunda sektörün gerileyebileceği unutulmamalıdır. Sektörün ilerleyebilmesi için özellikle istihdam, enerji maliyetleri ve SGK ile ilgili teşviklerin artırılması ile ilgili istekler göze çarpmaktadır.

Düzce ilinde birçok benzer firma olması sebebiyle bir piyasa oluşmuş olması böylelikle firmaların arasındaki (üretim için) iletişim ve yardımlaşma ile kolaylıkla alt işveren bulunabilmektedir. Bunun yanında doğası ve çevresinin güzelliği ile firmalar müşterilerine organik ürünler sunabilmektedirler.

Bölgemiz halkına; çalışma kültürünün kazandırılması için çalışmalar yapılmalıdır. Çalışan çalışmayan herkese, çalışmanın herhangi birinin boyunduruğu altına girmek olmadığı, çalışmanın, üretmenin insanlığa faydalı olmak anlamına geldiği, çalışarak, üreterek gelecek nesillere ve vatana millete faydalı olunabileceğini sanayi kültürünü henüz benimseyememiş insanlara anlatmak ve bunun önemine varmalarını sağlamak gerekmektedir. İnsanlara bu yönde eğitimler verilmesi büyük bir gerekliliktir.

Dünya ve Türkiye tekstil sektörü sürdürülebilirlik eğilimleri açısından Düzce ili incelendiğinde;

1. Tüketicilerin büyük çoğunluğunun çalışanlarına iyi ve adil davranan markalardan alışveriş yapmayı tercih ettikleri görülmektedir. Düzce ilinde faaliyet gösteren firmaların sürdürülebilirlik kalkınma amaçlarının birçoğu uygulama noktasında çalıştıkları söylenebilir.

2. Dünyaca ünlü bazı markaların konsept mağazalar ile kullanılmış ürünü tamir ederek yeni bir ürün olarak sektöre kazandırma çalışmaları bulunmaktadır. İleri dönüşüm olarak planlanan konsept mağazalar gelecekte tüm markalar tarafından benimsenerek; fabrikalarda tasarım ve teknoloji odaklı moda uyguna ileri dönüşüm departmanlarının kurulması söz konusu olacaktır.

3. Küresel bazda diğer bir gelişme Hazır giyim sektöründe akıllı üretim konusundadır. İşletmeler daha akıllı üretim ve tedarik zinciri için otomasyon, yapay zekâ, 3 boyutlu yazıcı ve robotik yatırımlarına yönelmektedir. Düzce ilinde faaliyet gösteren hazır giyim işletmelerinden biri kendi sektörü için yazılım ve otomasyon sistemleri üretip satmak adına ciddi çalışmalar içindedir. Diğer firmalara örnek olması sağlanmalıdır.

4. Son dönemlerde Türkiye tekstil sektörü ile eğilimleri takip eden ülke konumundan moda eğilimi oluşturan ülke konumuna geçmiştir. Bugün artık Türk tekstil/ hazır giyim sanayicileri yurt dışında tasarlanan teknoloji ve ürünler yerine kendi tasarımlarını üretmeye ve satmaya başlamıştır. Bu kapsamda Düzce ilinde yer alan özellikle hazır giyim firmalarının acilen tasarım ve markalaşma çalışmalarına hız vermesi önem arz etmektedir. Düzce ilinde bu konuda tasarım teşviki alan firmalarda bulunmaktadır.

5. Üretim, pazarlama, lojistik ve ofis içinde dijitalleşme daha fazla artacak sektörde yer alan tüm firmaların rekabette yerlerini alabilmeleri için bu konuda yatırıma yönelmeleri gerekecektir. Bu açıdan Düzce ilinde faaliyet gösteren tekstil hazır giyim firmalarının üniversite ile işbirliği dâhilinde projelere yönelmeleri bir gerekliliktir[30].

Tüm bunların dışında Dünyamızın sürdürülebilirliği açısından ele alındığında son derece sulak ve verimli arazileri ile tarım bölgesi olan Düzce ovasının birçok farklı sektörün yer aldığı fabrikalar ve organize sanayi bölgeleri ile yanlış değerlendirildiği düşüncesi hâkimdir.

Düzce Tekstil/hazır giyim sektörü büyük markalara üretim yapmakta, kaliteli iş ve ürünler çıkartabilmektedir. Ülke ve bölge olarak ürün kalitesinin çok iyi olduğu bilinmektedir. Eğer ciddi eğitim programları ile çalışanların bilgilendirilmesi sağlanır, mesleki eğitim ile kalifiye çalışanlar artırılır,

doğru kişi doğru yerde çalıştırılır, nüfus artışı sağlanır ise Düzce, Denizli gibi veya daha gelişmiş bir tekstil merkezi olabilir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] Tüik, (2023) Düzce İli Nüfus Sayıları (2018-2022), [evrimii]. Erişim: <https://cip.tuik.gov.tr/>
- [2] Uzm. E. Ekti. Tekstil Sektörü Raporu Sektörel Raporlar Serisi V, T.C. Doğu Marmara kalkınma Ajansı Düzce Yatırım Destek Ofisi, Türkiye, Rapor, 08.11.2013.
- [3] Tekstil Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu TR32 Bölgesi (Denizli, Aydın, Muğla). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü, Türkiye, Rapor, 2021
- [4] McKinsey & Company, (2020) Modanın Durumu, [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/tr/our-insights/turkey-is-among-the-fashion-industrys-most-promising-sourcing-points>
- [5] Tekstil Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu TRB1 Bölgesi (Malatya, Elazığ, Bingl, Tunceli) ve TRB2 Bölgesi (Van, Bitlis, Hakkri, Muş). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü, Türkiye, 2021, Ankara. Sayfa 23-27.
- [6] Anonim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yatırım ve Teşvik Uygulamaları Ocak. Ankara., Türkiye: PPT Sunumu (2022). [evrimii]. Erişim: [www.sanayi.gov.tr](http://www.sanayi.gov.tr)
- [7] İhkib Arge, “Hazirgiyim Ve Konfeksiyon Sektörü 2022 Nisan Aylık İhracat Raporu” İhkib Ar-Ge Őubesi,Türkiye, Rapor, 05, 2022.
- [8] İhkib, 2022 Ocak-Mart Hazır giyim Ve Konfeksiyon Sektörü İhracat Performans Değerlendirmesi. İstanbul Hazır Giyim Ve Konfeksiyon İhracatçılar Birliği, Türkiye, Rapor, 2022.
- [9] İthib, 2023 Ocak-Mart Hazirgiyim Ve Konfeksiyon Sektörü İhracat Performans Değerlendirmesi. (2023) [evrimii]. Erişim: <https://www.ihkib.org.tr/fp-icerik/ia/d/2023/05/09/2023-1-hazirgiyim-ve-konfeksiyon-sektoru-ocak-mart-donemsel-bilgi-notu-202305090115510067-54124.pdf>
- [10] N. S. Tunç ve . Ceylan, “Moda ve Tekstilde Sürdürülebilir rn Tasarımı ve TED 10 Stratejilerinin Uygulanması,” STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi , c. 2 s.3, ss. 270-278, 2021. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/stardergisi/issue/66545/1011362>
- [11] P. Bansal and M.R. Des Jardine, “Business sustainability: it is about time,” *Strategic Organization*, Vol 12, no.1,pp. 70–78, 2014.
- [12] R. G. Eccles, I. Ioannou and G. Serafeim, “The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance,” *Management Science*, Vol 60, no. 11,pp. 2835–2857, 2014.
- [13] J. Elkington, *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone, 8. Edition, North Mankato, MN, 1999.
- [14] A. Curteza, “Sustainable Textiles”, Ph D.Technical University of Iasi, Faculty of Textiles–Leather and Industrial Management, Romania, 2012. <https://www.2bfuntex.eu/sites/default/files/materials/Sustainable%20textilesAntonela%20Curteza.pdf>.

- [15] Tjpd. (2020, 5 Mayıs). Sürdürülebilirlik, Thomas Jefferson Sürdürülebilirlik Konseyi, 2015, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tjpd.org/>
- [16] M. Bostrom and M. Micheletti, “Introducing The Sustainability Challenge Of Textiles And Clothing”. Journal of Consumer Policy, vol. 39 no. 4, pp. 367-375, 2016.
- [17] K. Niinimäki, and L. Hassi, “Emerging Design Strategies in Sustainable Production and Consumption of Textiles and Clothing”. Journal of Cleaner Production, vol. 19: pp. 1876-1883, 2011.
- [18] İthib. (2022, 05 Mayıs). Tekstil Sektörünü Sürdürülebilirlik [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.ithib.org.tr/surdurulebilirlik-tekstil-sektoru-etkileri.html>.
- [19] İthib. (2022, 05 Mayıs). Sürdürülebilirlik Misyon ve Vizyon [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.ithib.org.tr/surdurulebilirlik-vizyon-ve-misyon.html>.
- [20] T. Özçuhadar, ve P. Öncel, IV Eko Tasarım, Ankara, Türkiye: Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları, 2011, ss. 5-47
- [21] TİM. (2023, 1 Eylül). Tekstil Sektörü Sürdürülebilirlik Eylem Planı. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ithib.org.tr/files/downloads/Belgeler/2021/Tekstil%20Sekt%C3%B6r%C3%BC%20S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf>
- [22] N. Karasar, Bilimsel Araştırma Yöntemi. Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2006,
- [23] R. J: Frankel, E.N. Wallen and H.H. Hyun, *How To Design And Evaluate Research In Education*. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [24] M. Yalçın, Eğitimde Gözlem ve Değerlendirme, Nobel Yayın Dağıtım, 2006.
- [25] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği. (2021). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Sanayi Veritabanı. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://sanayi.tobb.org.tr/index.php> Mayıs 2021.
- [26] Tüik, (2022) *Düzce İli Tekstil Ürünleri, Giyim Eşyası ve Deri Ürünleri 2013-2021 İhracat-İthalat Verileri*, [Çevrimiçi]. Erişim: [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)
- [27] Düzce Tso (2022). *Düzce İlinde Faaliyet Gösteren Tekstil Firmaları*, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.duzcetso.org.tr/>
- [28] V. Shameek, “Upcycling Of Hospital Textiles Into Fashionable Garments.” Master of Science Thesis. Tampere University Of Technology, Finland, 2015
- [29] F. Dursun ve S. Aktaş Polat, “Düzce İli Sektörel SWOT Analizi, Tekstil Sektörü” *Düzce İli Sektörel Swot Analizi*, Edit. Ayhan ŞAMANDAR, Ali Etem GÜREL, Yavuz OFSET, 2017, ss. 70-85.
- [30] A. Köhler, and et al., Circular economy perspectives in the EU textile sector: final report, No EUR 30734 EN, Joint Research Centre. Publications Office of the European Union, 2021 (<https://data.ropa.eu/doi/10.2760/858144>)



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Avrupa Ülkelerinde Çamur Bertaraf Stratejilerine Etki Eden Faktörler

Ayşe Elif ATEŞ<sup>a</sup>, Sinan ATEŞ<sup>a</sup>, M.İberya AYDIN<sup>b</sup>, Serdar AYDIN<sup>a</sup>, Hüseyin SELÇUK<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Çevre mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Temiz Enerji Araştırma Enstitüsü, Hidrojen Araştırma Merkezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ayseelif.ates@iuc.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1246644

### ÖZ

Bu çalışmada Avrupa ülkelerinde üretilen toplam arıtma çamuru miktarları ve çeşitli faktörlere göre çamur bertaraf stratejilerinin tercih nedenleri araştırılmıştır. Çalışmada Avrupa İstatistik Kurumu ve literatürden alınan veriler seçilirken küresel şartlar göz önünde bulundurulmuştur ve en doğru veri setleri seçilerek değerlendirme yapılmıştır. Avrupa ülkelerinde birincil, ikincil ve üçüncül arıtmadan kaynaklanan arıtma çamuru üretimi kişi başına kuru ağırlık ortalama 42 g/kişi.gün ya da 15,26 kg/kişi.yıl olarak hesaplanmıştır. Arıtma çamuru bertaraf yöntemlerinin maliyetleri, ülkelerin yüzey alanları, milli gelirleri ve enerji ihtiyaçlarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Yüzey alanı düşük olan ve çamur miktarı yüksek olan ülkelerin arıtma çamuru bertaraf yöntemi olarak yakmayı tercih ettikleri görülmesine rağmen bertaraf seçiminde ülkenin milli geliri ve enerji ihtiyacının da yöntem seçiminde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma bütünüyle incelendiğinde arıtma çamurunun bertaraf yöntemi seçiminde faktörlerin tek başına önemli oranda benzer sonuç verdiği bulunmuştur ancak daha doğru bağlantılar kurulabilmesi için bütün olarak hepsinin ele alınması gerektiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma çamuru, Avrupa ülkeleri, Bertaraf stratejileri

## Factors Affecting Sludge Disposal Strategies in European Countries

### ABSTRACT

In this study, the total amount of sewage sludge produced in European countries and the reasons for choosing sludge disposal strategies according to various factors were investigated. In the study, global conditions were taken into consideration while selecting the data taken from the European Statistical Institute and the literature, and the most accurate data sets were selected and evaluated. Sewage sludge production from primary, secondary and tertiary treatment in European countries is calculated as an average of 42 g/person.day per capita dry weight or 15.26 kg/person.year. The disposal methods were compared according to the costs, surface areas, national incomes and energy needs of the countries. Although it is seen that countries with low surface area and high amount of sludge prefer incineration as treatment sludge disposal method, it has been determined that the national income and energy needs of the country are also very effective in the selection of the method. When the study was examined in its entirety, it was found that the factors in the selection of the treatment sludge disposal method alone gave significantly similar results, but it was seen that all of them should be considered as a whole in order to establish more accurate connections.

**Keywords:** Sewage sludge, European countries, Disposal strategies

# I. GİRİŞ

Küresel nüfus artışının giderek hızlanmasıyla kentsel atıksu arıtma tesislerine gelen atıksu yükü artmaktadır. Evsel ve endüstriyel atıksu arıtımı sonucunda arıtma tesislerinde yan ürün olarak arıtma çamuru oluşmaktadır [1]. Literatürde kentsel atıksu arıtımı sonucunda oluşan çamur, kentsel arıtma çamuru olarak tanımlanmaktadır. Çamur bertarafı yöntemi seçimi toprak ve su kirliliğinin önlenmesi, halk sağlığının korunması gibi çevresel sorunların çözümünde kritiktir. Arıtma prosesleri sonucunda oluşan arıtma çamuru yüksek organik madde ve konsantre inert madde içeriğine sahip olup arıtma çamurunun bertaraf yerlerinin kısıtlı olmasıyla birlikte dünya çapında yönetilmesi gereken problem haline gelmektedir. Kentsel arıtma çamuru yönetimi olarak yeniden kullanım veya nihai bertarafı olarak iki ana strateji belirlenmiştir. Bu stratejilerde çamurun karakterizasyonu, maliyet, bertaraf alanının özellikleri gibi parametreler çevresel kalite standartlarının bozulmaması için dikkate alınması gereken konulardır. Arıtma çamurunun yeniden kullanılması için birçok proses vardır ancak bunların uygulanabilirliğine ilişkin dezavantajları mevcuttur [2]. Örneğin arıtma çamurunun düzenli depolanma alanlarında depolanması sonrasında metan üretiminin sağlanabilmesi avantaj oluştururken mevcut depolama alanlarının kapasitelerinin sınırlı olması bu durumu dezavantaja dönüştürmektedir. Evsel atıksu arıtma tesisi sonucunda oluşan çamurun besin bileşenlerinin toprak şartlandırıcısı ve gübre olarak kullanılmasına uygun olması sonucunda çamurun faydalı kullanımına olanak sağlamaktadır. Atıksu arıtımından sonra oluşan arıtma çamurunun üretim prosesleri farklılıklar gösterdiği için, yeniden kullanılabilmesi için bazı özel işlemler uygulanmalıdır. Arıtma çamuru yüksek oranda çakıl veya kum gibi büyük taneli katı maddelerden, organik ve inorganik maddelerden oluştuğu gibi atıksu arıtım prosesine bağlı olarak patojenik mikroorganizmalar, ağır metaller ve toksik veya toksik olmayan kirlenimler içerebilir [3]. Atık suyun arıtma proseslerine bağlı olarak, birincil (fiziksel ve/veya kimyasal), ikincil (biyolojik) ve üçüncül (ikincil arıtmaya ek olarak, genellikle besin giderimi) çamur olarak oluşmaktadır. Arıtma tesislerinde oluşan çamurun verimli bir şekilde stabilizasyonu ve bertarafı için, çamurun özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Tablo 1’ de birincil çamur, biyolojik çamur, karışık çamur ve çürütülmüş çamurun kimyasal bileşimi ve özellikleri verilmiştir [4], [5], [6].

Genel olarak, stabilizasyonu sağlanmış kentsel atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurda %30–%55 organik madde, %3’e kadar toplam azot, %0,7–%1,5 toplam fosfor, %0,7 toplam potasyum içeriği, %10–%20 C/N oranı ve çeşitli seviyelerde ağır metal iyonları bulunur ayrıca pH’ı 6,5–7,5 aralığındadır. Susuzlaştırma işlemi uygulanmış çamurun ısı değeri yaklaşık 12.000–15.000 kJ/kg’dır [7].

**Tablo 1.** Atıksu arıtma tesislerinde farklı proseslerde oluşan çamurların karakterizasyonu [4], [5], [6].

Parametre	Birincil Çamur <sup>a</sup>	Biyolojik Çamur <sup>b</sup>	Biyolojik Çamur <sup>c</sup>	Karışık Çamur <sup>d</sup>	Çürütülmüş Çamur
Kuru Katı (KK), (% g/L)	12	9	7	10	30
Uçucu katı (UK), (%KK)	65	67	77	72	50
C, %UK	51.5	52.5	53	51	49
H, %UK	7	6	6.7	7.4	7.7
O, %UK	35.5	33	33	33	35
N, %UK	4.5	7.5	6.3	7.1	6.2
S, %UK	1.5	1	1	1.5	2.1
C/N	11.4	7	8.7	7.2	7.9
P, %KK	2	2	2	2	2
Cl, %KK	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K, %KK	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Al, %KK	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Ca, %KK	10	10	10	10	10
Fe, %KK	2	2	2	2	2
Mg, %KK	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Yağ, %KK	18	8	10	14	10

Protein, %KK	24	36	34	30	18
Lif, % KK	16	17	10	13	10
Isıl değer, kW h/t KK	4200	4100	4800	4600	3000

<sup>a</sup>Birincil çamur; fiziksel/kimyasal arıtım sonrasında yüksek kirliliğe sahip çamur

<sup>b</sup>Biyolojik çamur

<sup>c</sup>Çöktürme tankından gelen biyolojik çamur

<sup>d</sup>Karışık çamur (a+c)

Küresel olarak artan enerji ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynaklarına talebi artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak organik atıklar kolay ulaşılabilmesi ve enerji eldesinde kullanılacak teknolojilerin çeşitliliğinin olması nedeniyle birçok ülkede tercih edilmektedir. Arıtma çamurları yüksek organik içerik ve enerji potansiyeli nedeniyle sürdürülebilir bir kaynak olarak kabul edilmektedir [8]. Ancak arıtma çamurunun bir ürün olarak görülmesi hususunda tartışmalar halen devam etmektedir. Yönetimlerin benimsediği genel algı arıtma çamurlarının problem olmasıdır. Buna rağmen yapılan akademik çalışmalarda artıma çamuru yanlış yönetilerek israf edilen bir kaynak olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmaların detaylandırılması ve uygulanabilirliğinin artmasıyla artıma çamuru problem olmaktan çıkıp değerli bir ürün olarak kabul görebilir ve doğru stratejilerle hem çevresel hem de enerji eldesinde kullanılabilir [9]. Sürdürülebilir kentsel arıtma çamuru yönetiminin sağlanması için mevcut teknolojilerle birlikte politika düzenlemeleri, coğrafi konum ve sosyo-ekonomik konular gibi diğer parametreler de dikkate alınmalıdır. Bu parametrelere ek olarak doğru yönetim stratejilerine karar verebilmek için yönetimlerin belirlediği standartlar ve teknik maliyetlerinde göz önüne alınması gerekmektedir [10], [11]. Çalışma kapsamında çamur stabilizasyon yöntemleri ve AB ülkelerinin çamur yönetim stratejileri değerlendirilmiştir.

## **II. ÇAMUR STABİLİZASYON YÖNTEMLERİ**

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda arıtma çamuru bertaraf yöntemlerinde önemli değişiklikler olmuştur. 1998'den önce kentsel arıtma çamurları deniz deşarjı, tarım arazilerinde gübre olarak kullanım, çamur yakma veya basitçe depolama yöntemleriyle bertaraf edilmiştir [12]. 1998'de yayınlanan Avrupa birliği mevzuatı kapsamında deniz ekosistemini korumak amacıyla arıtma çamurunun denize deşarjı yasaklanmıştır. Mevzuat kapsamında ayrıca arıtma çamurlarının düzenli depolama sahalarına gönderiminin aşamalı olarak azaltılması istenmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda Avrupa'daki arıtma çamurunun %35-45'inin hala düzenli depolama sahalarına atıldığı görülmektedir. Arıtma çamurları yüksek organik madde içeriği sayesinde, stabilizasyon işlemleri sonrasında genellikle tarım arazileri için gübre ve/veya toprak ıslahı olarak kullanılmaktadır [13]. Bununla birlikte çamur yönetimi daha detaylı incelendiğinde kentsel atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan artıma çamurunun %37'si tarımsal kullanımda, %11'i yakılarak, %40'ı düzenli depolamada, %12'si ise ormancılık, ağaçlandırma, arazi ıslahı vb. alanlarda kullanılarak bertaraf edilmektedir. Arıtma çamurunun kullanım oranlarına bakıldığında tarımsal kullanımı başlıca bertaraf yöntemi haline geldiği söylenebilir. Son yıllarda ise çamur bertaraf stratejisinde ıslak oksidasyon, piroliz, gazlaştırma gibi enerji geri kazanımına yönelik yeni trendler uygulanmaya başlanmıştır [14].

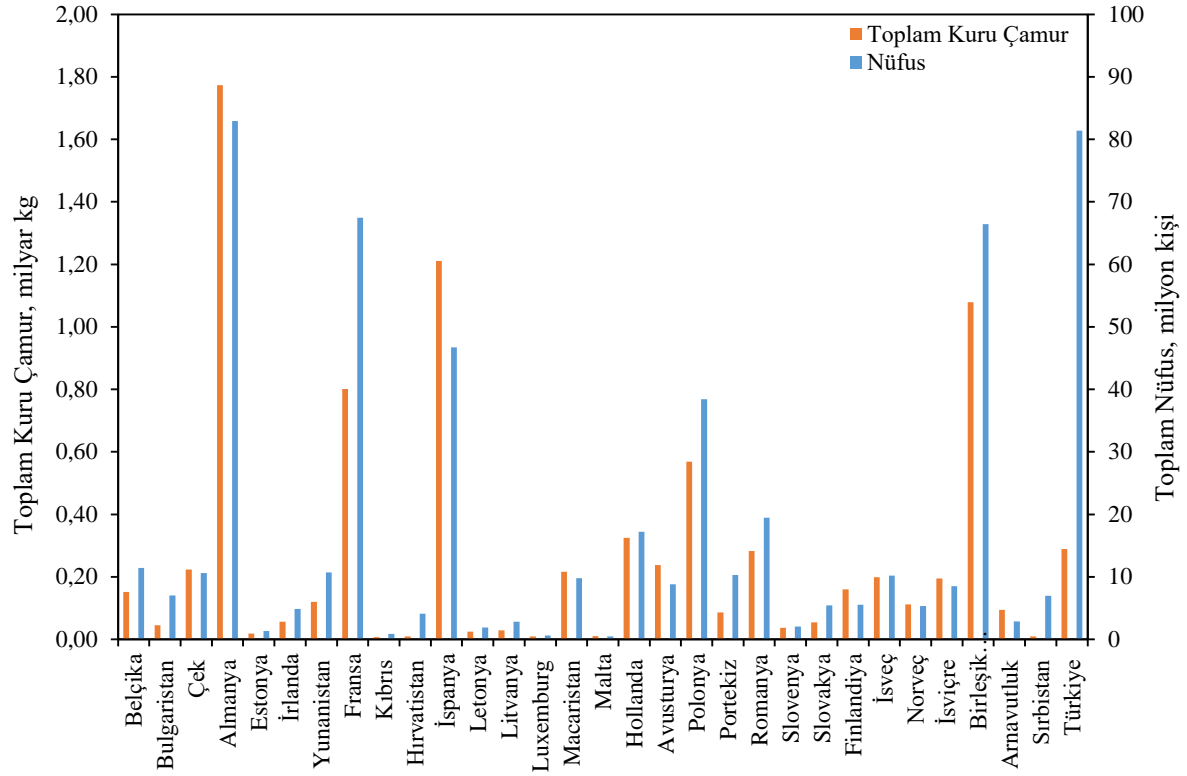
Arıtma çamurları nihai bertaraf işlemi yapılmadan önce stabilizasyonunun gerçekleşmesi gerekmektedir. Stabilizasyon çamurun depolanabilmesi veya tekrar kullanılabilmesi amacıyla çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre uygulanacak proseslerde değişkenlik gösteren bir süreçtir. Bunun için çamur çürütme, kireç stabilizasyonu ve ısı/ısı işlem olmak üzere üç temel proses uygulanır. Büyük atıksu arıtma tesislerinde çamur içeriğindeki organik madde anaerobik çamur çürütme yöntemiyle bakteriler tarafından biyogaza dönüştürülür. Ayrıca proses çıkışında çamur stabilizasyonu da sağlanmış olur. Çamurun anaerobik çürütülmesi esas olarak mezofilik koşullarda (30–42°C) gerçekleşir. Bu koşullar stabilizasyon sağlayabilir fakat yeterli hijyen sağlayamaz. Stabilizasyon işlemi termofilik koşullarda (50–60°C) yapılması çürütme süresini kısaltır ve patojen seviyelerinin düşürülmesinde daha verimli sonuçlar elde edilir. Bununla birlikte termofilik çürütme işlemi mezofilik çürütmeye kıyasla daha yüksek sıcaklık sağlayabilmek için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyar [1], [15].

Organik maddelerin mikroorganizmalar kullanılarak ayrıştırıldığı başka bir proses ise kompostlaştırmadır. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması belirli özelliklerde organik gübre elde etmeyi amaçlamaktadır. Doğru uygulanabilen kompostlaştırma işlemi çamur stabilizasyonunu, patojen miktarının azaltılmasını ve arıtma çamurunun kütlesinin ve hacminin azalmasını sağlar [16]. Çamurdaki oksijen varlığının korunması için hava verilmektedir ve süreç boyunca karıştırma yapılmaktadır. Ayrıca elde edilen ısı sayesinde patojenlerin yok edilmesi sağlanarak stabilizasyon işlemi yapılmış olur [17].

Arıtma çamurunu stabilizasyonunda uygulanan ısı işlemler iki adımda gerçekleşir. Birincisi 30–75°C arasında, ikincisi 75–190°C arasındadır ve yüksek basınçta (26 bar) gerçekleşir. Bu proses katıların pıhtılaşmasına ve çamurdaki katıların su tutma kapasitesinin azalmasına neden olur. Diğer bir termal işlem olan yakma prosesi, organik maddenin termal oksidasyonudur ve bu şekilde patojenlerin ve toksik organiklerin yok edilmesi sağlanır [18]. Önerilen yakma prosesi aşamaları sırasıyla ilk olarak mekanik susuzlaştırma, sonrasında çamurun termal kurutulması ve son olarak yakma prosesi olacak şekilde gerçekleşir. Mekanik susuzlaştırmada, çamurun nem oranını %99'dan %80'e düşürülür ve bu şekilde çamur hacminin %95 oranında azalması sağlanır. Ancak bu oran doğrudan yakmak için yeterli bir seviye değildir [19]. Mekanik susuzlaştırmayla %80'a düşürülen nem oranı, termal kurutma ile %40'a düşürülür [14], [19]. Uygulanan ön işlemler sonrasında yakma prosesine hazır hale gelen arıtma çamuru, 800-900°C sıcaklıkta yakılarak içeriğindeki organik madde ve patojenler giderilir [20]. Yakma prosesiyle oluşacak enerji elektrik üretmek, sahada çamur kurutma veya ısıtma/soğutma sistemleri için kullanılabilir.

### **III. AVRUPA BİRLİĞİ ÇAMUR ÜRETİMİ**

Arıtma çamurları genellikle ağırlıkça %0,25-12 katı içeren sıvı veya yarı katı sıvıdır [4]. Katı madde miktarı atıksu arıtım prosesleri nedeniyle Tablo 1'deki sınırlar içerisinde değişmektedir. Avrupa Birliği (AB) Yeşil Mutabakat 2021 eylem planına göre, yenilenebilir enerjinin birincil enerji talebine katkısının en az %40'a çıkarılması planlanmaktadır. Belirlenen sürede hedeflere ulaşmak için arıtma çamurları, tarımsal yeniden kullanım, düzenli depolama ve yakma uygulamalarına kıyasla sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve birincil enerji talebindeki yenilenebilir enerji miktarına yardımcı olabilir. Şekil 1'de Avrupa İstatistik Ofisinin yayınladığı veriler sunulmuştur [21]. Şekil 1 incelendiğinde Avrupa ülkelerinde birincil, ikincil ve üçüncül arıtmadan kaynaklanan arıtma çamuru üretimi kişi başına kuru ağırlık ortalama 42 g/kişi.gün ya da 15,26 kg/kişi.yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Avrupa'daki ülkelerin toplam üretilen kuru çamur miktarı ve nüfusları.

Avrupa ülkelerinin çamur bertaraf yöntemleri ve yıllık miktarları bin ton olarak Tablo 2'de verilmiştir. Tablolar oluşturulurken küresel şartlar göz önünde bulundurularak en doğru veri seti alınmaya çalışılmıştır.

Tablo 1. Ülkelerin çamur bertaraf yöntemleri ve ortalama miktarları ( $10^3$  ton/yıl) [22].

Ülkeler	Toplam	Tarımsal kullanım	Kompost ve diğer metotlar	Düzenli Depolama	Yakma	Diğer
Belçika	151,65	30,62	0	0	120,71	1,94
Bulgaristan	45,3	22,5	3,8	6,8	0	12,2
Çek	223,27	102,94	73,06	22,28	24,99	0
Almanya	1773,186	423,497	200,503	0	1142,893	6,293
Estonya	18,34	0,1	15,44	2,8	0	0
İrlanda	56,018	45,344	9,61	0,102	0	0,962
Yunanistan	119,768	21,528	0	34,03	38,36	25,85
Fransa	801	351	287	6	136	21
Kıbrıs	7,408	1,613	0	0	0,608	5,187
Hırvatistan	9,245	0,872	1,05	7,28	0	0,043
İspanya	1210,4	1052,7	0	90,7	67	0
Letonya	25,187	4,249	7,713	0,145	0	13,08
Litvanya	28,956	9,702	13,629	5,624	0	0
Luxemburg	8,918	1,551	2,528	0	1,007	3,832



Ülkeler	Toplam	Tarımsal kullanım	Kompost ve diğer metotlar	Düzenli Depolama	Yakma	Diğer
Macaristan	216,59	25,91	127,78	2,37	60,53	0
Malta	10,77	0	0	10,77	0	0
Hollanda	325,133	0	4,184	1,103	319,846	0
Avusturya	237,938	48,313	47,94	0,063	127,248	14,37
Polonya	568,329	116,028	31,817	20,666	101,144	298,674
Portekiz	85,89	32,345	0	3,665	0	49,882
Romanya	283,34	35	1,76	168,45	0,02	78,09
Slovenya	36,6	0	0,4	0,3	12,4	23,5
Slovakya	54,52	0	24,62	7,86	12,24	9,8
Finlandiya	160,17	64,07	93,58	1,76	0,66	0,12
İsveç	198,9	82,3	54	2,3	2,8	57,4
Norveç	111,7	65,4	26,7	8,7	0,7	10,3
İsviçre	194,5	0	0	0	188,3	6,2
Birleşik krallık	1078,4	844,4	0	4,7	228,9	0,4
Arnavutluk	94,5	8,2	0	0	0	86,3
Sırbistan	9,5	0	0	9,5	0	0
Türkiye	288,91	11,36	0,02	132,69	142,86	1,98
Bosna Hersek	9,5	0	0	9,5	0	0

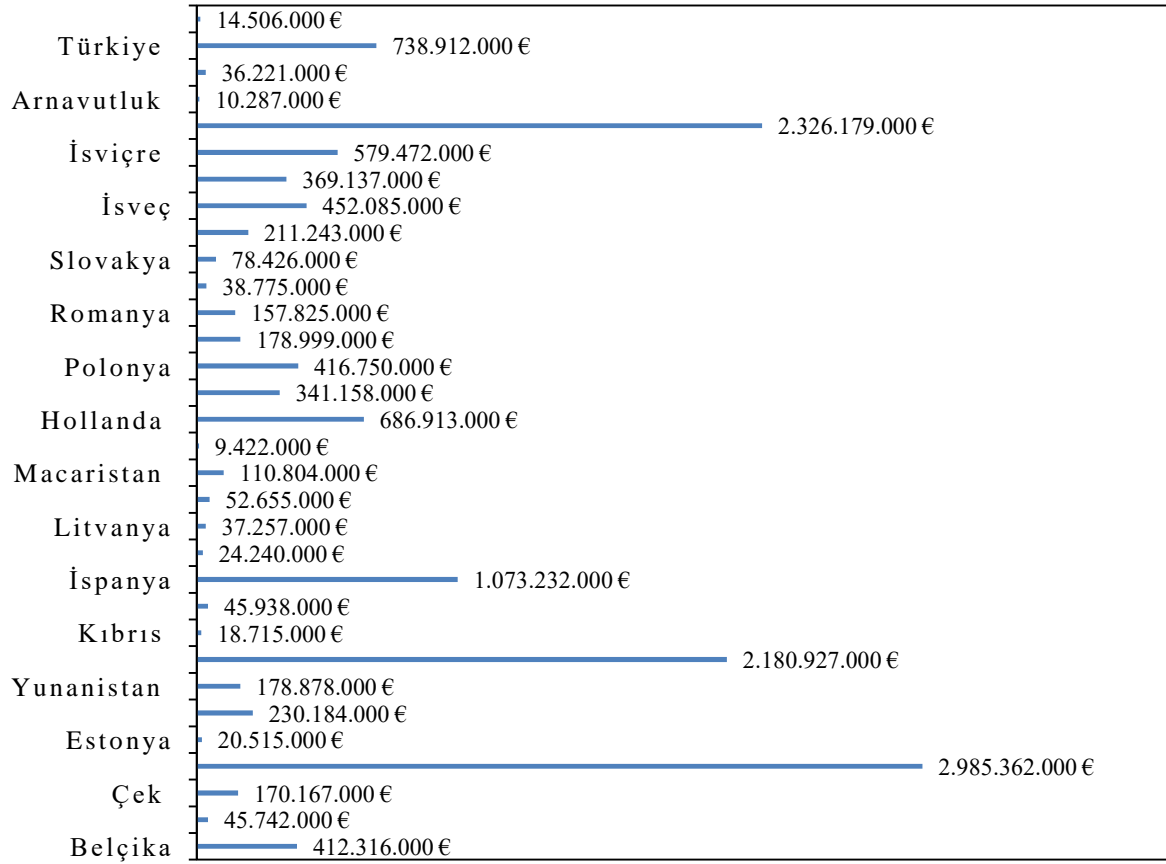
## A. AB ÇAMUR BERTARAF MALİYETLERİ VE ÜLKELERİN MİLLİ GELİRLERİ

Maliyet, arıtma çamuru bertaraf stratejisi belirlemede önemli bir kriterdir. Literatürde bertaraf teknolojisi seçimi için sosyal, ekonomik ve çevresel olacak şekilde 3 farklı kriter belirlenmiştir. Kamu sağlığı ve güvenliği, arazi güvenliği sosyal kriterlerden olup teknoloji durumu ise ekonomik kriterlere örnek olarak verilebilmektedir. Çevresel kriterlere ise ikincil atık üretimi, yüksek enerji verimliliği örnek gösterilebilir [23]. Avrupa ülkelerinde çamur bertaraf yöntemlerinin maliyetleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan en yüksek maliyetlerin yakma ve kompostlama proseslerinde olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Avrupa ülkelerinde arıtma çamurunun farklı yönetim stratejilerinin ortalama maliyeti [24].

Kullanım Yöntemleri		Maliyetler (€/ton kuru ağırlık)
Tarımsal Kullanım	Ham çamur	160
	Kısmen susuzlaştırılmış çamur (%15–25)	160
	Kuru çamur	210
	Ormancılık	240
	Kompostlama	310
	Yakma	315
	Depo sahası	255

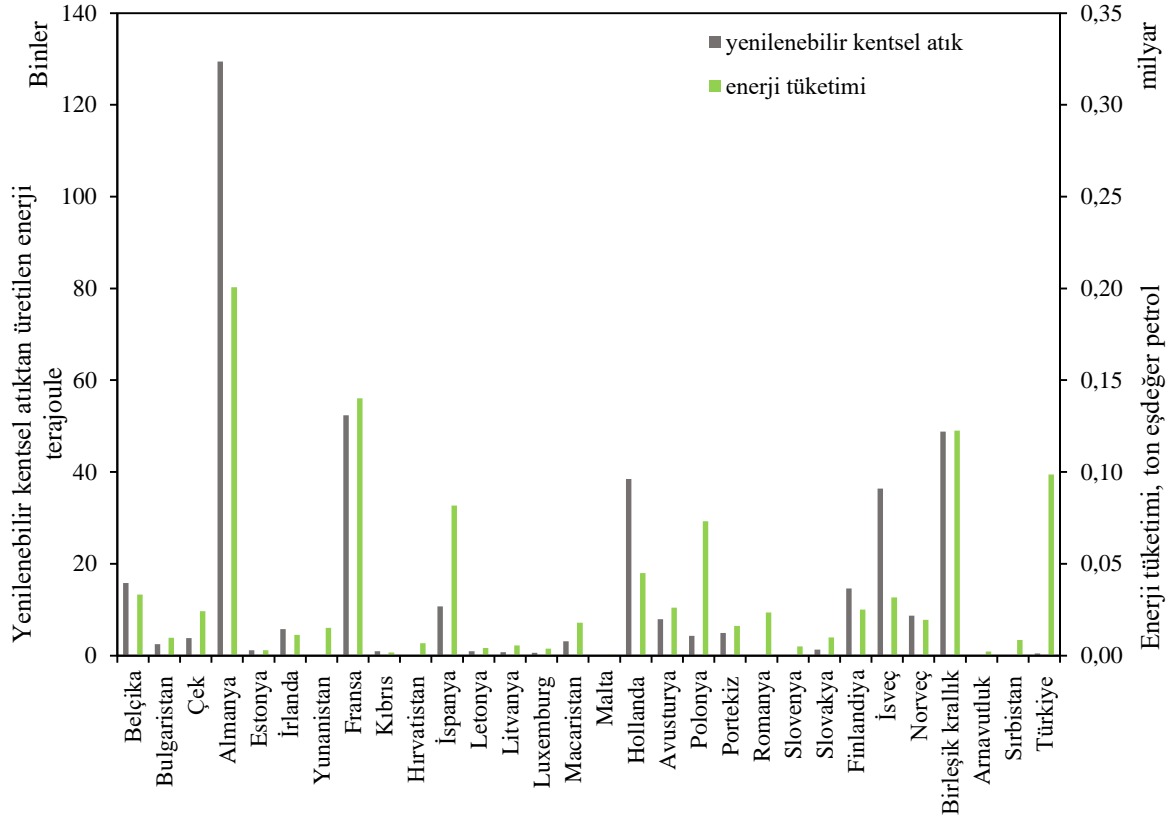
Şekil 2'de ki veriler Avrupa istatistik kurumunun düzenli olarak yayınladığı verilerden alınmıştır. Kovid 19 pandemisi nedeniyle 2017 yılına kadar olan veriler kullanılmıştır. Verilerin temsil oranını artırmak için 2012-2017 yıllarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. AB ülkelerinin milli gelirleri [25].

## B. AB ÜLKELERİNİN ENERJİ İHTİYAÇLARI VE YENİLENEBİLİR KENTSEL ATIKLARDAN ENERJİ ÜRETİMİ

Yenilenebilir enerji kaynakları direktifi kapsamında üye ülkeler elektrik, ulaşım, ısıtma ve soğutma için sektörel hedefleri içeren ülkelerin yenilenebilir enerji eylem planlarını (NREAP) istemiştir (2009/28/EC). Bu eylem planları, ülkelerin taahhütlerini ve girişimlerini anlatmaktadır. Bu kapsamda yapılan uygulamaların sonuçları yılda 2 kez rapor edilmektedir ve Avrupa istatistik kurumuyla veriler paylaşılmaktadır. Avrupa istatistik kurumundan alınan verilerle Şekil 3 oluşturulmuştur. Literatürdeki çalışmada AB üyesi 28 ülkede 2014 yılında tüketilen enerjinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanma oranının %16 olduğu belirtilmiştir [26].

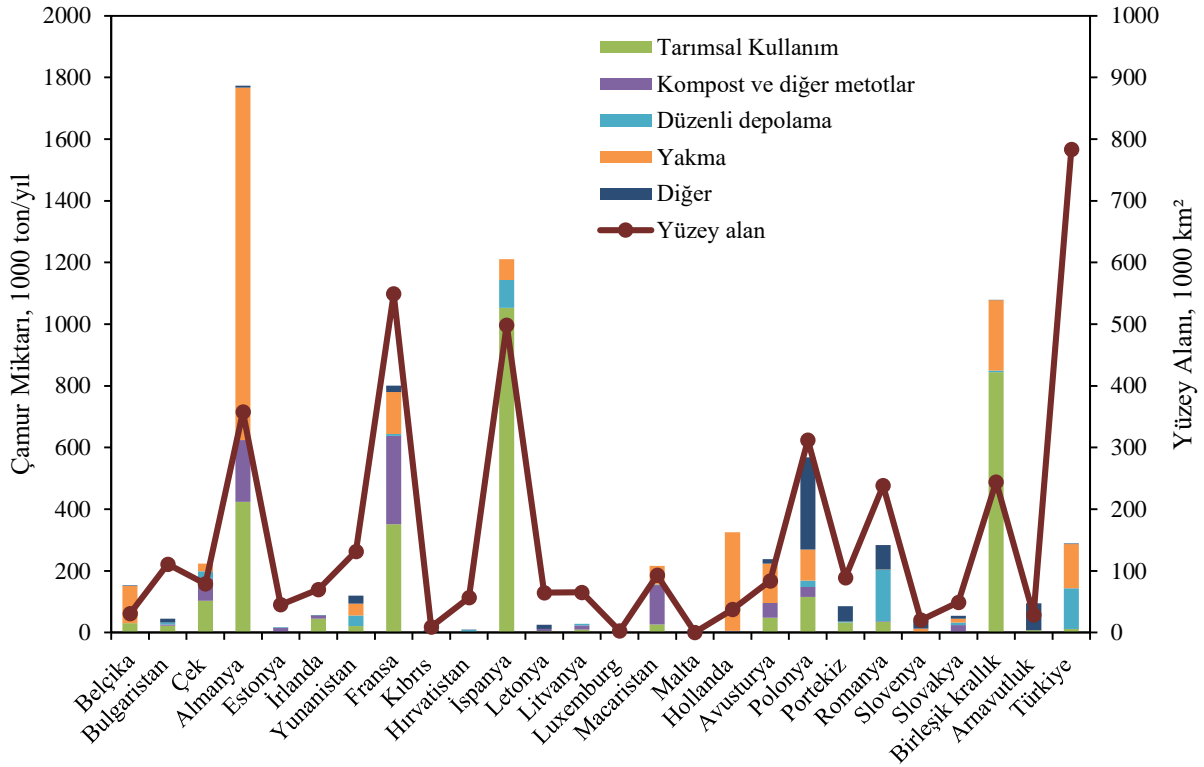


**Şekil 3.** Ülkelerin enerji tüketimleri ve kentsel atıklardan üretilen yenilenebilir enerji miktarları [27], [28].

## IV. SONUÇ

### **A. YÜZEY ALANIN ÇAMUR BERTARAF STRATEJİSİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Ülkelerin arıtma çamuru üretimi, bertaraf stratejileri ve yüzey alanları Şekil 4’de verilmiştir. Finlandiya, İsveç, Norveç, Sırbistan gibi yüzey alanları çok büyük, nüfus miktarlarının az olduğu ülkeler, istatistiksel olarak anlamsız veriler üreteceği için değerlendirmeye alınmamıştır. Ülkelerdeki arıtma çamuru üretimi nüfusun artmasıyla beraber artış göstermiştir (Şekil 4) ancak yüzey alanlarının artmasının, çamur üretimi ya da bertaraf stratejisi üzerinde herhangi bir etkisi görülmemiştir.



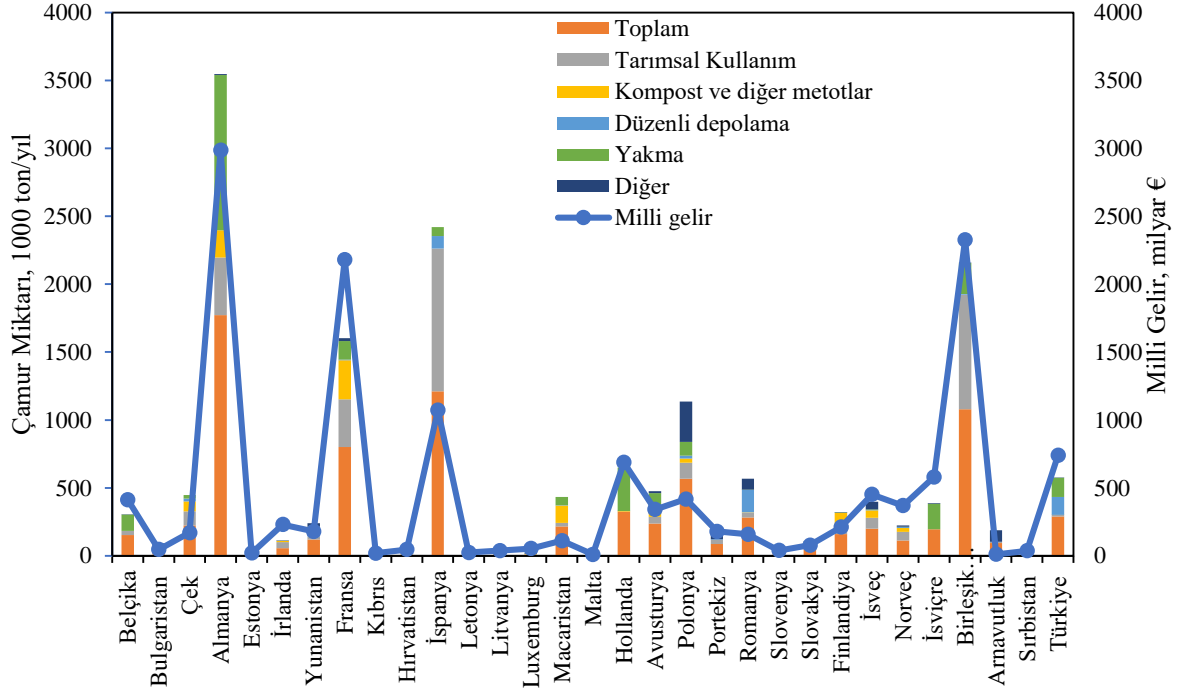
Şekil 4. Ülkelerin arıtma çamuru üretimi, bertaraf stratejileri ve yüzey alanları.

Arıtma çamuru bertaraf stratejisi belirlenirken düzenli depolamanın tercih edilmediği görülmüştür. Bu durum Avrupa Birliği ülkelerindeki yasal mevzuattan kaynaklanmaktadır. Yasal mevzuatlar incelendiğinde 12 Haziran 1986 tarihli Konsey Direktifi (çamur direktifi) kanalizasyon atıklarının bertarafına dair AB mevzuatına (86/278/EEC) eklenmiştir [29]. Kentsel atıksuların arıtılmasına ilişkin 91/271/EEC sayılı Direktif, atıksu arıtımını ve arıtma çamurlarının nihai bertarafını izlemeyi ve raporlamayı zorunlu kılmıştır [30]. 91/271/EEC sayılı Direktifinin 14. Maddesi, arıtma çamurlarının yeniden kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Atık depolama direktifi olarak tanımlanan, 26 Nisan 1999 tarihli ve 99/31/EC sayılı Direktif ile arıtma çamurlarının düzenli depolanarak bertarafına ilişkin sınırlar getirilmiştir [31]. Sonrasında Avrupa parlamentosu ve Avrupa konseyi tarafından 2000 yılında kabul edilen 2000/60/EC sayılı su çerçevesi direktifi ile su politikası alanında ortak eylemlerin sınırlarını belirlemiştir [32]. Mevzuat çerçevesinde atık olarak görülen çamur direktif sonrasında atıksu arıtma tesisinde çıkan artıma yan ürünü olarak tanımlanmaktadır. Atık Çerçeve Direktifi (19 Kasım 2008 tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi (2008) /98/EC) kapsamında atıkların geri dönüşümü düzenlenmiş olup kanalizasyon çamuru da dahil olmak üzere çamur yönetimini içermektedir [33]. Bu direktif incelendiğinde atığın yeniden kullanımı öncelikli olup geri dönüşüm/geri kazanım yöntemlerinin belirlenerek nihai bertarafı için yöntemler tanımlanmıştır. Arıtma çamurlarının önlenmesi mümkün olmadığı için yeniden kullanılmasına önem verilmiştir.

## B. MİLLİ GELİRİN ÇAMUR BERTARAF STRATEJİSİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Avrupa ülkelerinde arıtma çamuru üretimi, bertaraf stratejileri ve ülkelerin milli geliri Şekil 5'de verilmiştir. Arıtma çamurlarına uygulanan nihai bertaraf yöntemlerinin ülke milli gelirleriyle bağlantılı olduğu belirlenmiştir. Milli geliri yüksek olan ülkelerde arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı, yakma ve kompostlama metotlarının kullanım oranının yüksek olduğu sonucu bulunmuştur. Bu durum bertaraf maliyetlerine bakıldığında daha anlamlı olduğu görülmektedir. Literatüre bakıldığında (Tablo 3), yakma ve kompostlama ile bertaraf yöntemleri, tarımsal kullanıma göre iki kat daha maliyetli olduğu

belirlenmiştir. Milli gelir miktarı arttıkça inovasyon ve altyapı yatırımları da artmaktadır. Bunun sonucunda gerekli teknolojiye erişim ve hatta teknolojinin üretimi sağlanmış olmaktadır.

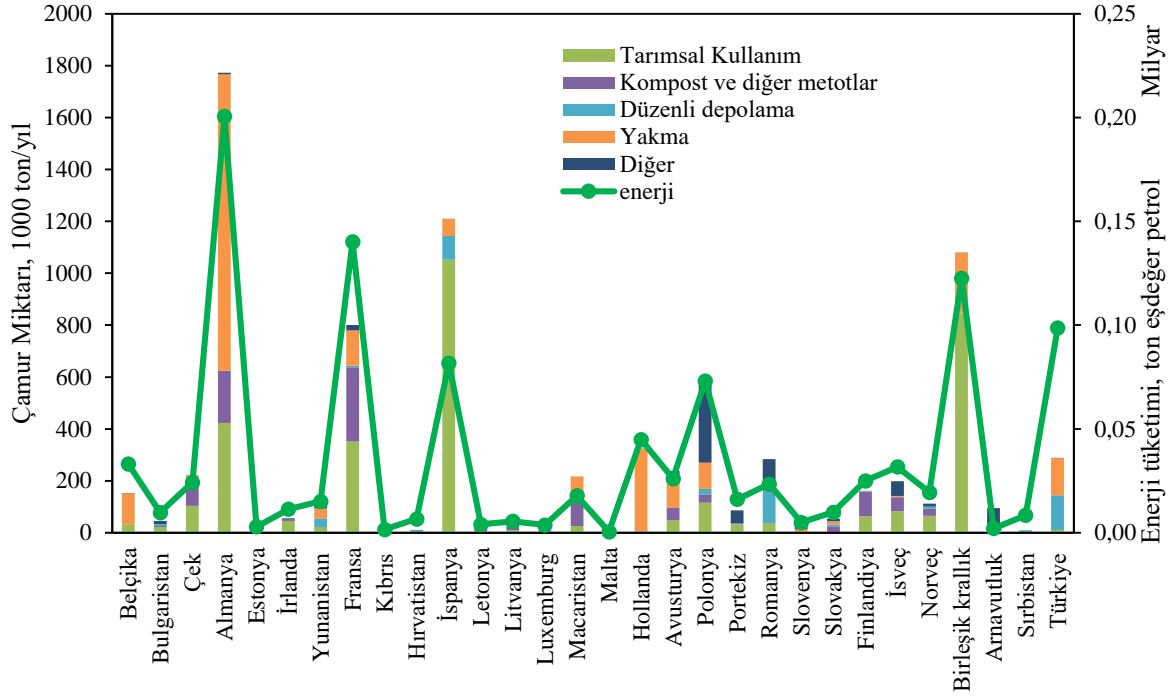


Şekil 5. Ülkelerin arıtma çamuru üretimi, bertaraf stratejileri ve ülke milli geliri.

Yine yasal mevzuata bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilmesine dair 28 Nisan 2009 tarihli ve 2009/28/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönergesi [34] yürürlüğe girmiştir. Diğer bir karar olarak, biyolojik arıtmaya tabi biyolojik olarak bozunabilen atıklara ilişkin, Atık Sonu Kriterleri Teknik Raporuna göre arıtma çamurunu pozitif atık listesine alarak arıtma çamurunun gübre olarak kullanılmasına izin verilmektedir [35]. Yasal düzenlemeler arıtma çamuru bertaraf stratejisi belirlemede etkili olmuştur ancak yöntem seçimleri için yine maddi olanaklar sınırlayıcı etki göstermektedir.

### C. ENERJİ TÜKETİMİNİN ÇAMUR BERTARAF STRATEJİSİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Enerji tüketimleri ile çamur bertaraf stratejileri arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 6). Ülkelerin enerji ihtiyacı arttıkça yakmaya olan yönelim artmıştır. Bertaraf stratejisi belirlenirken, enerji ihtiyacı tek başına bir etken olmadığından yasal mevzuatlara da bakılmalıdır.



Şekil 6. Ülkelerin arıtma çamuru üretimi, bertaraf stratejileri ve ülke enerji ihtiyaçları.

Yenilenebilir enerji direktifi [34], AB ülkelerinde yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek için politika çerçevesi oluşturarak, 2020 yılına kadar toplam enerji ihtiyacının %20'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını hedeflemiştir. Ülkelerin yenilenebilir enerji potansiyellerine göre ayrı ayrı hedefler konulmuştur (madde 3). Bu hedefler Malta için %10 iken İsveç için %49 olarak verilmiş ve diğer ülkelerde bu aralık içerisinde belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji direktifinde (Madde 2'de) yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımı yapılmıştır. Rüzgar, güneş, biyokütle, çöp gazı, kanalizasyon arıtma tesisi gazı ve biyogazlar örnek olarak verilmiştir.

## V. TARTIŞMA

Şekil 4'de görüleceği üzere Almanya çamur bertarafında öncelikli olarak yakma prosesini kullanırken diğer tercih ettiği diğer bertaraf yöntemi kompostlama olmuştur. Almanyanın yüzel alanının az çamur miktarının fazla olması nedeniyle çamur depolama alanlarının sınırlı olması yakma prosesinin yaygın olarak kullanımına neden olmuştur. Şekil 6'da görüldüğü gibi, oluşan arıtma çamuru miktarına göre yakma oranı en yüksek olan ülke Almanya'dır. Ayrıca enerji ihtiyacı çok fazla olması bertaraf metodu seçimini yakma yönünde etkilemiştir. İspanya ve Birleşik Krallık ise çamur bertarafı olarak tarımsal kullanımı diğer yöntemlere göre daha çok tercih etmiştir. Bu ülkelerde arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı sırasıyla %87 ve %78 olarak hesaplanmıştır. Hem maliyet açısından en uygun hem de arazi miktarı yüksek olması bertaraf metodu seçimini bu yönde etkilemiştir. Fransa ise kompost, yakma ve tarımsal kullanımı orantılı olarak bertaraf yöntemleri olarak seçmiştir. Fransa yüzey alanının fazla çamur miktarının bu alana göre daha az olduğu bir ülkedir. Bu durumu avantaja çevirerek ülkede çamur yönetim stratejisi oluşturulurken çamur karakterizasyonuna göre proses seçiminin yapıldığı söylenebilir. Türkiye ve Romanya yüzey alanı fazla çamur miktarı az olan ülkelere olup bu nedenle katı atık düzenli depolama alanlarında yer bulunması sayesinde çamur bertarafında düzenli depolama yöntemini seçmiştir. Türkiye'de yakma ve düzenli depolama oranları sırasıyla %49 ve %46 olarak hesaplanmıştır. Enerji ihtiyacının yüksek olması bertaraf metodu seçimini yakma yönünde etkilemiştir. Ayrıca hem arazi miktarı yüksek olduğu hem de maliyetler açısından uygun olduğu için yüksek oranda düzenli depolama da tercih edildiği görülmüştür. Hollanda da yüzey alanının oldukça düşük olması çamur

bertarafının ağırlıklı olarak yakma yöntemiyle yapılmasına neden olmaktadır. Hollanda, İsviçre ve Belçika’da arazi miktarının kısıtlı olması nedeniyle, sırasıyla üretilen çamurun %98, %96 ve %79’unu yakarak bertaraf etmektedir. Norveç ve İsveç’te tarımsal kullanımı ve kompost ve diğer metotlarla bertaraf oranları sırasıyla %82, %69 olarak bulunmuştur. Bu durum arazi miktarının yüksek olması ve düşük enerji ihtiyaçları nedeniyle oluşmuştur.

Ülkelerin çamur bertarafı stratejileri incelendiğinde çamur miktarının fazla olduğu ve yüzey alanı az olan ülkeler düzenli depolama sahalarında alan sınırı bulunması nedeniyle genellikle yakma prosesine yönelmiştir. Yakma diğer yöntemlere göre yüksek maliyetli bir yöntem olduğundan yüzey alanı az olmasına rağmen milli geliri ve enerji ihtiyacı yüksek ülkeler tarafından tercih edilmiştir. Bu durum çamur bertaraf yönteminin seçiminde ülkelerin sosyo-ekonomik durumları, coğrafi durumları, teknolojik gelişmişlikleri gibi faktörlerin oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] A. Grosser, E. Neczaj, B. R. Singh, R. Almås, H. Brattebø, and M. Kacprzak, “Anaerobic digestion of sewage sludge with grease trap sludge and municipal solid waste as co-substrates,” *Environ Res*, vol. 155, pp. 249–260, May 2017, doi: 10.1016/J.ENVRES.2017.02.007.
- [2] M. Kacprzak et al., “Sewage sludge disposal strategies for sustainable development,” *Environ Res*, vol. 156, pp. 39–46, Jul. 2017, doi: 10.1016/J.ENVRES.2017.03.010.
- [3] A. Khakbaz, D. Goi, M. De Nobili, and E. Aneggi, “Environmental and Energy Engineering Sciences,” 2020, Accessed: Mar. 20, 2023. [Online]. Available: <https://air.uniud.it/retrieve/handle/11390/1185610/482715/PhD%20thesis-Ali%20Khakbaz.pdf>
- [4] L. Metcalf, H. P. Eddy, and G. Tchobanoglous, “Wastewater energy: treatment and reuse,” McGraw-Hill, p. 1819, 2004.
- [5] P. Manara and A. Zabaniotou, “Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 2566–2582, 2012.
- [6] M. C. Samolada and A. A. Zabaniotou, “Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece,” *Waste Management*, vol. 34, no. 2, pp. 411–420, 2014.
- [7] A. Kijo-kleczkowska, H. Otwinowski, and K. Środa, “Properties and production of sewage sludge in Poland with reference to the methods of neutralizing,” *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, vol. 14, no.4, pp. 59–78, 2012.
- [8] L. Spinosa et al., “Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management,” vol. 3, pp. 702–717, 2011.
- [9] M. Pradel, L. Aissani, J. Villot, J. C. Baudez, and V. Laforest, “From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge – a review,” *J Clean Prod*, vol. 131, pp. 60–75, 2016.
- [10] P. Arroyo and M. Molinos-Senante, “Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach,” *Science of The Total Environment*, vol. 625, pp. 819–827, 2018.

- [11] D. R. Marlow, M. Moglia, S. Cook, and D. J. Beale, "Towards sustainable urban water management: A critical reassessment," *Water Res*, vol. 47, no. 20, pp. 7150–7161, 2013.
- [12] H. Ødegaard, B. Paulsrud, and I. Karlsson, "Wastewater sludge as a resource: sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge," *Water Science and Technology*, vol. 46, no. 10, pp. 295–303, 2002.
- [13] R. P. Singh and M. Agrawal, "Potential benefits and risks of land application of sewage sludge," *Waste Management*, vol. 28, no. 2, pp. 347–358, 2008..
- [14] D. Fytili and A. Zabaniotou, "Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 1, pp. 116–140, 2008.
- [15] E. Neczaj and A. Grosser, "Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Challenges and Barriers," *Proceedings 2018*, Vol. 2, Page 614, vol. 2, no. 11, p. 614, 2018.
- [16] R. Cáceres, K. Malińska, and O. Marfà, "Nitrification within composting: A review," *Waste Management*, vol. 72, pp. 119–137, 2018.
- [17] M. Kacprzak, K. Fijalkowski, A. Grobelak, ... K. R.-Pol. J., and undefined 2015, "Escherichia coli and Salmonella spp. Early diagnosis and seasonal monitoring in the sewage treatment process by EMA-qPCR method," *pjmonline.org*, vol. 64, no. 2, pp. 143–148, 2015.
- [18] Bien, J., Neczaj, E., & Milczarek, M. "Co-composting of meat packing wastewater sludge and organic fraction of municipal solid waste", *Global Nest J*, vol.1, no.4, 513-521, 2013.
- [19] A. Abuşoğlu, E. Özahi, A. İ. Kutlar, and S. Demir, "Exergy analyses of green hydrogen production methods from biogas-based electricity and sewage sludge," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 16, pp. 10986–10996, 2017.
- [20] A. Abuşoğlu, E. Özahi, A. İhsan Kutlar, and H. Al-jaf, "Life cycle assessment (LCA) of digested sewage sludge incineration for heat and power production," *J Clean Prod*, vol. 142, pp. 1684–1692, 2017.
- [21] "Statistics | Eurostat." [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nama\\_10\\_pe/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nama_10_pe/default/table?lang=en) (accessed Mar. 20, 2023).
- [22] "Statistics | Eurostat." [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_ww\\_spd/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ww_spd/default/table?lang=en) (accessed Mar. 20, 2023).
- [23] V. K. Tyagi and S. L. Lo, "Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery?," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 708–728, Sep. 2013, doi: 10.1016/J.RSER.2013.05.029.
- [24] Wójtowicz, A., Jędrzejewski, C., Bieniowski, M., & Darul, H. Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej. *Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie*, 2013.
- [25] "Statistics | Eurostat." [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEC00001/default/table?lang=en&category=na10.nam.a10.nama\\_10\\_aux](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEC00001/default/table?lang=en&category=na10.nam.a10.nama_10_aux) (accessed Mar. 20, 2023).





- [26] S. Braungardt, V. Bürger, J. Zieger, and L. Bosselaar, “How to include cooling in the EU Renewable Energy Directive? Strategies and policy implications,” *Energy Policy*, vol. 129, pp. 260–267, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.ENPOL.2019.02.027.
- [27] “Statistics | Eurostat.” [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00123/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_quant.nrg\\_quanta.nrg\\_bal](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00123/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_bal) (accessed Mar. 20, 2023).
- [28] “Statistics | Eurostat.” [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_CB\\_RW/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_quant.nrg\\_quanta.nrg\\_cb](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_CB_RW/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_cb) (accessed Mar. 20, 2023).
- [29] Council of the European Communities. Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC). *Official Journal of the European Communities*, 181, 6-12, 1986.
- [30] E. D.-J. Eur. Commun and undefined 1991, “Council Directive of 21. May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC),” [tarimorman.gov.tr](http://tarimorman.gov.tr), Accessed: Mar. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ab%20mevzuat%C4%B1/91-271-EEC.pdf>
- [31] “EUR-Lex - 31999L0031 - EN - EUR-Lex.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0031> (accessed Mar. 20, 2023).
- [32] H. Unnerstall, “The Principle of Full Cost Recovery in the EU-Water Framework Directive—Genesis and Content,” *Journal of Environmental Law*, vol. 19, no. 1, pp. 29–42, 2007.
- [33] “EUR-Lex - 32008L0098 - EN - EUR-Lex.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098> (accessed Mar. 20, 2023).
- [34] “EUR-Lex - 32009L0028 - EN - EUR-Lex.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028> (accessed Mar. 20, 2023).
- [35] S. Hans and E. Peter, “End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals,” 2013, doi: 10.2791/6295.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Review Article

## Antimicrobial Photodynamic Therapy: Novel Concept for Foodborne Pathogens

 Gökçe GÜRÜN<sup>a\*</sup>,  Funda KARBANCIOĞLU GÜLER<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Food Engineering, Faculty of Chemistry and Metallurgy, Istanbul Technical University, Istanbul, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [gurun22@itu.edu.tr](mailto:gurun22@itu.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1365178

### ABSTRACT

Changes in agricultural practices, individual diversity, the considerable size of the global food trade, immigrant and tourist circulation, with microorganism transformations have led to the formation of microorganisms that are resistant to chemicals and implementations used, especially antibiotics. Antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) is an approach based on the interaction of a natural/synthetic photosensitizer, a suitable light source, and molecular oxygen, and the cytotoxic effect of reactive oxygen species resulting from this interaction on the target microorganism. The benefits of this method, which has found its place in medical terms by treating oral biofilms, superficial lesions, and chronic sinusitis, are limited by problems of low cell/tissue penetration, poor selectivity, non-thermal effect, and off-target damage. Despite similar practical problems in food science, developing technology is expected to encourage new studies on pathogen inactivation in food matrices, reducing the microbial load to safe levels, extending shelf life, and preventing quality loss.

**Keywords:** Antimicrobial photodynamic therapy, Photosensitizers, Free radicals, Foodborne pathogens

## Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi: Gıda Kaynaklı Patojenler için Yeni Konsept

### ÖZ

Tarımsal uygulamalardaki değişiklikler, bireysel farklılıklar, küresel gıda ticaretinin hatırı sayılır büyüklüğü, göçmen ve turist dolaşımı, mikroorganizma transformasyonları ile başta antibiyotikler olmak üzere kimyasallara ve kullanılan uygulamalara karşı dirençli mikroorganizmaların oluşmasına yol açmıştır. Antimikrobiyal fotodinamik tedavi (aPDT), doğal/sentetik bir ışığa duyarlılaştırıcı, uygun bir ışık kaynağı ve moleküler oksijenin etkileşimi ile bu etkileşim sonucu ortaya çıkan reaktif oksijen türlerinin hedef mikroorganizma üzerinde sitotoksik etkisine dayanan bir yaklaşımdır. Oral biyofilmleri, yüzeysel lezyonları ve kronik sinüziti tedavi ederek tıbbi anlamda kendine yer bulan bu yöntemin faydaları, düşük hücre/doku penetrasyonu, zayıf seçicilik, termal olmayan etki ve hedef dışı hasar sorunları nedeniyle sınırlıdır. Gıda bilimindeki benzer uygulamaya yönelik sorunlara rağmen gelişen teknolojinin, gıda matrislerinde patojen inaktivasyonu, mikrobiyal yükün güvenli seviyelere indirilmesi, raf ömrünün uzatılması ve kalite kaybının önlenmesi konularında yeni çalışmalarını teşvik etmesi beklenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Antimikrobiyal fotodinamik tedavi, Işığa duyarlılaştırıcılar, Serbest radikaller, Gıda patojenleri

## **I. INTRODUCTION**

Latterly, bacterial infections are an increasing problem globally recognized as a burden on public health. Such infections constitute high mortality for patients with traumatic lesions or who had surgery and farm animals. Mutations that allow microorganisms to multiply exponentially and survive in the presence of any antimicrobial drug increase their regeneration capabilities and enable them to become dominant in the population quickly. In this respect, inappropriate prescription or uncontrolled usage of antibiotics exacerbates the threat of microbial resistance. Also, biofilm formation stands out as a factor contributing to the rise in microbial resistance. The blooming of biofilms in clinical settings, buildings, monuments, facilities, and technical complexes poses serious sanitary consequences as well as aesthetic, ecological, and economic loss.

Microorganisms such as bacteria and filamentous fungi, which have spore forms and are more resistant to inactivation than planktonic microorganisms, can similarly be considered a threat to human health. For this reason, significant amounts of biocides and their derivatives are used to combat the growth of planktonic and biofilm-embedded microorganisms in physiological fluids or solid surfaces [1]. Nevertheless, the chronic toxicity of the chemicals mentioned and the environment, animal, and human stress that contradicts the one health approach indicates that they are far from a sustainable formula for the solution to the problem. The adaptation abilities of microorganisms caused by their reproduction rate are the main factors in developing their resistance to biocides.

There is a consensus across the scientific community that new strategies must be developed to combat these microbial entities. From this point of view, ‘Antimicrobial Photodynamic Therapy’ (aPDT) has been progressing. Bacterial inhibition of photodynamic therapy, initially considered only as an anticancer technology, has revealed aPDT as a new field. This method relies on the cell-toxic effect of reactive oxygen species (ROS) produced due to the stress caused by a light source, photoactive chemicals, and molecular oxygen on the cell. Recently, in response to the requirements and expectations of the modern age, it has emerged as a noninvasive treatment alternative and has gone beyond its medical axis and has the opportunity to be tested in sectors such as food and agriculture.

The purpose of this review is to systematize current studies on the role of photodynamic therapy, especially in the elimination of pathogens that threaten food safety, within the general framework of the application.

## **II. PHOTODYNAMIC THERAPY**

Photodynamic therapy as a cure method in medicine and surgery dates back to ancient times in Egypt, Greece, and India. Ancient civilizations used sunlight to empirically treat various skin problems, using light interaction with biological tissues. However, over time, such attempts have become increasingly rare over the centuries and were somewhat explored again by Western civilization in the early 1900s. The emergence of modern photodynamic or photoactivated therapy stands on the mutual effect of a photosensitive agent with a light resource by using a non-toxic dye and low-intensity visible light. With the presence of oxygen, this combination produces some cytotoxic molecules. Irradiation with a particular wavelength of light cause the production of singlet oxygen that disrupts the microbial cell wall and further inactivation [2].

Oscar Raab and his PhD advisor H. von Tappeiner introduced the idea of cell death brought on by the interaction of chemicals called photosensitizers with light. Raab unexpectedly discovered that combining acridine red and light had a phototoxic impact on *Paramecium infusoria* while researching the effects of acridine dye on paramecium cultures. The outputs of the experiments using low concentrations of acridine red could not be replicated due to inconsistency despite many repetitions. However, Raab and Tappeiner found that the observed toxicity was linked with the time of day and the sum of sunlight, which were the only changed parameters. Thus, Raab demonstrated the potential of

photosensitive compounds to be used as toxicants for biological systems in light availability. The fact that dye had a stronger toxic influence on paramecium samples on sunny days instead of cloudy days led him to note that a photosensitizer is responsible for the photodynamic action in the presence of energy from the bright sun [3].

## **A. MECHANISM OF ACTION**

Light, a non-toxic photosensitizer (PS) and molecular oxygen are essential system components for the design of antimicrobial photodynamic therapy [4]. The basic principle includes the penetration of photosensitizing dyes into the relevant infected/contaminated tissue, followed by the generation of cytotoxic ROS due to exposition to visible light. ROS can irreparably harm cellular integrity by oxidizing microorganisms' structural proteins, lipids, enzymes, and nucleic acids [3]. After irradiation and photon absorption, the photosensitizer can transform from the low-energy and stable configuration initial (ground) state ( $PS^*$ ) to the short-lived, more reactive, excited single-state ( $1PS^*$ ) or it may return to its initial level with a loss of energy by fluorescence or emitting heat. As a third response, it can transition to a higher energy triple state ( $3PS^*$ ). In this case, two distinct chemical reaction pathways- Type I electron transfer and Type II energy transfer-that can take place simultaneously may be encountered. In a type I reaction,  $3PS^*$  absorbs an electron ( $e^-$ ) from a nearby reducing molecule (R); this triggers an electron transfer that results in the superoxide anion radical ( $O_2^{\cdot-}$ ), and subsequent reduction results in the formation of additional cytotoxic ROS that include hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and hydroxyl radical ( $HO^{\cdot}$ ). Direct energy transfer from  $3PS^*$  to molecular oxygen's starting state ( $3O_2$ ), which is then changed into singlet oxygen, occurs in a type II reaction ( $1O_2$ ) [5]. The ROS produced includes  $O_2^{\cdot-}$ ,  $H_2O_2$ ,  $HO^{\cdot}$  and  $1O_2$ .  $HO^{\cdot}$ , and  $1O_2$  are the most reactive and cytotoxic, but at the same time have the shortest diffusion distances. PS can produce a substantial amount of  $1O_2$  molecules, especially according to the  $1O_2$  quantum efficiency, the characteristics of the surroundings, and the realization of Type I and Type II mechanisms.

Aiming at the destruction of vital components or structures in microorganisms is a principle to direct the efficacy of aPDT. DNA degradation induced by PS and light in target microorganisms causes the over-stranded fraction of the plasmid to break into single- or double-stranded DNA. Membrane damage with subsequent loss of selective permeability, denaturation of cytoplasmic proteins, impaired cell wall synthesis or potassium ( $K^+$ ) decrement is other proposed reasons for cell demolition [6].

## **B. FACTORS OF PHOTODYNAMIC THERAPY**

### **B. 1. Light Properties and Sources**

The cellular structures of biological tissues vary and contain many substances and organelles explaining their inhomogeneity. Highly pigmented tissues, for instance, might limit the depth at which light can enter the tissue. An infected tissue's turbid media and light scattering lead to a light beam directionality and propagation being off-course [3]. The depth at which light reaches the microorganism in tissue depends on the optical features of the tissue and the wavelength of the light. Cell chromophores or extracellular substances can reflect or absorb certain photons that penetrate tissues [7]. Because of the size of the particles that most thoroughly permeate the tissues, red and near-infrared lights accomplish light absorption better. The efficacy of PDT correlated to the exposure duration, light wavelength, and sort of tissue.

Considering the variability of the preferred light sources in PDT, the correct selection of this parameter is one of the cornerstones of the photoinactivation mechanism: Conventional lamps (metal-halide, xenon, tungsten halogen, etc.), light-emitting diodes (LEDs), and lasers [8]. Specially lasers are quite effective and commonly used in medical practice. On the other hand, their high expense puts them a not feasible alternative, especially for real-time food industry applications. Compared to lasers, LEDs offer a slightly broader emission spectrum and price less. In this respect, LEDs have become more appealing to the field of food technology (primarily for post-harvest storage, food safety, and food production) with their high cost-benefit ratio, low maintenance, endurance, and reduced negative perception on the strength of thermal effects.

Conversely, LEDs, lasers, and halogen lamps benefit from being spectrally filtered to match any PS. Despite that, they cannot be coupled to optical fiber bundles or liquid light guides efficiently, and they produce more heat. Every therapeutic use of PDT in the patient's body should consider the heating impact from a certain light source. The administered energy dose will raise the temperature, which might lead to tissue injury, depending on the length of the exposure and the type of light source employed. In brief, for the irradiation of a particular PS, intensity, light distribution, and the spectral emission mode of the relevant light source (directly or indirectly like fiber optic cable) are of greater importance than the light source itself.

## **B. 2. Photosensitizers**

Photosensitizers (PS) are dyes that can receive energy from a light source and transport this energy to different targets [9]. For a sufficient PDT application, the choice of the PS factor has of great importance. There are several criteria to be considered for this purpose, including appropriate photosensitizing properties, high water solubility, low dark toxicity, high photo and storage stability, low long-term sensitivity, high target selectivity, and low production cost.

Varied kinds of PSs, such as phenothiazine dyes (methylene blue, toluidine blue O), phthalocyanine, porphyrin, bacteriochlorins, xanthene and, curcumin have been demonstrated to have significant inactivation effects. Due to their similar chemical and physicochemical properties, the most widely employed dyes for PDT are methylene blue and toluidine blue [10]. Toluidine blue O is a blue-violet solution that stains connective tissue glycosaminoglycans and proteoglycan granules in mast cells. Methylene blue is blue in an oxidizing environment and is a redox indicator that becomes colorless when reduced. Light-coupled methylene blue has also been reported to be useful in inactivating seasonal influenza, *Helicobacter pylori*, and *Candida albicans* [11]. Very efficient photosensitizers for inactivating Gram (+) and Gram (-) periodontopathic bacteria that led to periodontitis include both methylene blue and toluidine blue O [12]. Investigations and syntheses of methylene blue analogs and other kinds of photosensitizers have been/are being done to get beyond the practical limitations brought on by these phenothiazine dyes' toxicity to non-target cells such as red blood cells [3][11].

Organic PSs used in PDT were selected from the phenothiazinium group containing methylene blue and toluidine blue O. Through the absorption spectrum in the red region of the light, these new PSs and their structural derivatives show their efficacy in tissues and have less toxicity than other PSs. Another group includes macrocyclic molecules, often positively charged, hydrophilic, and have strong singlet oxygen quantum yields. Many studies have been conducted on changes to their chemical composition, particularly for porphyrins and phthalocyanines. PSs having a structure resembling fluorescence, such as rose bengal, erythrosine, and eosin Y, are collected by halogenated xanthenes. These anionic chemicals can confine their contact with bacterial cells and their photodynamic effects while having strong singlet oxygen quantum yields. Benzofurans, coumarins, anthraquinones, furanocoumarins, and flavin derivatives are naturally occurring compounds. Curcumin, riboflavin, and hypericin are characterized by an absorption spectrum in white light or UV-A.

Dias *et al.* [3] concluded that as an actively working PS, curcumin relies on the concentrations used, the types and fluxes of light sources, the co-solvent, the target microorganism species, and the growth pattern of homogeneous microorganisms. The authors noted that while it may be difficult to make sense of the varying parameters and detailed protocols, they expect using curcumin and its analogs to improve existing photodynamic protocols for infectious diseases, surface sterilization, and holistic food safety. Curcumin's effectiveness in photoinactivation of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) and *Staphylococcus aureus* (MSSA) was investigated by Ribeiro *et al.* [13] observed that MSSA was completely photoactivated at curcumin concentrations between 5.0 and 20.0 M after 20 minutes of incubation and under various blue-light power densities. They deduced that the integration of curcumin with LED light in hospital settings might be a technique for eliminating pathogens like MRSA. Based on the quantity of photons absorbed, Le *et al.* [14], investigated the antibacterial activity of curcumin with aloe-emodin under PDT with the demonstration of decreased *S. aureus* and *E. coli* counts by around 2.3 and 1.1 log units, respectively.

Dhanalekshmi *et al.* [15] in their comprehensive evaluation of non-toxic, high photostability, inorganic noble metal nanoparticles (NPs), emphasize that noble metals such as silver and gold are remarkable due to their unique optoelectronic properties depending on their size and shape. They pointed out that in addition to coating inorganic/organic materials on the noble metal, making the NPs less harmful in terms of toxicity and biocompatibility, coating inorganic/organic complex NPs shields the noble metals, stabilizing them against chemical corrosion and promoting ROS generation. Ren *et al.* [16] loaded brusatol (Bru) on the surface of UVA-sensitive zinc oxide (ZnO) coated magnetic nanoparticles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{ZnO}$ -Bru) and as a result of the study,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{ZnO}$ -Bru was successfully synthesized and photodynamic therapy was combined with photochemotherapy, which showed a higher inhibitory effect on carcinoma cells. Another nanoparticle-based study dedicated to the rise of nanotechnology, to get beyond the drawbacks of using porphyrin as PS and to determine the effectiveness of PDT, Tsolekile *et al.* [17] conjugated ZnCuInS/ZnS quantum dots (QDs) to 5,10,15,20-tetrakis(3-hydroxyphenyl) porphyrin (mTHPP). QDs, mTHPP, and conjugate activity against the murine metastatic melanoma cell line were assessed in the presence and absence of LED irradiation. In comparison to bare QDs (19%) and mTHPP (1%), the conjugate showed the highest reduction in cell viability after LED exposure (72%).

### **B. 3. Molecular Oxygen**

The desired functioning of the photodynamic therapy mechanism is related to the presence of emerging ROS [6]. In this respect, singlet oxygen ( $^1\text{O}_2$ ) converted from molecular oxygen by PSs is responsible for detrimental cellular effects. Singlet oxygen destroys cell organelles and results in the programmed death of cells (apoptosis). Aerobic bacteria employ molecular oxygen ( $\text{O}_2$ ), a nonpolar, tiny molecule that diffuses through the cellular membrane, for oxidation and respiration processes. Oxygen enters the reduction process for energy production after passing through the membranes, causing oxidative phosphorylation and ATP synthesis, and performing the initial step of the ROS formation cycle.

### **B. 4. Others**

Molecular oxygen, PS, and light are essential conditions for PDT implementation. The combination of these three elements, each of which is essential, determines how effective PDT will work. Photosensitizer is the most significant component in the mechanism of PDT owing to its operation and safety issues, but oxygen is frequently the most challenging to manage. However, from the perspective of food substrates, the types of food components, environmental restrictions, or process limitations will also have an influence, thus, acidity, temperature, and buffer agents must be taken into consideration to ascertain whether PDT can be applied in real-life utilization.

## **III. MEDICAL AND DENTAL IMPLEMENTATIONS OF PDT**

### **A. DENTAL APPLICATIONS**

Plaque biofilm, or bacterial biofilms on the tooth surface, is a major contributor to the development of periodontal disease, endodontic infections such as peri-implantitis, caries, and several other problems beyond the mouth cavity. Dental plaque that has formed on the surface of teeth from *Streptococcus mutans* in the oral cavity is the leading cause of dental caries. Liang *et al.* [18] evaluated the antibacterial effect of hematoporphyrin monomethyl ether (HMME) and methylene blue (MB) with the different PS-light combinations on *S. mutans* biofilm and resulted that MB-aPDT could be an appropriate tool instead of HMME-aPDT for the plaque biofilm.

The clinical signs of peri-implantitis, an inflammatory pathological state of the body that affects the hard and soft tissues around dental implants, primarily affect the alveolar bone and peripheral gingival soft tissues. PDT for treating peri-implantitis also has apparent benefits for periodontal pathogenic bacteria [19]. Based on Caccianiga *et al.* [20] study, photodynamic therapy was better at diminishing trauma and pain while healing inflammation. After six months of treatment of peri-implantitis with PDT, the

periodontitis, infection detection depth, and frequency of bleeding, with high bacteria load were reduced [21].

The most prevalent form of periodontal disease, chronic periodontitis, is linked to a persistent buildup of bacterial plaque. Physical debridement should be followed by the administration of local/systemic antibiotics because mechanical procedures alone are insufficient for the treatment. Alternative therapies, including PDT, have resulted from these medications' adverse or side effects, such as bacterial resistance and patient allergies.

## **B. MEDICAL APPLICATIONS**

PDT is an attractive alternative approach as an antibiotherapy for photoinactivation of a wide spectrum of pathogens, either Gram (+) or Gram (-), fungi, parasites, and viruses responsible for diverse illnesses in humans [22]. The effectivity of aPDT in the framework of inhibition of pathogens has been tested on many experimental parameters due to the development of resistance to commonly used antibiotics that are expected to be effective. Halili *et al.* [23] assessed the methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolates' susceptibility to inhibition by rose bengal and riboflavin-mediated photodynamic treatment *in vitro*. Two multidrug-resistant MRSA bacteria were completely inhibited from growing *in vitro* by PDT mediated by rose bengal and riboflavin. It is considered crucial for treating bacterial keratitis caused by MRSA, which scars the cornea and impairs its functionality. Ma *et al.* [24] investigated the photodynamic effects on both azole-sensitive and azole-resistant *Candida albicans in vitro* using aloe-emodin (AE), a natural photosensitizer derived from *Aloe vera* and *Rheum palmatum*. It was demonstrated that AE is a viable PS for use in PDT of *Candida albicans* strains resistant to antibiotics, and AE-mediated PDT exhibits promising antifungal results. It is of great vitality that such studies for the future resistant strain crisis accelerate and are designed on a large scale.

Leg ulcers (LUs) are painful, debilitating, resistant to antibiotics, and impair the patient's quality of life standard. Krupka *et al.*, [25] PDT effectively treated patients with infected chronic LUs. 20 patients were divided into two experimental groups at random and given either 5-aminolevulinic acid photodynamic treatment or local octenidine dihydrochloride (octenilin gel) exposed to a placebo light source with an inserted filter that simulated red light (ALA-PDT). 8 months later, eight patients in the PDT group had had full remission (CR), eight had undergone partial response (>50% reductions in ulcer width), and two (20%) had not.

From a viral point of view, herpes simplex virus (HSV) is mostly responsible for oral and perioral herpetic lesions. Monjo *et al.* mentioned that the use of botanical plant essence orthokine compounds extracted from *Polygonum cuspidatum* and LEDs were significantly effective against HSV they thought that this effect might be due to damage to viral binding proteins [26]. Namvar *et al.* [27] compared the effects of PDT with a diode laser and/or indocyanine green (ICG) on HSV1 again and found that ICG alone had no discernible effect on viral CFU reduction. In this regard, it is difficult for the photosensitizer to have a significant toxic effect or to be the basis for inactivation without light exposure. Furthermore, coronavirus, another virus that has taken place most frequently on our agenda in recent years, was a target for Almeida *et al.* [28]. They proposed that COVID-19 may be reduced using photodynamic therapy employing well-known, secure, and affordable photosensitizers, such as methylene blue or protoporphyrin-IX, to treat infected patients, create useful photoactive textiles, auto-disinfect surfaces, or purify water and air. Against another important virus, papillomavirus, which is the cause of approximately 5% of cancers worldwide, Ambreen *et al.* [29] stated that photodynamic therapy with curcumin increases cell death, inhibits cell growth, and reduces colony formation and cell migration in papillomavirus-associated tumor cell lines.

## **IV. FOOD INDUSTRY PRACTICES OF PDT**

In recent years, the accelerating researches on the implementation of PDT to in the agri-food field contribute to new knowledge on the inactivation of microorganisms, especially in food matrices. Therefore, the need for progressively prominent studies pointing out the use of aPDT in the food industry is increasing. According to a recent study concentrating on food safety, most studies that have been

published to date have been based mostly on research on the photodynamic inactivation of bacteria [30]. Considering that bacteria are the most common cause of foodborne illness [8], their predominance in the studies summarized in Table 1 is comprehensible.

Photosensitization holds promise for developing novel fruit and vegetable preservation methods [31] since it is a non-thermal, environmentally friendly, and cost-effective antibacterial treatment [32]. Therefore decontamination of fruit and vegetables is one of the most applied studies with different spoilage microorganisms or food-borne pathogens. Sheng *et al.* [33] conducted keystone research for the photosensitizing efficacy of vitamin K3 under UV-A, sunlight simulated and their antimicrobial activity against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 on lemon surfaces was investigated. On lemon surfaces, the combined antibacterial actions decreased *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 by more than 5 log CFU/g and *Salmonella* Enteritidis by ~4 log CFU/g immediately following the treatment. Considering the share of *L. monocytogenes* in the morbidity and mortality of foodborne diseases and the causative agent of listeriosis, Huang *et al.* [34] elucidated the creation of antibacterial and antibiofilm blue light emitting diode PDT enhanced with 0.2  $\mu$ M curcumin. Curcumin-supplemented PDT inactivated planktonic cells >4 log CFU/mL (99.99%) in 5 minutes even with a low dose (0.54 J/cm<sup>2</sup>). Therefore, curcumin-mediated PDT has been recognized in the literature as a valid and non-thermal technique for inactivating planktonic and biofilm pathogens [35]. However, inactivation in complex food matrices instead of planktonic cells remains lower; therefore, suspension experimental designs will need to be carried forward. In one of the other encouraging studies, during a 15-minute exposure to xenon light, Cho and Ha [36] found that the cell counts of *E. coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* diminished by 6.77, 2.74, and 6.43 log, respectively, without causing sublethal harm. The treated tomato juice samples' color, taste, pH, and lycopene concentration were assessed, but no appreciable changes were discovered. As this research shows, combined research on sensory and nutritional preservation strongly impacts the reality and feasibility of photodynamic therapy in food compositions.

Using thermal and chemical-based technologies for microbial control in the food sector frequently has a negative reputation called not environmentally friendly and can alter the finished goods' nutritional and organoleptic qualities. In addition, the effectiveness of sanitizing agents may decrease when microbial cells can develop biofilms. For this purpose, Silva *et al.* [37] searched the effect of PDT and the state of biofilms by using rose bengal and erythrosine with green LED against planktonic *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*, *Escherichia coli*, and *Listeria innocua* in plants. Notably, the culturability of the biofilm cells decreased to undetectable levels, although higher concentrations of photosensitizers (0.01-50.0  $\mu$ mol/L) had to be applied. Another opportunistic microorganism is *Pseudomonas aeruginosa*, one of the leading microorganisms that can form biofilms by adhering to food and food contact surfaces. Alam *et al.* [38] targeted the inactivation of ampicillin-resistance *P. aeruginosa* PAO1 but emphasized the inadequacy of using hypericin and orange light for the inactivation of the microorganism. It was found that using ampicillin and hypericin together, supported by orange light, 3.4 log reduced *P. aeruginosa*. However, it is thought that the preference of photodynamic therapy together with ampicillin, which is intended to replace it, might be used in the free-drug transition phase. In a decontamination study that offers a perspective where the surface area is changed, Yu *et al.* [39] evaluated the fresh-cut potato slices that were exposed to LED with 30  $\mu$ M curcumin solution and as a result, *E. coli* and *S. aureus* were reduced by 2.43 and 3.18 log respectively. As a distinctive aspect of the study, PDT boosted phenylalanine ammonia-lyase activity while decreasing peroxidase and polyphenol oxidase activities, improving the overall antioxidant capacity with possible shelf life duration of the product, which is important for both dietary and waste aspects. Polysaccharide, lipid, or protein-based edible package materials are getting more demand in the sustainability-focusing era so that in research about composite films was evaluated. When 1% CS-RB composite film was applied to a salmon with 5 log of the initial load, *L. monocytogenes* and *Shewanella baltica* were decreased by about 3 log and the cells of *Vibrio parahaemolyticus* were totally inactivated [40]. In another research on the solution of photodynamic therapy for another common foodborne disease factor in packed materials, Le *et al.* [41] developed a film based on poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalate) combined with aloe-emodin under blue light and the performance of the material showed 4.7 log bactericidal activity against *E. coli*.



**Table 1.** Food-borne diseases and spoilage-related microorganisms with their reductions with PDT.

Type of Photosensitizer	Microorganism(s)	Source of light (Wavelength and Irradiance)	Fluence	Session duration	Substrate	Reduction	Reference
Riboflavin (5 µM)	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Blue LED light: 360-1100 nm -	30 J/cm <sup>2</sup>	19 min 23s	Apple juice	3 log CFU/ml	[42]
	<i>Salmonella</i> Typhimurium					~4.3 log CFU/ml	
Curcumin (20µM)	<i>Escherichia coli</i> DH5α	Blue LED light: 470 nm 60 mW/cm <sup>2</sup>	3.6 J/cm <sup>2</sup>	60 s	Oyster	3.5 log CFU/g	[43]
-	<i>Salmonella</i> Agona <i>Salmonella</i> Newport <i>Salmonella</i> Saintpaul <i>Salmonella</i> Typhimurium	LED light: 405 ± 5 nm 10 ± 1 mW/cm <sup>2</sup>	1.3-1.7 kJ/cm <sup>2</sup>	36-48 h	Fresh-cut papaya	0.3-1.3 log CFU/g	[44]
Hypericin (1.5x 10 <sup>5</sup> M)	<i>Bacillus cereus</i>	LED light: 585 nm 3.84 mW/ cm <sup>2</sup>	6.8 J/cm <sup>2</sup>	30 min	Fruits and vegetables	4.4 log CFU/ml	[45]
Riboflavin (150 µmol/L)	<i>Salmonella</i> Typhimurium <i>Salmonella</i> Enteritidis	Blue LED light: 455 ± 5 nm 5.2 mW/cm <sup>2</sup>	93.6 J/cm <sup>2</sup>	-	Tuna	2.1 log CFU/ml	[46]

Curcumin (40 $\mu$ M)	<i>Staphylococcus aureus</i>	LED light: 450 nm 55 mW/cm <sup>2</sup>	15 J/cm <sup>2</sup>	30 min	Beef	1.5 $\pm$ 0.2 log CFU/ml	[47]
Curcumin (80 $\mu$ M)			10 J/cm <sup>2</sup>		Chicken	1.4 $\pm$ 0.2 log CFU/ml	
			Pork	0.6 $\pm$ 0.4 log CFU/ml			
			Apple	2.0 $\pm$ 0.4 log CFU/ml			
Curcumin (200 $\mu$ M)	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	LED light: 430 $\pm$ 5 nm	150 J/cm <sup>2</sup>	-	Bovine casing	2.7 $\pm$ 0.1 log CFU/ml	[48]
	<i>Salmonella Typhimurium</i>					3.8 $\pm$ 0.2 log CFU/ml	
Curcumin (10 $\mu$ M)	<i>Staphylococcus aureus</i>	Blue LED light: 440 $\pm$ 5 nm 3.6 $\times$ 10 <sup>-3</sup> W/cm <sup>2</sup>	2.592 J/cm <sup>2</sup>	12 min	Mango juice	~5 log CFU/ml	[49]
					Pineapple juice		
CUR-D-Tyr co-crystal (5 $\mu$ g/ml)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Blue LED light: 460 nm 40-45 mW/cm <sup>2</sup>	-	20 min	Cooked clams	~2.3 log CFU/ml	[50]
Curcumin (5 $\mu$ g/ml)						~1.7 log CFU/ml	

Curcumin (10 and 20 $\mu$ M)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	LED light: 470 nm 0.06 W/cm <sup>2</sup>	3.6 J/cm <sup>2</sup>	60 s	-	6.5 log CFU/ml	[51]
Curcumin (10 mg/L)	<i>Aeromonas hydrophila</i>	LED light: 470 nm 20-40 mW/cm <sup>2</sup> + UV-A light: 400 nm 18W	3.6 J/cm <sup>2</sup>	15/30 min LED + 5/10 min UV-A	-	4 log CFU/ml	[52]
	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>					6 log CFU/ml	
Curcumin (50 $\mu$ mol/L)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Blue LED light: 460 nm	-	60 min	Fresh-cut Hami melons	~1.8 log CFU/g	[53]
Curcumin (300 mg/L)	<i>Listeria monocytogenes</i>	LED light: 430 nm 0.107 W/cm <sup>2</sup>	32.1 kJ/m <sup>2</sup>	5 min	Chicken	2.9 log CFU/cm <sup>2</sup>	[54]
	<i>Salmonella</i>					1.5 log CFU/cm <sup>2</sup>	
Curcumin (50 $\mu$ M)	<i>Aspergillus flavus</i>	LED light: 420 nm	60 J/cm <sup>2</sup>	-	Maize kernels	~3 log CFU/g	[55]
Curcumin (50 $\mu$ M)	<i>Aspergillus flavus</i>	Xenon arc lamp machine: 350-650 nm 118.71 mW/cm <sup>2</sup>	114.5 J/cm <sup>2</sup>	15 min	Peanuts	1.7 log CFU/ml	[56]
Curcumin (25 $\mu$ M)	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Blue LED light: 430-470 nm 7.2 mW/cm <sup>2</sup>	4.32 J/cm <sup>2</sup>	10 min	Fresh dough sheet	~5 log CFU/ml	[57]

Curcumin (50 $\mu$ M) + 0.4% (w/v) EDTA	<i>Burkholderia cepacia</i>	Blue LED light: 425 nm 16 mW/cm <sup>2</sup>	-	30 min	-	~4 log	[58]
-	<i>Esherichia coli</i>	LED light: 405nm	-	60 min	UHT sterilized skim milk	4.69 log CFU/ml	[59]
Curcumin (100 $\mu$ M)	Total bacteria count	LED light: 410 nm	-	10 min	Fresh-cut pineapple	1.11 log	[60]
Curcumin (2 $\mu$ mol/L)	<i>Esherichia coli</i>	LED light: 420 nm 298 mW/cm <sup>2</sup>	-	510 s	Fresh-cut apple slices	0.95 log	[61]
Chlorophyllin (1 $\times$ 10 <sup>-5</sup> mol/L)	<i>Pseudomonas</i> spp.	LED light: 405 nm 5.1 W/m <sup>2</sup>	44.54 J/cm <sup>2</sup>	24 h	Fresh-cut Pakchoi	0.1-0.7 log	[62]

Methylene blue (10 $\mu$ M) + Potassium iodide (100 $\mu$ M)	Spores of <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	White LED light: 400-700 nm 140 mW/cm <sup>2</sup>	-	10 h	UHT orange juice	5 log CFU/ml	[63]
Eosin Y (10 $\mu$ mol/L)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Green LED light: 490-570 nm 10 mW/cm <sup>2</sup>	106.2 J/cm <sup>2</sup>	10 min	-	1-2.5 log CFU/ml	[64]
Quercetin (75 $\mu$ M)	<i>Esherichia coli</i> O157:H7	Blue LED light: 405 nm 19.5 mW/cm <sup>2</sup>	80 J/cm <sup>2</sup>	68 min 21s	-	4 log CFU/ml	[65]
	<i>Listeria monocytogenes</i>					6 log CFU/ml	

## **V. CONCLUSION & FUTURE DIRECTIONS**

Developing effective and reliable aPDT practices requires specialist knowledge in various research areas, including physics, chemistry, and biology, with the disciplines of engineering due to creating a defense mechanism against microorganisms. The increasing volume and deepening intensity of interdisciplinary studies about PDT fortify the potential for aPDT to transform into a routine sterilization technology for the food industry. However, due to the complex microbial flora, and multi-layered and shelf-life-dependent nature of food matrices, further studies are needed for commercialization and large-scale adoption. At this point, the system parameters that will be determined by the cooperation of academia and industry specifications for each food target will be decisive. Besides, aPDT will be a more promising method if it will be part of a hurdle approach with non-thermal novel technologies like PEF and ultrasound. The selection of natural photosensitizers such as curcumin, preferred from the consumer perspective is also a positive choice for catching up with the current green trends and providing sustainability for the technique. Finally, accelerated stability tests to ensure food safety might be an essential part of the main target.

## **VI. REFERENCES**

- [1] M. Q. Mesquita, Cristina Barrocas Dias, Maria, A. Almeida, and Maria, “Revisiting Current Photoactive Materials for Antimicrobial Photodynamic Therapy,” *Molecules*, vol. 23, no. 10, pp. 2424–2424, Sep. 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules23102424>.
- [2] T. Dubey and S. Chinnathambi, “Photodynamic sensitizers modulate cytoskeleton structural dynamics in neuronal cells,” *Cytoskeleton*, vol. 78, no. 6, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/cm.21655>.
- [3] L. D. Dias, K. C. Blanco, I. S. Mfouo-Tynga, N. M. Inada, and V. S. Bagnato, “Curcumin as a photosensitizer: From molecular structure to recent advances in antimicrobial photodynamic therapy,” *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 45, pp. 100384, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2020.100384>.
- [4] I. R. Calori, W. Caetano, A. C. Tedesco, and N. Hioka, “Self-aggregation of verteporfin in glioblastoma multiforme cells: a static and time-resolved fluorescence study,” *Dyes and Pigments*, vol. 182, pp. 108598, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108598>.
- [5] A. D. Dodge and J. P. Knox, “Photosensitisers from plants,” *Pesticide Science*, vol. 17, no. 5, pp. 579–586, Oct. 1986, doi: <https://doi.org/10.1002/ps.2780170515>.
- [6] E. Polat and K. Kang, “Natural Photosensitizers in Antimicrobial Photodynamic Therapy,” *Biomedicines*, vol. 9, no. 6, pp. 584, May 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9060584>.
- [7] I. J. Macdonald and T. J. Dougherty, “Basic principles of photodynamic therapy,” *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines (JPP)*, vol. 05, no. 02, pp. 105–129, Feb. 2001, doi: <https://doi.org/10.1002/jpp.328>.
- [8] L. do Prado-Silva, G. T. P. Brancini, G. Ú. L. Braga, X. Liao, T. Ding, and A. S. Sant’Ana, “Antimicrobial photodynamic treatment (aPDT) as an innovative technology to control spoilage and pathogenic microorganisms in agri-food products: An updated review,” *Food Control*, vol. 132, pp. 108527, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108527>.

- [9] G. Plotino, N. M. Grande, and M. Mercade, "Photodynamic therapy in endodontics," *International Endodontic Journal*, vol. 52, no. 6, pp. 760–774, Dec. 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/iej.13057>.
- [10] A. Warriar, N. Mazumder, S. Prabhu, K. Satyamoorthy, and T. S. Murali, "Photodynamic therapy to control microbial biofilms," *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 33, pp. 102090, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.102090>.
- [11] T. M. S. Simões, A. L. A. Batista, J. de A. Fernandes Neto, and M. H. C. de V. Catão, "Aplicabilidade da terapia fotodinâmica na Odontopediatria," *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION*, vol. 8, no. 12, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.21270/archi.v8i12.4639>.
- [12] M. Ribeiro, I. B. Gomes, María José Saavedra, and M. Simões, "Photodynamic therapy and combinatory treatments for the control of biofilm-associated infections," *Letters in Applied Microbiology*, vol. 75, no. 3, pp. 548–564, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/lam.13762>.
- [13] A. P. D. Ribeiro, A.C. Pavarina, L.N. Dovigo, I. L. Brunetti, V.S. Bagnato, C. E. Vergani, and C. A. de Souza Costa, "Phototoxic effect of curcumin on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and L929 fibroblasts," *Lasers in Medical Science*, vol. 28, no. 2, pp. 391–398, Feb. 2012, doi: <https://doi.org/10.1007/s10103-012-1064-9>.
- [14] T. D. Le, P. Phasupan, and L. T. Nguyen, "Antimicrobial photodynamic efficacy of selected natural photosensitizers against food pathogens: Impacts and interrelationship of process parameters," *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 32, pp. 102024, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.102024>.
- [15] K.I. Dhanalekshmi, K. Sangeetha, P. Magesan, J. Johnson, X. Zhang, and K. Jayamoorthy, "Photodynamic cancer therapy: role of Ag- and Au-based hybrid nano-photosensitizers," *Journal of Biomolecular Structure & Dynamics*, vol. 40, no. 10, pp. 4766–4773, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1858965>.
- [16] Q. Ren, C. Yi, J. Pan, X. Sun, and X. Huang, "Smart Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO Core-Shell Nanophotosensitizers Potential for Combined Chemo and Photodynamic Skin Cancer Therapy Controlled by UVA Radiation," *International Journal of Nanomedicine*, vol. 17, pp. 3385–3400, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.2147/ijn.s372377>.
- [17] N. Tsolekile, S. Parani, E. F. de Macedo, T. C. Lebepe, R. Maluleke, V. Ncapayi, M. C. Matoetoe, S. P. Songca, K. Conceição, D. B. Tada, and O. S. Oluwafemi, "Photodynamic Therapy and Antibacterial Activities of a Novel Synthesized Quaternary Zn-Cu-In-S/ZnS QDs- mTHPP Porphyrin Conjugate," *International Journal of Nanomedicine*, vol. 17, pp. 5315–5325, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.2147/ijn.s382302>.
- [18] X. Liang, Z. Zou, C. Li, X. Dong, H. Yin, and G. Yan, "Effect of antibacterial photodynamic therapy on *Streptococcus mutans* plaque biofilm *in vitro*," *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, vol. 13, no. 06, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.1142/s1793545820500224>.
- [19] L. Gholami, S. Shahabi, M. Jazaeri, M. Hadilou, and R. Fekrazad, "Clinical applications of antimicrobial photodynamic therapy in dentistry," *Frontiers in Microbiology*, vol. 13, pp. 1020995, 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1020995>.
- [20] G. Caccianiga, G. Rey, M. Baldoni, and A. Paiusco, "Clinical, Radiographic and Microbiological Evaluation of High Level Laser Therapy, a New Photodynamic Therapy Protocol, in Peri-Implantitis

Treatment; a Pilot Experience,” *BioMed Research International*, vol. 2016, pp. 1–8, 2016, doi: <https://doi.org/10.1155/2016/6321906>.

[21] T. Zhao, J. Song, Y. Ping, and M. Li, “The Application of Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) in the Treatment of Peri-Implantitis,” *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2022, pp. 1–8, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/3547398>.

[22] T. C. Pham, V.-N. Nguyen, Y. Choi, S. Lee, and J. Yoon, “Recent Strategies to Develop Innovative Photosensitizers for Enhanced Photodynamic Therapy,” *Chemical Reviews*, vol. 121, no. 21, pp. 13454–13619, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00381>.

[23] F. Halili *et al.*, “Rose Bengal– and Riboflavin-Mediated Photodynamic Therapy to Inhibit Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus Keratitis Isolates,” *American journal of ophthalmology*, vol. 166, pp. 194–202, Jun. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2016.03.014>.

[24] W. Ma, C. Liu, J. Li, M. Hao, Y. Ji, and X. Zeng, “The effects of aloe emodin-mediated antimicrobial photodynamic therapy on drug-sensitive and resistant *Candida albicans*,” *Photochemical and Photobiological Sciences*, vol. 19, no. 4, pp. 485–494, Apr. 2020, doi: <https://doi.org/10.1039/c9pp00352e>.

[25] M. Krupka, A. Bożek, D. Bartusik-Aebisher, G. Cieślak, and A. Kawczyk-Krupka, “Photodynamic Therapy for the Treatment of Infected Leg Ulcers—A Pilot Study,” *Antibiotics*, vol. 10, no. 5, pp. 506, Apr. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050506>.

[26] A. Monjo *et al.*, “Photodynamic Inactivation of Herpes Simplex Viruses,” *Viruses*, vol. 10, no. 10, pp. 532, Sep. 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/v10100532>.

[27] M. A. Namvar, M. Vahedi, H. Abdolsamadi, A. Mirzaei, Y. Mohammadi, and F. Azizi Jalilian, “Effect of photodynamic therapy by 810 and 940 nm diode laser on Herpes Simplex Virus 1: An in vitro study,” *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 25, pp. 87–91, Mar. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.11.011>.

[28] A. Almeida, M. A. F. Faustino, and M. G. P. M. S. Neves, “Antimicrobial Photodynamic Therapy in the Control of COVID-19,” *Antibiotics*, vol. 9, no. 6, pp. 320, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/antibiotics9060320>.

[29] G. Ambreen *et al.*, “Sensitivity of Papilloma Virus-Associated Cell Lines to Photodynamic Therapy with Curcumin-Loaded Liposomes,” *Cancers*, vol. 12, no. 11, pp. 3278, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/cancers12113278>.

[30] V. Ghate, E. Zelinger, H. Shoyhet, and Z. Hayouka, “Inactivation of *Listeria monocytogenes* on paperboard, a food packaging material, using 410 nm light emitting diodes,” *Food Control*, vol. 96, pp. 281–290, Feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.026>.

[31] A. A. Astafiev *et al.*, “Unprecedented Coordination-Induced Bright Red Emission from Group 12 Metal-Bound Triarylazoimidazoles,” *Molecules*, vol. 26, no. 6, pp. 1739–1739, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26061739>.

[32] P. S. Raju, Om Prakash Chauhan, and Amarinder Singh Bawa, *Postharvest Handling Systems and Storage of Vegetables*. Wiley, 2018, pp. 247–264. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119098935.ch10>.

[33] L. Sheng, Z. Zhang, G. Sun, and L. Wang, “Light-driven antimicrobial activities of vitamin K3



against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Enteritidis,” *Food Control*, vol. 114, pp. 107235, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107235>.

[34] J. Huang *et al.*, “Enhanced antibacterial and antibiofilm functions of the curcumin-mediated photodynamic inactivation against *Listeria monocytogenes*,” *Food Control*, vol. 108, pp. 106886–106886, Feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106886>.

[35] Y. Shi *et al.*, “New Horizons in Microbiological Food Safety: Ultraefficient Photodynamic Inactivation Based on a Gallic Acid Derivative and UV-A Light and Its Application with Electrospun Cyclodextrin Nanofibers,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 69, no. 49, pp. 14961–14974, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c04827>.

[36] G. Cho and J. Ha, “ErythrosineB(RedDyeNo. 3): A potential photosensitizer for the photodynamic inactivation of foodborne pathogens in tomato juice,” *Journal of Food Safety*, vol. 40, no. 4, May 2020, doi: <https://doi.org/10.1111/jfs.12813>.

[37] Y. Liu *et al.*, “Enhancement of *E. coli* inactivation by photosensitized erythrosine-based solar disinfection under weakly acidic conditions,” *Water Research*, vol. 212, pp. 118125–118125, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118125>.

[38] S. T. Alam, T. A. N. Le, J.-S. Park, H. C. Kwon, and K. Kang, “Antimicrobial Biophotonic Treatment of Ampicillin-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* with Hypericin and Ampicillin Cotreatment Followed by Orange Light,” *Pharmaceutics*, vol. 11, no. 12, Dec. 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11120641>.

[39] J. Yu, F. Zhang, J. Zhang, Q. Han, L. Song, and X. Meng, “Effect of photodynamic treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut potatoes,” *Food Chemistry*, vol. 362, pp. 130224, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130224>.

[40] L. Su *et al.*, “Chitosan-riboflavin composite film based on photodynamic inactivation technology for antibacterial food packaging,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 172, pp. 231–240, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.056>.

[41] T. D. Le, P. Phasupan, K. Visaruthaphong, P. Chouwatat, V. Thi Thu, and L. T. Nguyen, “Development of an antimicrobial photodynamic poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) packaging film for food preservation,” *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 30, pp. 100749, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100749>.

[42] D.-K. Kim, H.-S. Kim, and D.-H. Kang, “Inactivation efficacy of combination treatment of blue light-emitting diodes (LEDs) and riboflavin to control *E. coli* O157:H7 and *S. Typhimurium* in apple juice,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 78, pp. 103014–103014, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103014>.

[43] Y. Gao *et al.*, “Curcumin-mediated photodynamic inactivation (PDI) against DH5 $\alpha$  contaminated in oysters and cellular toxicological evaluation of PDI-treated oysters,” *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 26, pp. 244–251, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.04.002>.

[44] M.-J. Kim, W. S. Bang, and H.-G. Yuk, “405  $\pm$  5 nm light emitting diode illumination causes photodynamic inactivation of *Salmonella* spp. on fresh-cut papaya without deterioration,” *Food Microbiology*, vol. 62, pp. 124–132, Apr. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.10.002>.

- [45] K. Aponiene, E. Paskeviciute, I. Reklaitis, and Z. Luksiene, "Reduction of microbial contamination of fruits and vegetables by hypericin-based photosensitization: Comparison with other emerging antimicrobial treatments," *Journal of Food Engineering*, vol. 144, pp. 29–35, Jan. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.012>.
- [46] H. Li *et al.*, "Antibacterial potency of riboflavin-mediated photodynamic inactivation against Salmonella and its influences on tuna quality," *LWT*, vol. 146, pp. 111462, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111462>.
- [47] T. Q. Corrêa *et al.*, "Effects of ultraviolet light and curcumin-mediated photodynamic inactivation on microbiological food safety: A study in meat and fruit," *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 30, pp. 101678, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101678>.
- [48] L. S. Herculano *et al.*, "Antimicrobial curcumin-mediated photodynamic inactivation of bacteria in natural bovine casing," *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 40, pp. 103173–103173, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103173>.
- [49] Y. Yuan *et al.*, "Antibacterial Efficacy and Mechanisms of Curcumin-Based Photodynamic Treatment against Staphylococcus aureus and Its Application in Juices," *Molecules*, vol. 27, no. 20, pp. 7136–7136, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27207136>.
- [50] W.-M. Gu, D. Liú, and J. Sun, "Co-crystallization of curcumin for improved photodynamic inactivation of Vibrio parahaemolyticus and its application for the preservation of cooked clams," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 378, pp. 109816–109816, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109816>.
- [51] J. Wu, H. Mou, C. Xue, A. W. Leung, C. Xu, and Q.-J. Tang, "Photodynamic effect of curcumin on Vibrio parahaemolyticus," *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, vol. 15, pp. 34–39, Sep. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2016.05.004>.
- [52] S. Rafeeq, S. Shirooti, M. H. Schwarz, N. Nitin, and R. Ovissipour, "Inactivation of Aeromonas hydrophila and Vibrio parahaemolyticus by Curcumin-Mediated Photosensitization and Nanobubble-Ultrasonication Approaches," *Foods*, vol. 9, no. 9, pp. 1306, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/foods9091306>.
- [53] Y. Lin *et al.*, "Curcumin-Based Photodynamic Sterilization for Preservation of Fresh-Cut Hami Melon," *Molecules*, vol. 24, no. 13, pp. 2374, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules24132374>.
- [54] J. Gao, W. Srichamnong, W. Chathiran, and K. R. Matthews, "Influences of photosensitizer curcumin on microbial survival and physicochemical properties of chicken during storage," *Poultry Science*, vol. 102, no. 2, pp. 102417, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102417>.
- [55] B. A. Temba, M. T. Fletcher, G. P. Fox, J. Harvey, S. A. Okoth, and Y. Sultanbawa, "Curcumin-based photosensitization inactivates Aspergillus flavus and reduces aflatoxin B1 in maize kernels," *Food Microbiology*, vol. 82, pp. 82–88, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.12.013>.
- [56] N. Mukubesa, R. Nguenha, H. T. Hong, M. Seididamyeh, M. E. Netzel, and Y. Sultanbawa, "Curcumin-Based Photosensitization, a Green Treatment in Inactivating Aspergillus flavus Spores in Peanuts," *Foods*, vol. 11, no. 3, pp. 354, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/foods11030354>.

- [57] Z. Wang, Y. Jia, W. Li, and M. Zhang, “Antimicrobial photodynamic inactivation with curcumin against *Staphylococcus saprophyticus*, in vitro and on fresh dough sheet,” *LWT*, vol. 147, pp. 111567, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111567>.
- [58] J. Hu *et al.*, “Photodynamic inactivation of *Burkholderia cepacia* by curcumin in combination with EDTA,” *Food Research International*, vol. 111, pp. 265–271, Sep. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.042>.
- [59] A. Srimagal, T. Ramesh, and J. K. Sahu, “Effect of light emitting diode treatment on inactivation of *Escherichia coli* in milk,” *LWT-Food Science and Technology*, vol. 71, pp. 378–385, Sep. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.028>.
- [60] Y. Zou *et al.*, “Effects of curcumin-based photodynamic treatment on quality attributes of fresh-cut pineapple,” *LWT*, vol. 141, pp. 110902, Apr. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110902>.
- [61] R. Tao, F. Zhang, Q. Tang, C. Xu, Z.-J. Ni, and X. Meng, “Effects of curcumin-based photodynamic treatment on the storage quality of fresh-cut apples,” *Food Chemistry*, vol. 274, pp. 415–421, Feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.042>.
- [62] Y. Zhang, Z. Ding, C. Shao, and J. Xie, “Chlorophyllin-Based 405 nm Light Photodynamic Improved Fresh-Cut Pakchoi Quality at Postharvest and Inhibited the Formation of Biofilm,” *Foods*, vol. 11, no. 16, pp. 2541–2541, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/foods11162541>.
- [63] Leonardo do Prado-Silva *et al.*, “Antimicrobial photodynamic treatment as an alternative approach for *Alicyclobacillus acidoterrestris* inactivation,” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 333, pp. 108803–108803, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108803>.
- [64] E. Bonin *et al.*, “Photodynamic inactivation of foodborne bacteria by eosin Y,” *Journal of Applied Microbiology*, vol. 124, no. 6, pp. 1617–1628, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/jam.13727>.
- [65] In-Hwan Lee, S.-H. Kim, and D.-H. Kang, “Quercetin mediated antimicrobial photodynamic treatment using blue light on *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*,” *Current research in food science*, vol. 6, pp. 100428–100428, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.100428>.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Galvaniz Kaplı Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Kaynak Bölgesinin İncelenmesi

 Arzu ALTINPINAR <sup>a,\*</sup>,  Hakan ERDEM <sup>b</sup>,  Mustafa Burak TELLİ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> CPS Pressform San. Tic. A. Ş., Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>b</sup> CPS Pressform San. Tic. A. Ş., Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [arzualtinpinar88@gmail.com](mailto:arzualtinpinar88@gmail.com)

DOI: 10.29130/dubited.1250495

### Öz

Kaynak, temel mekanik özelliklere sahip bileşenlerin veya parçaların üretimi için kullanılan bir imalat sürecidir. Metallerinin birleştirilmesi alanında nokta direnç kaynağı; otomotiv ve beyaz eşya gibi birçok imalat sanayide pratik ve zaman kazandıran uygulamalar sunmaktadır. Nokta direnç kaynağı sırasında kaynak akımı, kaynak ısı girişini belirleyen ve ardından kaynak kalitesi üzerinde büyük etkisi olan en önemli proses parametresidir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanımı oldukça yaygın olan düşük karbonlu çelik sacların birleştirilmesinde kullanılan nokta direnç kaynağının malzemenin mekanik ve mikro yapı özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Kaynak yapılan malzeme olarak DX54D+Z100 kalite düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. Birleştirme işlemlerinde 6 mm çaplı bakır alaşımı elektrot kullanılmıştır. Kaynak parametrelerinden elektrot baskı kuvveti 1 kN olarak sabit tutularak, kaynak akımı 6,6 kA, 7,6 kA ve 8,6 kA ve kaynak zamanı her üç numune için 200 ms sabit tutularak çalışmalar yapılmıştır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, malzemenin kesit yüzeyinde Vickers sertlik testi yapılmıştır. Ayrıca kesit numunesi alınmış malzeme; %3' lük nital çözeltisi ile dağlanıp ve ışık mikroskobunun aydınlık alan görüntü kontrastında kaynak yapılmış bölgeler incelenmiştir. Kaynaklanan numunelerin kristal yapı oluşumları X - Işınları difraksiyonu (XRD) ile analiz edilmiştir. Son olarak farklı kaynak akımlarının kopma mukavemetine etkilerini incelemek üzere çekme-makaslama testi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, artan kaynak akım şiddetine bağlı olarak ısı girdisinin artması sebebiyle esas metalden kaynak çekirdeğine doğru tane boyutlarında artış olduğu belirlenmiştir. Artan ısı girdisinin aynı zamanda; kaynak bölgesinde sertlik artışına, çekirdek çapının artışına ve kopma mukavemeti artışına neden olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Otomotiv, Nokta Direnç Kaynağı, Düşük Karbonlu Çelik

## Joining Galvanized Steel Sheets by Resistance Spot Welding and Inspection of the Welding Zone

### ABSTRACT

During resistance spot welding, the welding current is the most important process parameter that determines the weld heat input and subsequently has a major impact on the weld quality. Welding is a manufacturing process used to manufacture components or parts with basic mechanical properties. Resistance spot welding in the field of metal joining; It offers practical and time-saving applications in many manufacturing industries such as automotive and white goods. In this study, the effect of resistance spot welding used in joining low carbon steel sheets, which is widely used in the automotive industry, on the mechanical and microstructure properties of the material was investigated. DX54D+Z100 quality low carbon steel was used as the material to be welded. This steel sheet material was welded to appropriate standards by overlapping two steel sheets with the point resistance welding

method. 6 mm diameter copper alloy electrode was used in the welding processes. Studies were carried out by keeping the electrode pressure force constant as 1 kN, welding current 6.6 kA, 7.6 kA and 8.6 kA and welding time constant 200 ms for all three samples. After the welding process was completed, the Vickers hardness test was performed on the cross-sectional surface of the material and the results were examined. In addition, the material from which the section sample was taken; The areas etched with 3% nital solution and welded in the bright field image contrast of the light microscope were examined. The crystal structure formations of the welded samples were analyzed by X-Ray diffraction (XRD). Finally, a tensile test was performed to examine the effects of different welding currents on the rupture strength. As a result of the examinations, it was determined that there is an increase in grain size from the base metal to the weld core due to the increase in heat input depending on the increasing welding current intensity. At the same time, increasing heat input; It has been determined that it causes an increase in hardness, an increase in core diameter and an increase in rupture strength in the weld zone.

*Keywords: Automotive, Spot Resistant Welding, Low Carbon Steel.*

## I. GİRİŞ

Temel olarak kaynak, sıcaklık, basınç ve metalürjik koşulların uygun kombinasyonunun lokal olarak uygulanması yoluyla iki metalin kalıcı birleşimlerini elde etmek için kullanılır. Bu birleştirme işleminde en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemi ise nokta direnç kaynağıdır [1]. Nokta direnç kaynağı özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörü başta olmak üzere pek çok sektörde başlıca imalat yöntemlerindedir. Üretici ana sanayilerin belirlediği kaynak özelliklerine göre yan sanayilerinden bu kaynak özelliklerine uygun nokta direnç kaynağını uygulamaları beklenmektedir. Özellikle araçların gövde sac parçalarının birleştirilmesinde hem seri üretime uygunluğu hem de maliyeti açısından ciddi oranda tercih edilmektedir.

Araç üzerinde uygulanan nokta direnç kaynak sayısı aracın marka ve modeline göre değişmektedir. Büyük bir binek taşıtta ortalama olarak 4000 ila 6000 arasında nokta direnç kaynağı uygulandığı bilinmektedir [2]. Kaynaklı imalat yöntemlerinde öncelikle sorgulanan özellik, kaynağın yapısal karakteristikleri olup, statik ve dinamik yüklemelerde mekanik dayanımının olmasıdır. Bunun yanında korozyon direnci, sızdırmazlık ve estetik özellikleri de ön plana çıkmaktadır [3].

Nokta direnç kaynağı yöntemi ile birleştirilen iki sac malzeme için öncelik kaynağın sağlamlığıdır. Yani nokta direnç kaynağı ile yapılan kaynak hem tasarımcının belirlediği yük aralıklarına dayanıklı olmalı hem de çukur, yetersiz dolgu, porozite ve çatlak gibi kaynak hatalarının olmadığı standart ve estetik kriterleri sağlamalıdır. Nokta direnç kaynağı ile imal edilen parçalarda elektrik akımının geçmesiyle oluşan yüksek ısının ve baskı kuvvetinin etkisiyle çekirdek ve etrafında kaynak izi oluşmaktadır [4].

Bu imalat yöntemine birden çok değişkenin etkisi vardır. Kaynak makinesinde ayarlanan kaynak parametreleri; kaynak akımı, kaynak zamanı ve baskı kuvvetidir. Kullanılan malzemenin kaynak edilebilirliği ve elektrik direnci ise malzemeye bağlı bir değişkenlerdir ve aşağıda verilen (1) numaralı formülle ifade edilebilir [5].

$$Q = I^2 R T \quad (1)$$

Burada; Q: kaynak esnasında açığa çıkan enerjiyi, I: kaynak akımını, R: kaynak bölgesi elektriksel direncini ve T: kaynak zamanını ifade etmektedir. Nokta direnç kaynağı, bu kaynak parametrelerinin doğru kullanılmasıyla elde edilmektedir. Ayrıca bu kaynak parametreleri; sac metalin kalınlığına, yüzey temizliğine ve bilişimine bağlı olarak değişebilir [6]. Literatürde yapılan çalışmalar çoğunlukla direnç nokta kaynağı yönteminde farklı sac kalınlıkları veya kaynak parametrelerinden; akım, zaman ve baskı kuvveti gibi değişkenlerin kaynak kalitesine etkileri üzerinde yoğunluk kazanmıştır.

Bu çalışmada nokta direnç kaynağı kullanarak değişken akım değerlerinin kaynak bölgesine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; nokta direnç kaynağı ile endüstriyel uygulamalarda sıkça birleştirilen

malzemelerden biri olan düşük karbonlu galvaniz kaplı çelik sac kullanılacaktır. Galvaniz kaplı çelikler otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan ve korozyon dayanımı yüksek olan çeliklerdir. Genel olarak, otomotiv endüstrisinde çelik saclar kaynak işleminden önce kaplanmıştır. Optimum kaynak parametreleri sacların kaplanması ile değiştirilebilir. Kaplamasız sacların kaynağı ile karşılaştırıldığında, galvanizli sacların kaynağı, kaynak akımı ve baskı kuvveti gibi kaynak parametrelerinin daha hassas kontrolünü gerektirir. Kaplama kalınlığı arttıkça kaynaklanabilirlik azalır [7]. Kullandığımız sac malzemenin üzerinde bulunan galvaniz kaplama kalınlığı 100 g/mm<sup>2</sup> ' dir.

## **II. MATERYAL ve METOT**

Deneyisel çalışmada; üst üste bindirilerek nokta direnç kaynağı ile birleştirilmek üzere 1,2 mm kalınlığında galvaniz kaplı DX54D+Z100 düşük karbonlu çelik sac malzeme kullanılmıştır. Sac malzeme "Aydemir Metal" den temin edilmiştir; kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

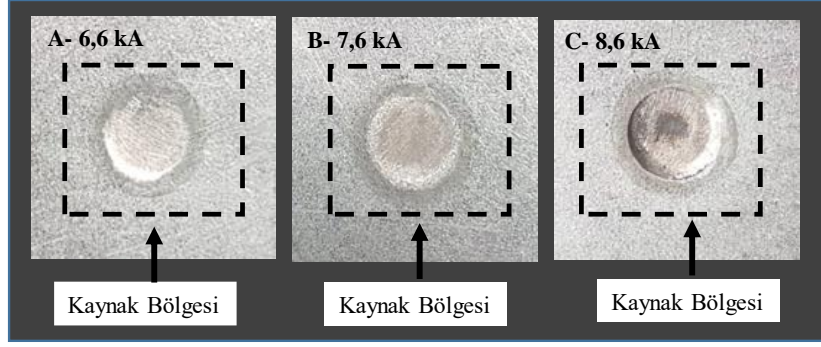
*Tablo 1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri [8].*

DX54D+Z100	Kimyasal Bileşimi(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Ti
	0,12	0,50	0,60	0,10	0,05	0,30
Mekanik Özellikler						
Akma Gerilmesi N/mm <sup>2</sup>		Kopma Gerilmesi N/mm <sup>2</sup>		Uzama Miktarı (%)		
120-220		260-350		36		

Kaynaklar tüm kontrolleri ve ayarlamaları yapılmış 75 kVA kapasiteye sahip robotik Bosh PSQ6000XQR marka nokta direnç kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. 1,2 mm kalınlığında olan galvaniz kaplı çelik sac malzeme 25 mm × 25 mm ebatlarında kesilmiş ve çentik etkisini önlemek amacıyla çapakları alınmıştır. Birleştirilecek numunelerin yüzeyleri kaynak öncesi, etanol ile temizlenerek kaynağı olumsuz etkileyebilecek kir, pas, yağ vb. maddelerden arındırılmıştır. Birbiri üzerine bindirme yapılan kısmın tam ortasına nokta direnç kaynağı uygulanmıştır.

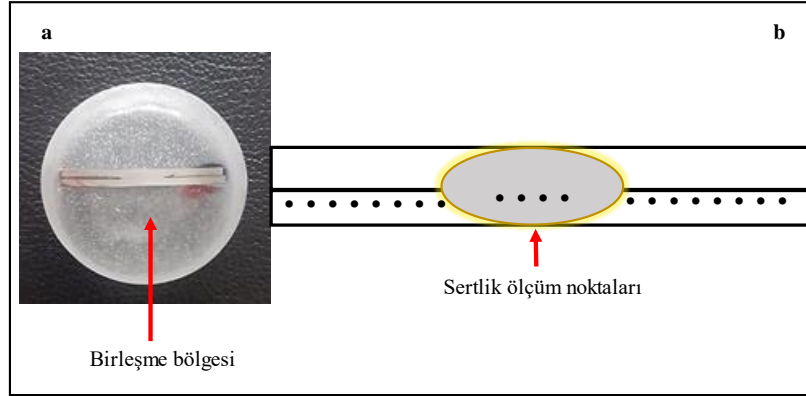
Kaynak parametreleri belirlenirken galvaniz kaplamanın varlığı göz önünde bulundurulmuştur. Sac metal yüzeyinde bulunan çinko, düşük elektrik direncine ve yüksek termal iletkenliğe sahiptir [9]. Bu nedenle, nokta direnç kaynağı işleminde, tatmin edici kaynak çekirdekleri üretmek için kaynak akımı, baskı kuvveti ve kaynak çevrim süresinin uygun bir kombinasyonu seçilmelidir.

Birleştirme işlemlerinde 6 mm çaplı bakır alaşımı elektrot kullanılmıştır. Kaynak parametrelerinden elektrot baskı kuvveti 1 kN olarak sabit tutularak, kaynak akımı 6,6 kA, 7,6 kA, 8,6 kA ve kaynak zamanı her üç numune için 200 ms sabit tutularak çalışmalar yapılmıştır. Numuneler sırasıyla; A, B ve C olacak şekilde isimlendirilmiştir. Şekil 1' de farklı akım değerlerinde üst üste bindirilerek kaynaklanmış numunelere ait makro görseller sunulmuştur.



**Şekil 1.** Üst üste bindirilerek farklı akım değerlerinde nokta direnç kaynağı yapılmış numuneler.

Kaynak işlemi bittikten sonra; “Zeiss” marka ışık mikroskobu kullanılarak aydınlık alan görüntü kontrastında numunelerin kaynak bölgesinin mikro yapısı incelenmiştir. Bunun için numuneler; kaynak çekirdeğinin tam ortasından hassas kesme ile kesilerek bakalit kalıba alınmış ve ardından sırasıyla; 320, 600, 1200 ve 2500 SiC zımpara kâğıtları ile zımparalanmış, 3 mikron elmas süspansiyon ile parlatılarak metalografik olarak hazırlanmıştır. Parlatılan numuneler %3’ lük nital çözeltisi ile dağlanmış. İşlemin devamında; numunelerinin mekanik özelliklerinin tespiti amacıyla sertlik testleri yapılmıştır. Kaynak sonrasında numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme- makaslama ve sertlik testleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri “Zwick” marka Vickers sertlik ölçme cihazında 1 kg’lık yük altında Şekil 2’te verilen noktalardan kaynak kesiti boyunca yapılmıştır. Her numunede 2 mm aralıklarla, 20 noktadan sertlik ölçümü alınmıştır.



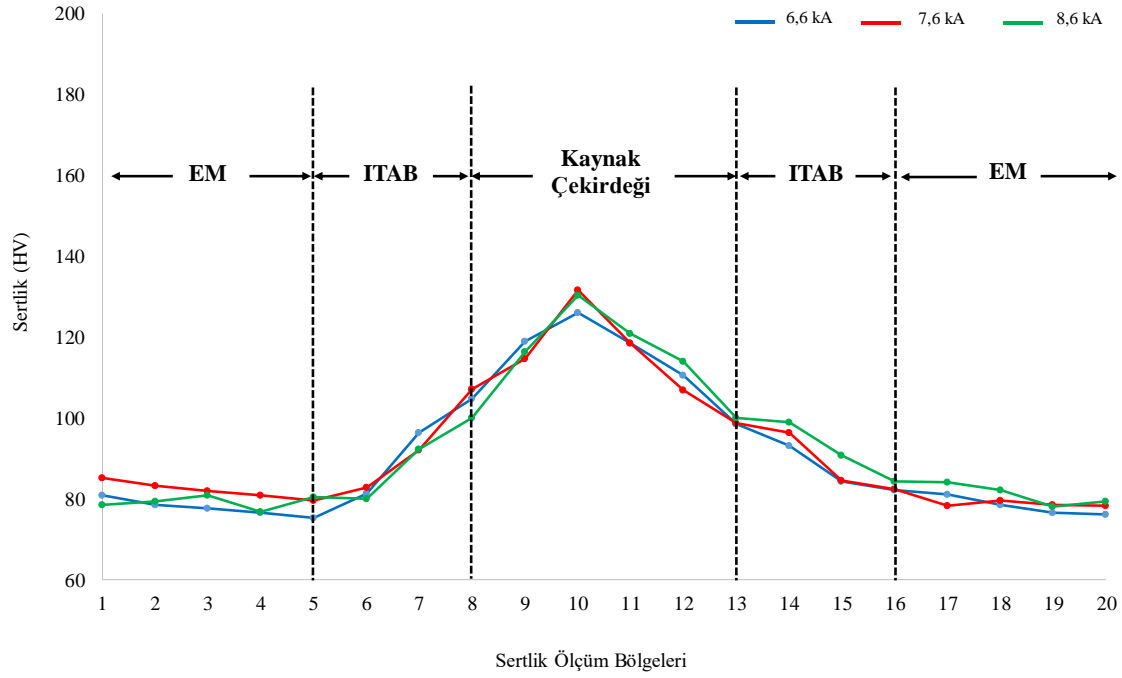
**Şekil 2.** Numuneye ait; (a) kesit görüntüsü, (b) kesitten Vickers sertlik izi alınan kısımların görüntüsü.

Kaynaklı numuneler farklı kaynak akımlarının kaynak dayanımına etkisini belirlemek için çekme- makaslama testine tabi tutulmuştur. Bu amaçla çekme- makaslama testleri 250 kN yük kapasiteli “Wolpert” marka çekme cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır.

Son olarak; kaynaklanan numunelerin kristal faz analizleri “Rigaku SA-HF3” model X ışınları difraksiyonu (XRD) ile incelenmiş, ölçümleri oda sıcaklığında, 30° ile 90° 2 teta ( $\theta$ ) açıları arasında 1°/dk tarama hızında ve 40 kV/ 20 mA’ da yapılmıştır.

### **III. BULGULAR ve TARTIŞMA**

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada; 6,6 kA, 7,6 kA ve 8,6 kA gibi farklı akım şiddetleri kullanılarak yapılan kaynak birleştirmelerine ait bölgelerin sertlik dağılımı incelenmiştir. Birleştirilen numunelerin artan kaynak akım şiddetine göre sertlik dağılımları belirlenmiş ve Şekil 3’ de verilmiştir.



**Şekil 3.** Vickers sertlik profillerine ait grafik. (EM: Esas Metal, ITAB: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge).

Sertlik değerlerine genel olarak bakıldığında en düşük sertlik değeri esas metal bölgesinde, en yüksek sertlik değeri ise kaynak metali bölgesinde bulunmuştur. Esas metalde sertlik değeri beklenildiği gibi ortalama 80 HV olarak bulunmuştur. Genel olarak kaynak akımı arttıkça sertlikte de bir artış meydana geldiği görülmektedir. Kaynak metali sertliğinin ana malzemeye göre daha yüksek bulunmasının sebebi olarak; hızlı soğuma ve katılma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir [10]. Literatürde; Hasanbaşoğlu ve Kaçar (2007); IF 7114 ve AISI 316 L çelikleri nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve birleştirmelerin sertlik değerlerini incelediklerinde, en yüksek sertliğin kaynak çekirdeğinde oluştuğunu belirtmişlerdir [11]. Başka bir çalışmada; Vural ve Akkuş (2004); galvanizli kaplı çelik levhalar ile östenitik paslanmaz çelik levhaları nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve en büyük sertlik değerlerinin kaynak çekirdeği ortasından elde edildiğini bildirmiştir [12]. Farklı bir çalışmada ise, Baydemir vd. (2011); nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelere uygulanan sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değerinin kaynak çekirdeğinden ölçüldüğü onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiğini belirtmiştir [10]. Düşük karbonlu galvaniz kaplı çelik malzemelerin kaynaklanması sonucu, kaynak kalitesini belirlemede dikkate alınan noktalardan biride kaynak çekirdek boyutudur. Tablo 2’de tüm deney koşullarında elde edilen numunelerinin çekirdek boyutu ölçümleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Kaynaklanmış numunelere ait çekirdek boyut ölçüm sonuçları.

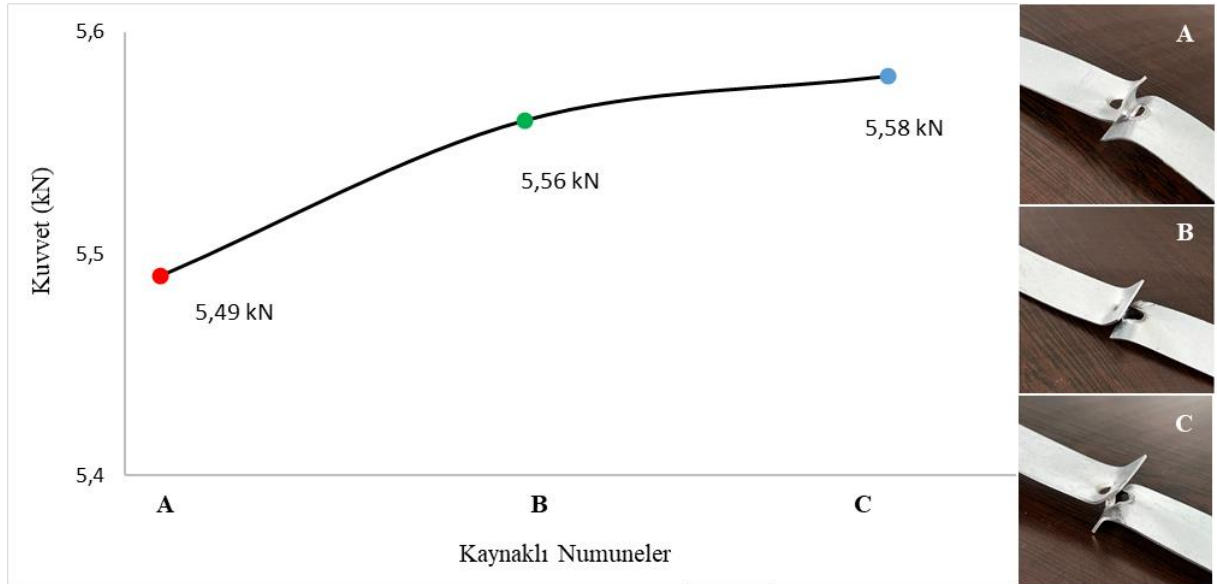
Akım (kA)	Baskı Kuvveti (kN)	Kaynak Süresi (ms)	Kaynak Çekirdeği Çapı (mm)
6,6	1	200	5,76
7,6	1	200	6,81
8,6	1	200	7,92

Kaynak çekirdeğinin, kaynağın yapıldığı sac kalınlığına bağlı olarak boyutu değişmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda çekirdek çapının minimum sac kalınlığının yaklaşık 3,5-4 katı civarında olması gerektiği belirtilmektedir [13]. Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan çelik sac malzemenin 1,2 mm kalınlığında olması nedeniyle kaynak çekirdeğinin çapının 4,8 mm’ nin üzerinde olması beklenmektedir.



Çekirdek çapı, kritik değerin altına inmemelidir [14]. Yapılan her farklı kaynakta çekirdek çapının 4,8 mm' nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte; Şekil 2' de verilen kaynaklanmış numunelerin makro görüntüsü incelendiğinde; 8,6 kA akım uygulanan C numunesinde yüksek akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeği bölgesinde çökme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Literatürde artan ısı girdisine bağlı kaynak bölgesinde çökmelerin meydana geldiği çalışmalar mevcuttur [15]. Bu literatür çalışmaları incelendiğinde; nokta direnç kaynağı uygulamasında kaynak akımının yeterli olmamasının çekirdek çapının küçük olmasına ve kaynak kalitesinin düşük olmasına sebep olduğu, kaynak akım değerinin çok yüksek olmasının ise kaynaklı bölgede aşırı ergimeye ve çatlaklara neden olduğu belirtilmektedir [13, 15]. Shamsul et al. (2007) AISI 304 paslanmaz çeliği direnç punta kaynağı ile birleştirmiş; kaynak çapı ve kaynak akımı arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Buna göre; kaynak akımı ile kaynak çapının doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir [16]. Bir başka çalışmada; Shelly ve Sahota (2017) AISI 316 çeliğine uygulanan direnç nokta kaynağı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, kaynak akımı arttıkça kaynak bölgesinin boyutunun arttığını gözlemlenmişlerdir [17]. Nokta direnç kaynağının kullanıldığı farklı bir çalışmada ise; Kocabekir vd. (2008); artan kaynak zamanı ile ısı girdisinin arttığını ve buna paralel olarak da çekirdek boyutunda da artış olduğunu belirtmiştir [18].

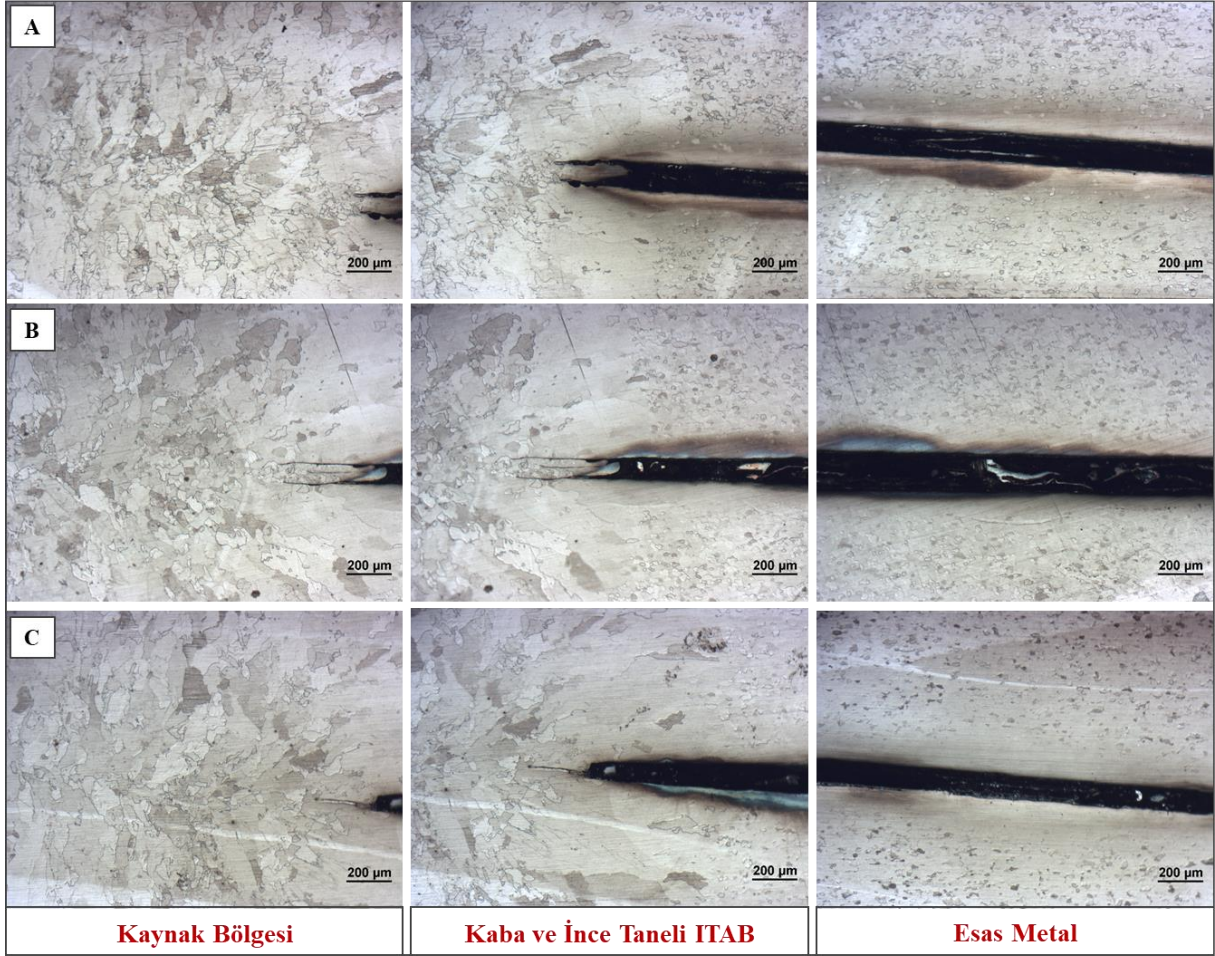
Farklı kaynak akımlarının uygulandığı numunelerin kaynak dayanımına etkisini belirlemek amacıyla yapılan çekme-makaslama testi sonuçları Şekil 4' de verilmiştir.



**Şekil 4.** DX54Z+Z100 sacının farklı kaynak akımlarında nokta direnç kaynağı ile kaynak edilmesi durumundaki kopma kuvveti sonuçları

Çekme-makaslama testleri incelendiğinde; en yüksek çekme kuvveti 5,58 kN değerinde 8,6 kA kaynak akımında ve en düşük olanı da 5,49 kN değerinde 6,6 kA' da ölçülmüştür. Bu duruma sebep olarak daha önce yapılan çalışmalar göstermektedir ki, uygulanan kaynak akımı arttıkça kaynak bölgesinde oluşan ısı miktarı da artmaktadır. Böylece, kaynak nüfuziyeti de artarak daha fazla temas gerçekleşmekte ve daha büyük kaynak çapı oluşarak kaynak mukavemeti de artmaktadır [12]. Literatürde; Elitas (2021) DP1200 çeliğinin dayanımı üzerinde kaynak parametrelerinin etkisini incelemiş ve kaynak akımının artmasının çekme dayanımını arttırdığını belirtmiştir. [19]. Farklı bir çalışmada ise; Zhang vd. (2018) nokta direnç kaynağı kullanarak CR590T/340YDP galvanizli çift fazlı çeliği kaynaklamış ve çekme sonuçlarına göre artan kaynak akımı ile kaynak dayanımının arttığını belirtmişlerdir [20]. Ayrıca; Çekme- makaslama testi numunelerinin kopma türleri incelenmiştir. Hasar kaynak bölgesindeki çekirdek etrafında meydana gelmiştir ve genel olarak çekirdek bölgesinin sac plakadan yırtılarak ayrılması durumu gözlenmiştir. Kaynaklı numunelerdeki kopmanın ITAB' dan başladığı kaynak ara yüzünde herhangi bir hasarın meydana gelmediği belirlenmiştir.

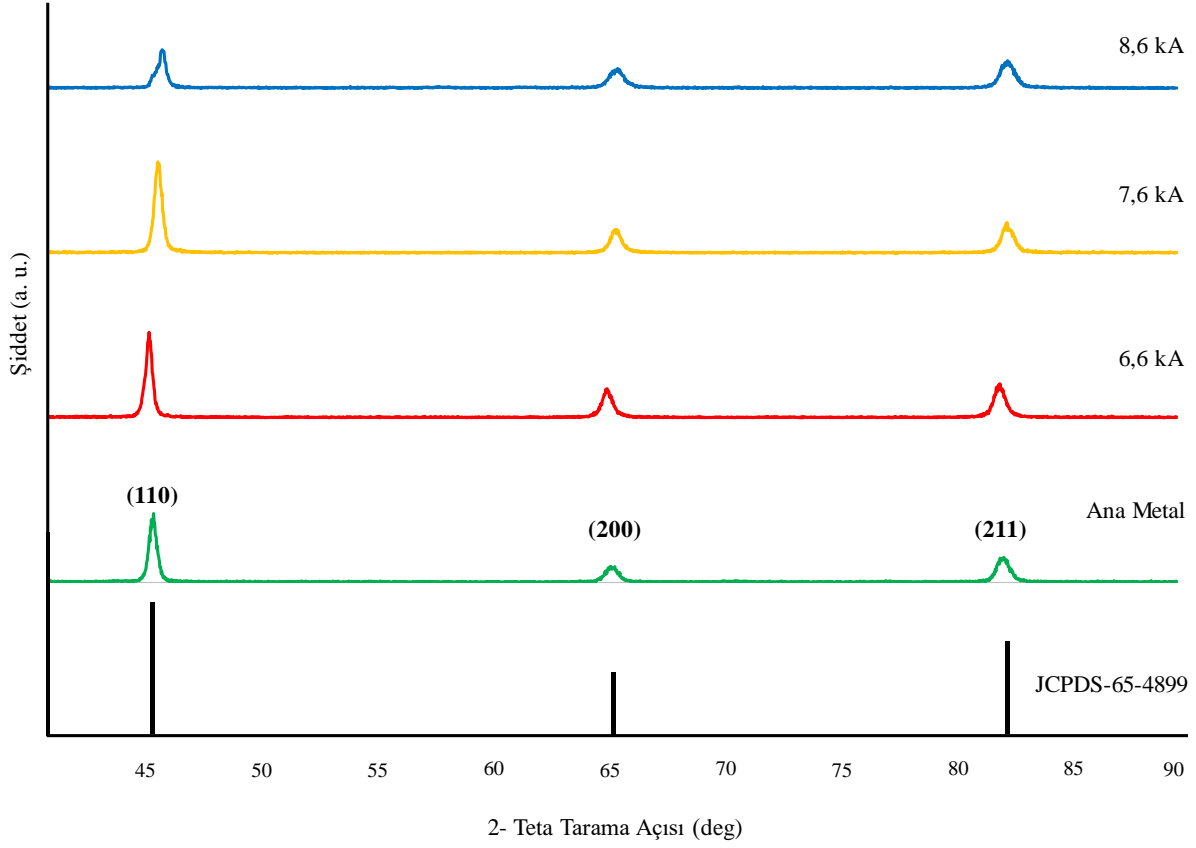
Bu deneysel çalışmada; mikro analiz için numuneler metalografik olarak hazırlanmıştır. Şekil 5’ de dağlanmış bu numunelere ait ışık mikroskobu görüntüleri sunulmuştur.



**Şekil 5.** Dağlanmış A, B ve C numunelerine ait kaynak bölgesi, iri ve ince taneli ITAB ve esas metal bölgelerinden 5X büyütmede alınmış aydınlık alan ışık mikroskobu görüntüleri.

Işık mikroskobu görüntüleri ele alındığında; numuneler üzerindeki bölgeler; kabaca kaynak bölgesi, kaba ve ince taneli ITAB, esas metal olarak üç bölgeye ayrılmaktadır [21]. Kaynaklı numunelerin ışık mikroskobu görüntülerine göre; artan akım şiddetine bağlı olarak; şiddet arttıkça ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği belirlenmiştir. En geniş ITAB’ ın en yüksek akımın (8,6 kA) uygulandığı C numunesinde olduğu gözlemlenmiştir [15].

Farklı bir faz oluşup oluşmadığını belirlemek amacıyla numuneler XRD analizine tabi tutulmuştur. Kaynak numunelerine ait XRD paterni Şekil 6’ da verilmiştir.



**Şekil 6.** Düşük karbonlu çeliğin; 6,6 kA, 7,6 kA ve 8,6 kA akım uygulanarak kaynaklanmış bölgelerinden ve ana metal bölgesinden alınmış XRD paterni.

XRD analizinde ITAB ve kaynak metalinde ikinci faz çökeltilerinin oluşumunu ifade eden hiçbir pik tespit edilmemiştir. Şekil 6’da görülen pik pozisyonlarının standartlarda yer alan XRD paterni ( JCPDS 65-4899) ile uyum içinde olduğu görülmektedir. XRD grafiğinde; (110),(200) ve (211) indeksli piklerin alfa-demir piklerine ait olduğu belirlenmiştir [22,23].

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada, nokta direnç kaynağı parametrelerinden farklı akım değerlerinin galvaniz kaplı çelik sac birleştirilmesi üzerindeki sertlik, mikro yapı ve çekirdek çapı etkileri incelenmiştir. Makro ve mikro yapı bakımından yapılan incelemelerde artan ısı girdisinin daha geniş ITAB oluşturduğu ve bu genişliğin de ısı girdisi ile orantılı olduğu görülmüştür. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgelerinden ölçülen sertlik değerlerinin esas metalden daha yüksek olduğu, ayrıca kaynak akım şiddetinin artmasıyla da sertlik değerlerinde bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek sertlik değeri en yüksek akım kullanılan (8,6 kA) numunenin kaynak çekirdeği bölgesinde görülmüş, esas metale doğru sertliğin azaldığı belirlenmiştir. Mikroskop görüntülerine göre; 8,6 kA akım uygulanan numunede ITAB’ ın en geniş bölge olduğu belirlenmiştir. Çekme- makaslama testi sonuçlarına göre; akım 6,6 kA’ dan 8,6 kA’ a artırıldığında; kaynağın kopması için gerekli olan kuvvetinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kopma tütünün her üç numune içinde kaynak çekirdeği dışında ITAB bölgesinden yırtılma şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Akım değeri %15 arttığında çekme-makaslama değerinin yaklaşık % 2 civarında arttığı görülmüştür. En yüksek akım değeri uygulanan numunede çekirdek çapının diğerlerine göre daha büyük boyutta olduğu tespit edilmiştir. 8,6 kA akım uygulanan numunenin makro görüntüsü ele alındığında kaynak çekirdeğinde yüksek akım değerinden kaynaklanan çökme olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca; çelik sacın üzerinde bulunan galvaniz kaplamanın kaynak bölgesine etkisi görülmemiştir. Kaynaklı birleştirmelerin

tümünde, kaynak akımı artışı ile ısı girdisi artmış ve kaynak çekirdeği genişlemiştir. Bu nedenle kaynak çekirdeğinin sertlik değerinin, tutma zamanı boyunca elektrot baskı kuvvetinin sebep olduğu deformasyon sertleşmesinden dolayı esas metal ve ITAB' dan daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan deneylerde artan akım şiddeti ve dolayısı ile ısı girdisinin malzemenin mekanik ve mikroskobik özelliklerini etkilediği ve standart bir kaynak kalitesi elde etmek için uygun kombinasyonlarda kaynak işleminin yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Malzeme kalınlığının 3,5-4 katı olması gereken kaynak çekirdeği (4,8 mm) ve ITAB göz önüne alındığında; 6,6 kA akım şiddeti uygulanan A numunesinin uygun kaynak kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] M. S. Yıldırım, Y. Kaya, R. Çakıroğlu, B. Gülenç, N. Kahraman ve A. Durgutlu “Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen Titanyum Levhaların Çekme-Makaslama Dayanımlarının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, c. 22, s.2, ss. 567-573, 2019.
- [2] O. Doğan, Ç. Uzay ve M. S. Kamer “Elektrik Direnç Kaynağı Proses Parametrelerinin Çekme Dayanımı Üzerine Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi”, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 24, s.4, ss. 319-331, 2021.
- [3] H. Yaşar, K. Çavdar, U. O. Şahin ve F.Y. Çavdar “Değişik Kaynak Elektrotları Kullanılarak Yapılan Direnç Nokta Kaynaklı AISI 304 Paslanmaz Çelik Sacların Kaynak İzi Görüntüsü Ve Kaynak Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c.24, s.2, ss. 499-516, 2019.
- [4] A.G. Özcan, V. Peşteli ve O. Yöntem “Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların Kaynaklanabilirliği ve Direnç Spot Kaynağı Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c.23, s.2, ss. 333-350, 2018.
- [5] M. Brozek, “Resistance Spot Welding of Steel Sheets of Different Thickness”, *Engineering for Rural Development. Chemosphere*, ss. 72-77, 2015.
- [6] H. Yaşar, “AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Direnç Nokta Kaynağı Yöntemi İle İzsiz Kaynak Parametrelerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2017.
- [7] H. Emre, R. Kaçar, “Resistance Spot Weldability of Galvanize Coated and Uncoated TRIP Steels”, *Metals*, c. 299, ss. 1-10, 2016.
- [8] [http://www.profermetal.com/kyc\\_sd.html](http://www.profermetal.com/kyc_sd.html), Ziyaret Tarihi: 23.11.2022
- [9] H.C. Lin, C.A. Hsu, C.S. Lee , T.Y. Kuo and S.L. Jeng, “Effects Of Zinc Layer Thickness On Resistance Spot Welding of Galvanized Mild Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 251, ss. 205-213, 2018.
- [10] M. Baydemir, “Östenitik AISI 310-Ferritik AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [11] A. Hasanbaşoğlu, R. Kaçar “Resistance Spot Weldability Of Dissimilar Materials (AISI 316 L-DIN EN 10130-99 Steels)”, *Materials and Design*, c. 28, s.6, ss. 1794- 1800, 2007.
- [12] M. Vural ve A. Akkuş “On The Resistance Spot Weldability of Galvanized Interstitial Free Steel Sheets with Austenitic Stainless Steel Sheets”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 153, s. 1, ss. 1-6, 2010.

- [13] M. Erik, “Farklı Kalınlıklarda Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [14] E. Ünlükal, “Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [15] F. Hayat, B. Demir, M. Acarer ve S. Aslanlar “Effect of Weld Time and Weld Current on The Mechanical Properties of Resistance Spot Welded IF (DIN EN 10130–1999) Steel”, *Kovove Materialy*, c. 47, ss. 11–17, 2009.
- [16] S. Jamaludin and M. Hisyam “Study Of Spot Welding Of Austenitic Stainless Steel Type 304”, *Journal of Applied Sciences Research*, c. 3, s. 11, ss. 1494-1499, 2007.
- [17] K. Shelly and D. S. Sahota, “A Review Paper on Resistance Spot Welding of Austenitic Stainless Steel 316”, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, c. 47, s. 7, ss. 424-429, 2017.
- [18] B. Kocabekir, R. Kaçar, S. Gündüz, R. Hayat “An Effect Of Heat Input, Weld Atmosphere And Weld Cooling Conditions On The Resistance Spot Weldability Of 316L Austenitic Stainless Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 195, 327-335, 2008.
- [19] M. Elitaş, “Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DP1200 Çeliğinin Dayanımı Üzerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisinin İstatistiksel Analizi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9 ss. 242-251, 2021.
- [20] X. Zhang, F. Yao, Z. Ren and H. Yu, “Effect of Welding Current on Weld Formation,, Microstructure, and Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of CR590T/340Y Galvanized Dual Phase Steel”, *Materials* c.11, ss. 2310, 2018,
- [21] M. Hıdırlıoğlu, “Nokta Direnç Kaynağı İle Birleştirilen Yüksek Ve Ultra Yüksek Dayanımlı Otomotiv Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2022.
- [22] D. Aryanto and T. Sudiro “Correlations between Structural and Hardness of Fe-50%Al Coating Prepared by Mechanical Alloying”. *Journal of Technical Engineering: Piston*, c. 1, s. 2, ss. 1-6, 2017.
- [23] N. Matiazhagan, T. Senthil Kumar, V. Balasubramanian and V.C. Gandhi “Performance Study Of Medium Carbon Steel and Austenitic Stainless Steel Joints: Friction Welding Process”, *Oxidation Communications* c. 38, s. 4A, 2123–2134, 2015.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Statistical Assessment of Counterflow Ranque-Hilsch Vortex Tube Performance

Selen Yılmaz IŞIKHAN<sup>a</sup>, Murat KORKMAZ<sup>b\*</sup>, Volkan KIRMACI<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Vocational and Higher School of Social Sciences, Hacettepe University, Ankara, Turkey.

<sup>b</sup> Başkent OSB Vocational Higher School of Technical Sciences, Department of Electrical and Energy, Hacettepe University, Ankara, Turkey

<sup>c</sup> Faculty of Engineering, Architecture, and Design, Mechanical Engineering, Bartın University, Bartın, Turkey

\* Corresponding author's e-mail address: [mkorkmaz@hacettepe.edu.tr](mailto:mkorkmaz@hacettepe.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1384832

### ABSTRACT

The vortex tube, which consists of a simple tube, is a device that can simultaneously heat and cool thanks to environmentally friendly pressurized fluids (air, oxygen, nitrogen, etc.). Many studies have been included in the literature to evaluate the Ranque-Hilsch Vortex tube's performance and to reveal influential factors. Variance analysis, linear regression analysis, and the Taguchi method are primarily used in practice. This study aimed to compare the strengths and weaknesses of the factorial experimental design and Taguchi orthogonal array design in the statistical evaluation of the factors affecting the heat exchange of the Ranque-Hilsch Vortex tube. For this purpose, a detailed theory was created for the appropriate factorial ANOVA model to the data set ( $4 \times 5 \times 12 = 240$  experiments) containing the Ranque-Hilsch Vortex tube and effective material type (polyamide, steel, brass, and aluminum), nozzle number (2,3,4,5 and 6), and input pressure parameters (1,5-7 bar). Following the factorial ANOVA solution, including all binary interactions, the findings were obtained according to the most suitable L16 Taguchi Orthogonal array, considering the four levels for each material, nozzle, and pressure. As a result of the ANOVA, all parameters were statistically significant on heat change ( $p < 0.001$ ). On the other hand, the pressure was obtained as the only statistically significant factor according to the Taguchi analysis ( $F = 35.17$ ,  $p = 0.008$ ). The advantages and disadvantages of the two methods were compared regarding the test findings and graphical performances.

**Keywords:** Factorial ANOVA Experimental Design, Taguchi Orthogonal Array, Ranque-Hilsch Vortex Tube, Optimization, Statistical Method Comparison.

## Karşıt Akışlı Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü Performansının İstatistiksel Değerlendirmesi

### Öz

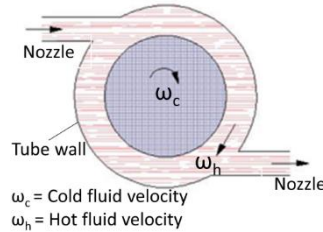
Basit bir borudan oluşan vorteks tüp, çevre dostu basınçlı akışkanlar (hava, oksijen, azot vb.) sayesinde aynı anda ısıtma ve soğutma yapabilen bir cihazdır. Ranque-Hilsch Vortex tüpünün performansını değerlendirmek ve etkileyen faktörleri ortaya çıkarmak için literatürde birçok çalışmaya yer verilmiştir. Uygulamada öncelikle varyans analizi, doğrusal regresyon analizi ve Taguchi yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışma, Ranque-Hilsch Vortex tüpünün ısı değişimini etkileyen faktörlerin istatistiksel değerlendirmesinde faktöriyel deney tasarımı ile Taguchi ortogonal dizi tasarımının güçlü ve zayıf yönlerini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla Ranque-Hilsch Vortex tüpü ve etkin malzeme tipi (polyamid, çelik, pirinç ve alüminyum), nozül sayısı (2,3,4,5 ve 6) ve giriş basıncı parametrelerini (1,5-7 bar) içeren veri setine ( $4 \times 5 \times 12 = 240$  deney) uygun faktöriyel ANOVA

modeli için detaylı bir teori oluşturulmuştur. Tüm ikili etkileşimleri içeren faktöriyel ANOVA çözümü sonrasında her malzeme, nozül ve basınç için dört seviye dikkate alınarak en uygun L16 Taguchi Ortogonal dizisine göre bulgular elde edilmiştir. ANOVA sonucunda tüm parametreler ısı değişimi açısından istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0,001$ ). Öte yandan Taguchi analizine göre istatistiksel olarak anlamlı olan tek faktörün basınç olduğu elde edilmiştir ( $F=35,17$ ,  $p=0,008$ ). Test bulguları ve grafik performansları dikkate alınarak iki yöntemin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Faktöriyel ANOVA Deney Tasarımı, Taguchi Ortogonal Dizi, Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü, Optimizasyon, İstatistiksel Yöntem Karşılaştırması.

## **I. INTRODUCTION**

Vortex tubes are systems first invented by Ranque in 1931 and developed by Hilsch in 1947. They can perform cooling and heating simultaneously and have no moving parts except the control valve [1]. The vortex tube is called the Ranque-Hilsch Vortex Tube (RHVT) because it is named after the people who invented and developed it. RHVT is preferred today because it is small and light, reaches the regime very quickly, is not harmful to the environment compared to other cooling and heating systems, and does not require much maintenance [2,3]. The principle of obtaining hot and cold fluids in Counterflow RHVTs is explained in Figure 1. Due to the conservation principle of angular momentum, which occurs with the pressurized fluid applied to the RHVT, the angular velocity of the flow in the center rises to higher values than the angular velocity of the flow of the tube wall. Therefore, two flows occur inside the tube, rotating at different speeds. Center flow at higher rates forces the wall flow to accelerate. Thus, energy transfer occurs from the center flow to the wall flow. The center flow with a decrease in mechanical energy is cold flow, and the flow at the tube wall is hot flow due to the effect of friction on the tube wall and the mechanical energy transferred from the center flow [4,5,6].



**Figure 1.** Movement of hot and cold flow in counter flow RHVT

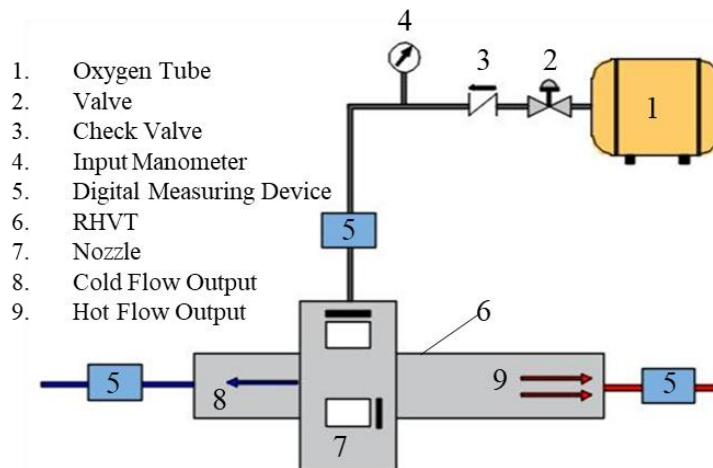
There are many different experimental modeling and numerical studies about vortex tubes. Dutta et al. tried to develop a CFD model to analyze the pressurized flow in the pipe using the actual gas model in the vortex tube [7]. Bovand et al. have studied different RHVT types of vortex tubes at variable pressure values [8]. Han et al. have investigated how the vortex tube affects the heating and cooling performance using different types of inlet fluid pressures [9]. Shamsoddini and Nezhad investigated the effect of the number of nozzles in the vortex tube. They stated that there should be a higher number of nozzles for the vortex tubes' cooling capacity to be high [10]. S. Eiamsa-ard investigated the effects of the number, size, and shape of the nozzles in the vortex tube on hot and cold fluids. He also examined how the structural features of the nozzles affect the cooling performance of the RHVT [11]. Xue et al. made suggestions by conducting studies for the energy distribution and exergy density in the measured fluid values in the vortex tube. Also, another study analyzed and optimized the role of the cold liquid fraction, called the equal division of the rotating flows between the cold and hot outlets [12,13]. Khait et al. used the RSM turbulence model to construct a comprehensive CFD model to predict the flow distribution inside the vortex tube air separator [14]. Kandil and Abdelghany evaluated the effect of some geometric parameters, such as the ratio of the vortex tube length to tube diameter, on vortex tube performance [15].

Mohammadi and Farhadi used a mixture of hydrocarbons to analyze the separation process and gas fractionation effect in a vortex tube [16].

In the mentioned studies on Vortex tubes, it was found that statistical analyses remained superficial. Generally, Taguchi analysis was used to determine the influential factors on temperature or select the optimum level. This study aims to compare the Taguchi L16 orthogonal experimental design performance according to various statistical and visual analysis criteria with the Analysis of Variance performed according to the known factorial experimental design.

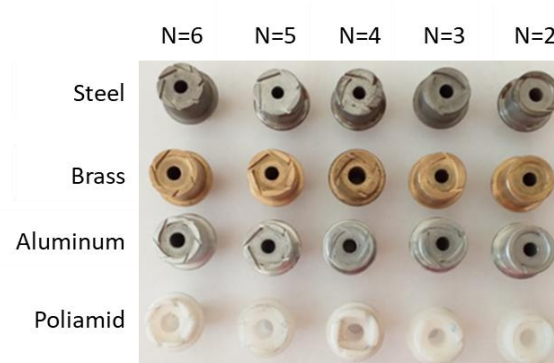
## **II. MATERIAL AND METHOD**

The study used a counterflow RHVT with structural features with an internal diameter of 7 mm and a body length of 10 cm (Figure 2). Aluminum, steel, brass, and polyamide materials with two, three, four, five, and six nozzles were used in the experiments (Figure 3). While data were being taken in the experiments, digital thermometer probes were used to measure flow temperatures with  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  accuracy and a manometer with 5% sensitivity was used to measure the inlet pressure. In the experimental study, the initial pressure of 1.5 bar was reached in the experiments by using the oxygen tube and the valve at the RHVT fluid inlet. Then, after getting a pressure of 1.5 bar, air at 1.5 bar pressure was sent to the cold and hot flow outlets of the RHVT until the temperature values read on the measuring instruments were stabilized, and the temperature values and volumetric flow rates of the hot and cold fluid coming out of the RHVT were measured. However, the same procedures were repeated for all nozzles made of different materials. All conditions that were first realized at 1.5 bar pressure in the experimental studies were also realized in all experiments carried out between 2 bar and 7 bar pressure values. During the experiments, the ambient temperature was set at  $21^{\circ}\text{C}$ . The properties of the materials used in the experiments are shown in Table 1. At the same time, each experiment was repeated three times, and the average test results were calculated and used in the analysis.



*Figure 2. Experimental study*





**Figure 3.** Nozzles used in the experimental study

**Table 1.** Input and output parameters used in RHVT

Input parameters					Output parameter
Fluid	Material	Nozzle number	P <sub>in</sub> (Inlet pressure) (bar)	k (Heat conduction coefficient) (W/mK)	Temperature differences (°K)
Oxygen (1)	Poliamid(1)			0.257	ΔT
	Brass (2)			117	
	Aluminum (3)	2,3,4,5,6	1.5 – 7 bar	226	
	Steel (4)			23	

RHVTs are open systems with one input and two different outputs. The cold mass ratio ( $\mu_c$ ), which shows how much of the inlet fluid in the vortex tube is converted to the cold flow formed at the outlet of the vortex tube, is given in Equation 1.

$$\xi = \frac{\text{mass flow rate of cold flow}}{\text{mass flow rate of inlet flow}} \quad (1)$$

In RHVTs, cold flow temperature difference ( $\Delta T_c$ ) and hot flow temperature difference ( $\Delta T_h$ ) are expressed in equations 2-3.

$$\Delta T_c = T_{in} - T_c \quad (2)$$

$$\Delta T_h = T_h - T_{in} \quad (3)$$

RHVT performance is calculated as shown in Equation 4 [6,17].

$$\Delta T = T_h - T_c \tag{4}$$

The main hypotheses analyzed for oxygen gas are as follows.

### A. 1. Hypotheses

For material type (*Rows*):  $H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3= \mu_4$ ;  $H_a$ : At least two of the means differ.

If  $H_0$  is rejected, then the level of material types is effective on  $\Delta t$ .

Nozzle number (*Columns*):  $H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4= \mu_5$ ;  $H_a$ : At least two of the means differ.

If  $H_0$  is rejected, nozzle number (namely column effect) is vital for  $\Delta t$  in this experiment.

Pressure category (*treatment*):  $H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3=\dots = \mu_{12}$ ;  $H_a$ : At least two of the means differ.

If  $H_0$  is rejected, this experiment's treatment effect (pressure here) is important.

The crosstabulation created to reveal the row-column and processing order of the experimental data set is shown in Appendix A. The data set conforms to the randomized block design, where each nozzle category provides an equal number of outcomes (here  $\Delta t$ ) for each material type. This setup is repeated for 12 different pressure values.

### A. 2. Modeling

Our experimental setup is not a  $p \times p$  dimensional Latin square layout but conforms to a three-way randomized block layout in which row, column, and treatment effects affect the dependent variable. The other critical point is that the number of data in each block takes a single value or only two values here, just like in the Latin square format. Therefore, insufficient observations at each intersection (here 2) cause the test for interaction effects to be poor. Now, we can consider a randomized block design for an experiment with three factors A, B, and C. We can accept that every combination of A, B, and C levels is observed.

- Statement:      A has a levels, coded 1, 2, ..., a  
                       B has b levels, coded 1, 2, ..., b  
                       C has c levels, coded 1, 2, ..., c  
                       v = total number of treatments (=abc)
- Variables:         $\Delta t = t_{hot} - t_{cold}$   
                       Material= 1: poliamid, 2: rice, 3: alüminum, 4: steel  
                       Nozzle= 2, 3, 4, 5, 6  
                       Pressure= 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700

All material, nozzle, and pressure combinations were observed (giving  $4 \times 5 \times 12 = 240$ ). Since the number of samples in each sub-category in our model was insufficient to test the interaction between variables, the dataset was analyzed based on the model that includes the main effects and only possible two-way interactions [18]. In addition, both profile plots in variance analysis solutions and interaction graphs of Taguchi analysis will be examined for interactions. Now, if the standard Latin Square Design is implemented for the assignment of treatments:

$Y_{ijk}$ 's are independently distributed as  $N(\mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k, \sigma^2)$

A linear model is;

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}, \quad i = 1, 2, \dots, u; \quad j = 1, 2, \dots, v; \quad k = 1, 2, \dots, r \tag{5}$$

$\varepsilon_{ijk}$  are random errors independently and identically distributed like  $N(0, \sigma^2)$ .

Supposing  $\sum_{i=1}^u \alpha_i = 0, \sum_{j=1}^v \beta_j = 0, \sum_{k=1}^r \gamma_k = 0$

$\alpha_i$ : Main effect of rows

$\beta_j$ : Main effect of columns

$\gamma_k$ : Main effect of treatments

The null hypotheses are taken into consideration:

$H_{0\text{row}}: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_u = 0$

$H_{0\text{column}}: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_v = 0$

$H_{0\text{treatment}}: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_r = 0$

The analysis of variance can be adjusted as below:

Minimizing  $S = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^r \varepsilon_{ijk}^2$  concerning  $\mu, \alpha_i, \beta_j,$  and  $\gamma_k$  have given the least-squares estimate as:

$$\mu = \bar{y}_{ooo}$$

$$\hat{\alpha}_i = \bar{y}_{ioo} - \bar{y}_{ooo} \quad i=1, 2, \dots, u$$

$$\hat{\beta}_j = \bar{y}_{ojo} - \bar{y}_{ooo} \quad j=1, 2, \dots, v$$

$$\hat{\gamma}_k = \bar{y}_{ook} - \bar{y}_{ooo} \quad k=1, 2, \dots, r$$

The total sum of squares can be broken down into the common orthogonal sum of squares SSR, SSC, SSTr, and SSE utilizing the fitted model depending on these estimators:

$$TSS = SSR + SSC + SSTr + SSE$$

Where

$$\begin{aligned} TSS: \text{Total sum of squares} &= \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^r (y_{ijk} - \bar{y}_{ooo})^2 \\ &= \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^r y_{ijk}^2 - \frac{G^2}{uvr} \end{aligned} \quad (6)$$

$\frac{G^2}{uvr}$  = Correction factor

$$G = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^r y_{ijk} : \text{Grant total of all observations} \quad (7)$$

$$SSR: \text{Sum of squares due to rows} = \mathbf{vr} \sum_{i=1}^u (\bar{y}_{ioo} - \bar{y}_{ooo})^2 = \frac{\sum_{i=1}^u R_i^2}{u} - \frac{G^2}{vr} \quad (8)$$

$R_i = \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^r y_{ijk} : \text{ith row total}$

$$SSC: \text{Sum of squares due to column} = \mathbf{ur} \sum_{j=1}^v (\bar{y}_{ojo} - \bar{y}_{ooo})^2 = \frac{\sum_{j=1}^v C_j^2}{v} - \frac{G^2}{ur} \quad (9)$$

Where  $C_j = \sum_{i=1}^u \sum_{k=1}^r y_{ijk}$

$$\text{SSTr: Sum of squares due to treatment} = uv \sum_{k=1}^r (\bar{y}_{ook} - \bar{y}_{ooo})^2 = \frac{\sum_{k=1}^r T_k^2}{r} - \frac{G^2}{uv} \quad (10)$$

Where  $T_k = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^v y_{ijk}$

Degrees of freedom carried by SSR, SSC, and SSTr are (u-1), (v-1), and (r-1), respectively.

Degrees of freedom carried by TSS is (uvr-1)

The degree of freedom carried by SSE is (u-1)(v-1)(r-1)

The expected values of the mean of squares are found as follows;

$$E(\text{MSR}) = E\left(\frac{\text{SSR}}{u-1}\right) = \sigma^2 + \frac{u}{u-1} \sum_{i=1}^u \alpha_i^2 \quad (11)$$

$$E(\text{MSC}) = E\left(\frac{\text{SSC}}{v-1}\right) = \sigma^2 + \frac{v}{v-1} \sum_{j=1}^v \beta_j^2 \quad (12)$$

$$E(\text{MSTr}) = E\left(\frac{\text{SSTr}}{r-1}\right) = \sigma^2 + \frac{r}{r-1} \sum_{k=1}^r \gamma_k^2 \quad (13)$$

$$E(\text{MSE}) = E\left(\frac{\text{SSE}}{(u-1)(v-1)(r-1)}\right) = \sigma^2 \quad (14)$$

Thus,

- ✓ Under  $H_{0R}$ ,  $F_R = \frac{\text{MSR}}{\text{MSE}} \sim F((u-1), (v-1)(r-1))$
- ✓ Under  $H_{0C}$ ,  $F_C = \frac{\text{MSC}}{\text{MSE}} \sim F((v-1), (u-1)(r-1))$
- ✓ Under  $H_{0T}$ ,  $F_T = \frac{\text{MSTr}}{\text{MSE}} \sim F((r-1), (u-1)(v-1))$

Decision Rules:

Reject  $H_{0R}$  at level  $\alpha$  if  $F_R > F_{1-\alpha}; (u-1), (v-1)(r-1)$

Reject  $H_{0C}$  at level  $\alpha$  if  $F_C > F_{1-\alpha}; (v-1), (u-1)(r-1)$

Reject  $H_{0T}$  at level  $\alpha$  if  $F_T > F_{1-\alpha}; (r-1), (u-1)(v-1)$

When any alternative hypothesis is accepted, the pairwise comparison test is used [19]. Variance analysis, as outlined in Table 2, is utilized for the purpose of analysis.

**Table 2.** The analysis of the variance table

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean sum of squares	F
Rows	u-1	SSR	MSR	$F_R$
Columns	v-1	SSC	MSC	$F_C$

Treatments	r-1	SSTr	MSTr	F <sub>T</sub>
Error	(u-1)(v-1)(r-1)	SSE	*MSE	
Total	(uvr-1)	TSS		

\*MSE: mean squares error

### **III. RESULTS**

The analysis of the variance model was tested by including the main effects and pairwise interaction terms for these three parameters (Table 3). According to the analysis of variance findings, the material type with the row factor, the number of nozzles as the column factor, and the pressure as the treatment factor were found to be influential factors on temperature difference ( $\Delta t$ ) ( $p < 0.05$ ). Values expressing the degree of effect and showing the percentage contribution of each parameter on the total variability are in the last column of Table 3. Based on the contribution values, the pressure parameter had the highest effect on the total variability (78.80%), followed by the material (11.51%), the number of nozzles (5.27%), the material\*nozzle interaction (2.31%) and other interactions. The model's success in explaining the variance in temperature variability was 98.79%.

*Table 3. Findings of Analysis of Variance*

Dependent Variable: $\Delta t$						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square of Error	F	p-value	Contribution (%)
Material	6575.58	3	2191.86	757.55	.000	11.51
Nozzle	3009.93	4	752.48	260.07	.000	5.27
Pressure	45021.04	11	4092.82	1414.56	.000	78.80
Material * Nozzle	1318.70	12	109.89	37.98	.000	2.31
Material * Pressure	463.10	33	14.03	4.85	.000	0.81
Nozzle * Pressure	363.47	44	8.26	2.85	.000	0.64
Error	381.92	132	2.89			
Corrected Total	57133.76	239				

R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .988)

Intra-factor comparison results are obtained using the last sub-category of material, nozzle, and pressure as comparison criteria in Appendix B. The difference with the previous category decreases as the nozzle or pressure category increases. For example, although the difference between 2, 3, and 4 with 6 nozzles was significant, there was no significant difference between the means of nozzles 5 and 6 ( $p = 0.202$ ). Similarly, there is a statistically significant difference between pressure levels up to 600 P<sub>i</sub> and 700 P<sub>i</sub>, while there is no difference between 650 P<sub>i</sub> and 700 P<sub>i</sub>. As the pressure level increases, the temperature difference also increases significantly.

According to the results of multiple comparisons for the material type, the mean  $\Delta t$  score for brass was significantly higher than Polyamide, Aluminum, and steel ( $p < 0.001$ , Table 4). However, no significant difference was found between the mean scores of Aluminum and Polyamide ( $p = 0.954$ ).

**Table 4.** Multiple Comparisons of Process Parameters (Tukey HSD)

(I) idmaterial	(J) idmaterial	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Poliamid	Brass	-12.97*	.617	.000	-14.576	-11.380
	Aluminum	-.32	.617	.954	-1.919	1.276
	Steel	-4.28*	.617	.000	-5.886	-2.690
Brass	Poliamid	12.97*	.617	.000	11.380	14.576
	Aluminum	12.65*	.617	.000	11.058	14.254
	Steel	8.69*	.617	.000	7.091	10.288
Aluminum	Poliamid	.32	.617	.954	-1.276	1.919
	Brass	-12.65*	.617	.000	-14.254	-11.058
	Steel	-3.96*	.617	.000	-5.564	-2.368
Steel	Poliamid	4.28*	.617	.000	2.690	5.886
	Brass	-8.69*	.617	.000	-10.288	-7.091
	Aluminum	3.96*	.617	.000	2.368	5.564

The error term is Mean Square(Error) = 10.79 based on observed means. \*: The mean difference is significant at the 0.05 level.

According to the results of multiple comparisons for the number of nozzles, there was no difference in the mean score between 5 and 6 nozzles (Appendix C, Mean difference = -0.883,  $p = 0.704$ ). Apart from that, up to 5 nozzles, as the number of nozzles increases, the mean of  $\Delta t$  increases significantly ( $p < 0.05$ ).

According to multiple comparisons for pressure levels (Appendix D), significant differences were found between all pressure levels up to 550 P. Accordingly,  $\Delta t$  also increases with every 50 P increase. Nevertheless, there was no statistically significant difference between 500-550, 550-600, 600-650, and 650-700 P pressure levels ( $p \geq 0.05$ ).

When the profile plot obtained to evaluate the nozzle and material interaction is examined, although the interaction effect is statistically significant, it cannot be distinguished formally. As the nozzle value increases for each material type, it is seen that the mean of  $\Delta t$  also increases (Figure 4). The decrease in Polyamide and Aluminum and the increase in brass and steel (as they appear parallel) are valid for each nozzle level.

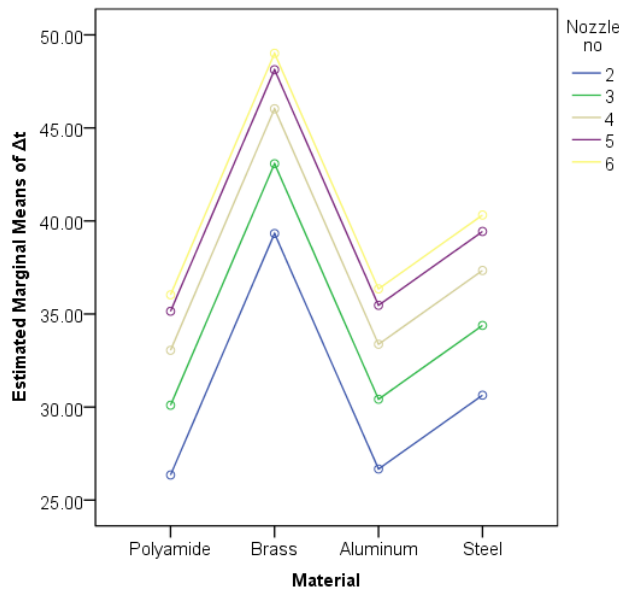


Figure 4. Profile plot for material and nozzle on  $\Delta t$  of the vortex tube

Suppose we evaluate the nozzle, material, and pressure together. In that case, it is evident in the profile plots in Figure 5 that as the pressure value increases in each material type, the mean  $\Delta t$  also increases. In the case of an increase from 2 nozzles to 6 nozzles, it is seen that the relative pressure value of each material is higher compared to the previous nozzle.

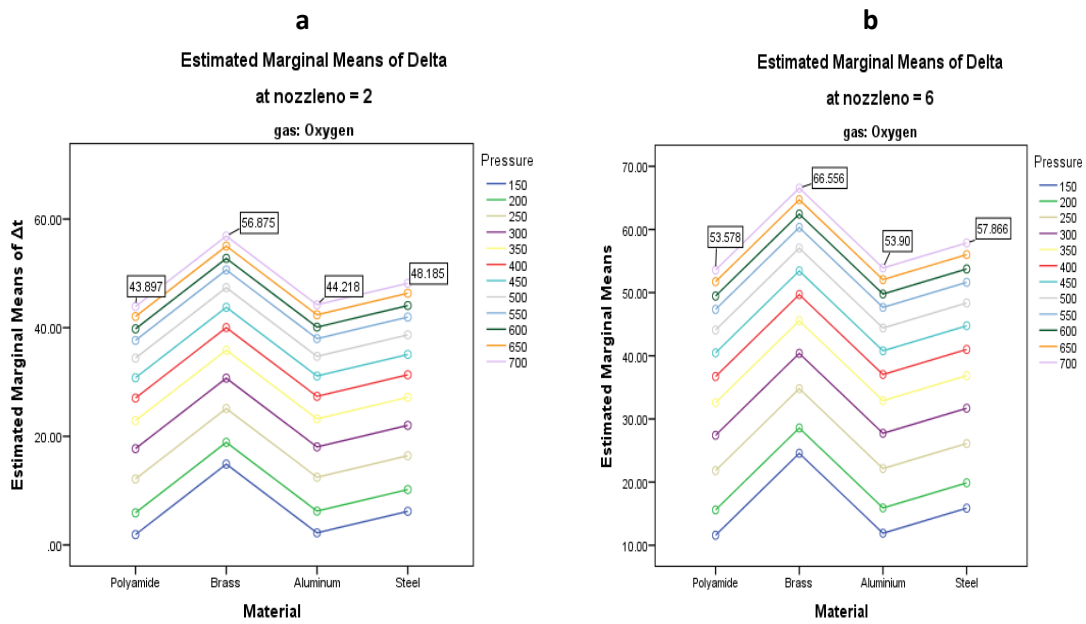


Figure 5. Profile plot for material, nozzle, and pressure on  $\Delta t$  of the vortex tube, a) for two nozzles, b) for six nozzles

Interaction graphs between parameters obtained from the analysis of variance and supporting the test results are shown in Figure 6.

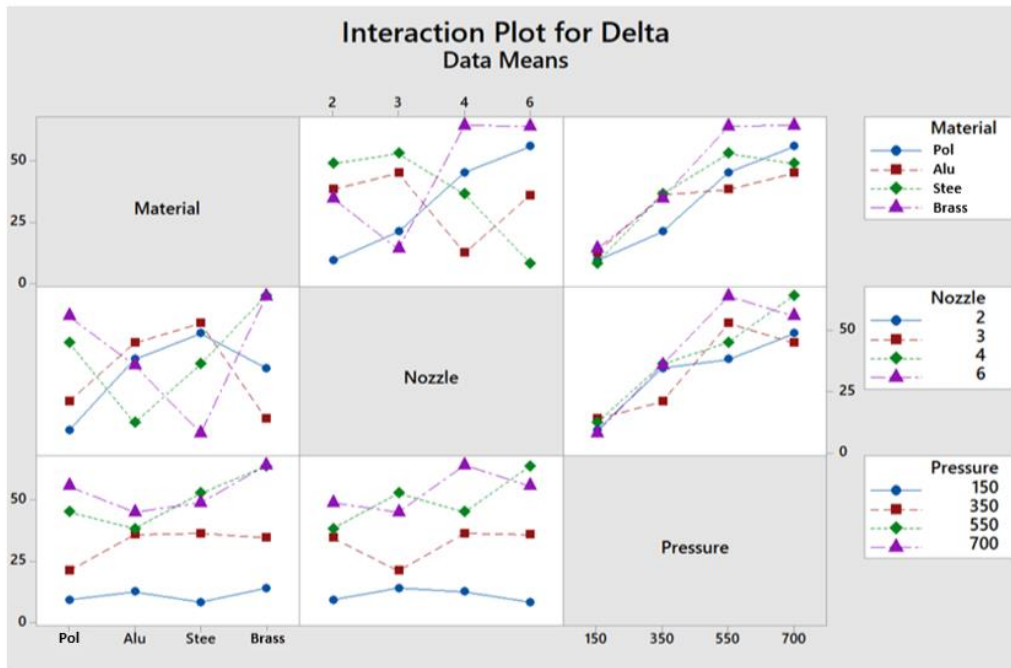


Figure 6. Inter-Parameter Interaction Graph for  $\Delta t$  (from Analysis of Variance).

The image of the L16 array where three factors with four levels and two interactions are planned is given in Table 5. As a result of the Taguchi analysis, the model, including the two interactions, could not be reached. The Taguchi L16 orthogonal array solution could only provide the test result, including the material\*nozzle interaction. In addition, Taguchi restricted the interaction analysis and could not provide the interaction plot for the L16 layout. According to Taguchi's findings, only pressure was statistically significant ( $p=0.005$ ). Material, nozzle number, and material and nozzle interaction were not statistically significant ( $p \geq 0.05$ ). Taguchi analysis also provided S/N ratios and corresponding p values for all sub-levels of each parameter (Table 6). When the ranks in the response table for the signal-to-noise ratio findings were examined, the most influential variable was pressure on  $\Delta t$  (Delta=13.85), the material was in second place (Delta=3.04), nozzle number was in third place (Delta=1.72). The last was the material\*nozzle interaction (Delta=1.47). The optimum levels for the parameters are: for pressure, the highest S/N ratio (with 34.51) was 700 n/m<sup>2</sup>, which is the 4th level; brass provided the highest S/N percentage with 31.54 for material, and four nozzles for nozzle type (with S/N=30.64) and 2×Polyamide for material\*nozzle interaction (with S/N ratio= 30.30). The highest mean  $\Delta t$  estimate was 64.21, and the corresponding S/N ratio was 36.19. Table 5 includes mean  $\Delta t$  estimates and related S/N ratios in the last two columns.

Table 5. L16 Orthogonal experimental design defined in Minitab and prediction findings

Material	Nozzle	P <sub>i</sub> (kPa)	Mat-Nozz	Nozz-Pres	$\Delta t$	S/N Ratio	Prediction
pol	2	150	2*pol	450	9.30	19.36	3.33
pol	3	350	Brass*3	1050	21.20	26.52	24.91
pol	4	550	Alu*4	2200	45.30	33.12	49.36
pol	6	700	Stee*6	4200	55.90	34.94	54.08
Brass	2	350	Alu*4	4200	34.80	30.83	35.86
Brass	3	150	Stee*6	2200	14.10	22.98	15.28
Brass	4	700	2*pol	1050	64.50	36.19	64.21



Brass	6	550	Brass*3	450	64.10	36.13	62.13
Alu	2	550	Stee*6	1050	38.40	31.68	42.61
Alu	3	700	Alu*4	450	45.10	33.08	46.51
Alu	4	150	Brass*3	4200	12.60	22.00	10.28
Alu	6	350	2*pol	2200	36.00	31.12	32.68
Steel	2	700	Brass*3	2200	49.00	33.80	49.68
Steel	3	550	2*pol	4200	53.10	34.50	46.78
Steel	4	350	Stee*6	450	36.50	31.24	35.03
Steel	6	150	Alu*4	1050	8.20	18.27	15.28

**Taguchi Analysis Results for L16 Orthogonal Design:**

*Table 6. Taguchi Analysis for SN ratios: Delta versus material; nozzle; pressure; material&nozzle*

*Estimated Model Coefficients for SN ratios*

Term	Coef	SE_Coef	T	P
Constant	29.740	0.538	55.271	0.000
Material pol	-1.248	0.932	-1.340	0.273
Material brass	1.795	0.932	1.927	0.150
Material Alu	-0.264	0.932	-0.284	0.795
Nozzle 2	-0.817	0.932	-0.877	0.445
Nozzle 3	-0.466	0.932	-0.500	0.651
Nozzle 4	0.901	0.932	0.967	0.405
Pressure 150	-9.080	0.932	-9.743	0.002
Pressure 350	0.192	0.932	0.206	0.850
Pressure 550	4.121	0.932	4.423	0.021
Mat-Nozz 2*pol	0.557	0.932	0.598	0.592
Mat-Nozz brass*3	-0.121	0.932	-0.130	0.905
Mat-Nozz Alu*4	-0.911	0.932	-0.978	0.400

S=2.152    R<sup>2</sup>=97.4%    R<sub>adj</sub><sup>2</sup> = 87.0%

*Analysis of Variance for SN Ratios*

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Material	3	19.737	19.737	6.579	1.42	0.390
Nozzle	3	7.374	7.374	2.458	0.53	0.692
Pressure	3	488.822	488.822	162.941	35.17	0.008
Mat*Nozz	3	5.532	5.532	1.844	0.40	0.765
Residual Error	3	13.898	13.898	4.633		

---

Total                    15            535.362

Response Table for Signal-to-Noise Ratios

Larger is better

Level Material Nozzle Pressure Mat-Nozz

1        28.49  28.92  20.66  30.30

2        31.54  29.27  29.93  29.62

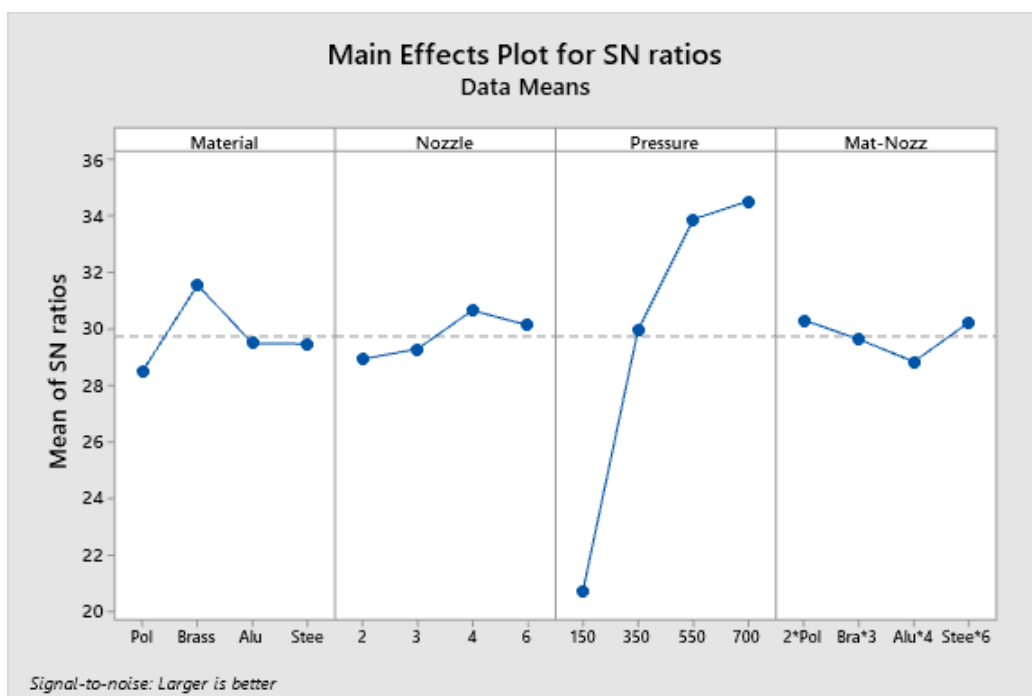
3        29.48  30.64  33.86  28.83

4        29.46  30.12  34.51  30.22

Delta  3.04  1.72  13.85  1.47

Rank  2        3        1        4

---



*Figure 7. Taguchi's main effects plot*

## IV. CONCLUSION

Many publications have made various statistical analyses on the temperature change of the counterflow RHVTs based on specific process parameters [20]. This study is one of the rare publications that compare the performance of known statistical factorial analysis of variance (ANOVA) and optimum Taguchi orthogonal array analysis to detect the factors affecting the temperature change of the counterflow RHVTs. Their statistical pros and cons were also evaluated.

In their study [1], they determined the effects of process parameters and optimal factor levels based on Taguchi's L27 orthogonal array using signal-to-noise ratio (S/N) analysis, regression analysis, and analysis of variance (ANOVA) methods. The experiments were planned according to different inlet

pressures, nozzle numbers, and fluid types. According to the ANOVA results from some of their analyses, the inlet pressure was the most dominant effect on the total change ( $p = 89.89\%$ ). Later, they stated that this situation was followed by the inlet pressure, the number of nozzles interactions ( $p=3.72\%$ ), and the number of nozzles alone ( $p=2.47\%$ ).

In the study of [3], they analyzed the performance of RHVTs connected in parallel using oxygen gas at different inlet pressures, using various materials and nozzles. The multiple linear regression techniques calculated the analysis. Then, a regression equation was obtained, and (S/N) ratios of the designed test results were found with the help of the Taguchi L16 array. As a result of the analyses, they emphasized that the factors affecting the temperature difference  $\Delta T$ , in which the performance values are compared, are the inlet pressure, the number of nozzles, and the nozzle materials, respectively.

Another study used the Taguchi method to investigate the effect and optimization of temperature differences for process parameters in a counterflow vortex tube [21]. In their research, where they used the L27 orthogonal Taguchi array, 150, 400, and 650 kPa values were taken into account for Inlet pressure, 2, 4, and 6 for Nozzle number, and 0.5, 0.6, and 0.7 for the cold mass fraction. In their ANOVA results, all control factors were detected to have a statistically significant effect on the temperature difference. Inlet pressure ( $p = 58.11\%$ ) has the most significant contribution to total variation, followed by nozzle number ( $p = 24.78\%$ ) and a cold mass fraction ( $p = 4.431\%$ ). They found the optimum parameter levels maximizing the temperature difference as an inlet pressure of 650 kPa, a nozzle number of 2, and a cold mass fraction of 0.7. In this study, according to the analysis of variance, all the main effects and all the binary interactions of three parameters ( $4 \times 5 \times 12 = 240$ ) were evaluated with a sufficient number of experiments. All exchanges, posthoc test results, the contribution of the parameters to the variance and the regression equation between the parameters, and the outcome variable could be obtained in the ANOVA findings. To reduce the number of experiments, considering the four levels of each process parameter (Material type polyamide, brass, aluminium, and steel; 2, 3, 4, and 6 for nozzle number; 150, 350, 550, and 700 for pressure), the most suitable orthogonal design, also including an interaction term, was determined as the L16 orthogonal array. Our findings are similar to (23); it was observed that the pressure parameter had the highest effect on the total variability (78.80%), followed by the material type (11.51%), the number of nozzles (5.27%), the material&nozzle interaction (2.31%) and other interactions depending on the contribution ratio. The optimum levels of the parameters that maximize the temperature difference were obtained as the 4th level for pressure "700 kPa", "brass" for the material, four nozzles for the number of nozzles, and 2×polyamide for the material\*nozzle interaction.

When the traditional analysis of variance and the Taguchi method are compared in terms of both analysis performance and visual, both methods have advantages and disadvantages. In the analysis of variance results, there is no output in which the optimum levels of the parameters can be determined. However, the effect sizes of each parameter on the dependent variable are given as a percentage of contribution. However, the changes within the parameter levels can be tested. In addition, the analysis of variance options also shows post hoc comparison results of parameter levels. The advantages and disadvantages of these two methods considered in the study according to various criteria are summarized in Table 7. The L16 orthogonal array, the most suitable design for three factors, three interactions, and a 4-level structure, was chosen during the planning phase. In our study, the Taguchi analysis applied according to the L16 orthogonal array gave only one interaction (between the material\*nozzle) between the factors and could not provide the interaction plots. The fact that only 16 experiments were used here instead of the 240 sample size in full factorial data analysis was also disadvantageous regarding the parameters, resulting in a significant (number of factors with  $p < 0.05$ ). This difficulty makes it obligatory to report the Analysis of Variance findings separately in all cases, in addition to the Taguchi array solutions, as in some studies [22,23].

Therefore, classical statistical analysis of variance methods should be preferred if reaching all levels of the parameters and the relevant outcome variable in the experimental design does not bring additional costs and if the interactions between the parameters used are also crucial for us.

Suppose the entire experimental setup is difficult and expensive to obtain, and only the main effects of the parameters are essential to the researcher. In that case, it is aimed to determine the best sublevels that provide the largest, smallest, or optimal outcome; the faster and less costly Taguchi method can be preferred. However, interaction effects and pairwise comparisons of parameter levels will be ignored in this method, unlike the analysis of variance. Consequently, factorial variance analysis provides more information on the outcome than machine learning methods or the non-parametric Taguchi method in case there are only a few factors in the data set, the size of the explanatory variable is not very large. The number of experiments is sufficient for parametric statistical methods such as factorial ANOVA.

**Table 7.** Statistical assessment of Taguchi analysis compared to Analysis of Variance

Criteria	Analysis of Variance	Taguchi Analysis
Testing the main effects	✓	✓
Testing interactions	✓	X (weak)
Graphical representation	✓	✓ (weak)
More robust prediction with S/N ratio	X	✓
Post-hoc comparison	✓	X
Reporting the contribution rate of each parameter to the model	✓	✓
Determining the optimum level for each parameter according to the S/N ratio	X	✓
Chance of statistical significance of parameters and their interactions	Higher	Lower

## **V. REFERENCES**

- [1] A. M. Pinar, O. Uluer, and V. Kirmaci, "Statistical assessment of counterflow vortex tube performance for different nozzle numbers, cold mass fractions, and inlet pressures via taguchi method," *Exp. Heat Transf.*, vol. 22, no. 4, pp. 271–282, 2009, doi: 10.1080/08916150903099058.
- [2] H. Kaya, O. Uluer, E. Kocaoğlu, and V. Kirmaci, "Experimental analysis of cooling and heating performance of serial and parallel connected counterflow Ranque–Hilsch vortex tube systems using carbon dioxide as a working fluid," *Int. J. Refrig.*, vol. 106, pp. 297–307, 2019, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.07.004.

- [3] H. Gökçe, "Optimization of Ranque–Hilsch vortex tube performances via Taguchi method," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 11, 2020, doi: 10.1007/s40430-020-02649-z.
- [4] K. Dincer, S. Baskaya, B. Z. Uysal, and I. Ucgul, "Experimental investigation of the performance of a Ranque-Hilsch vortex tube with regard to a plug located at the hot outlet," *Int. J. Refrig.*, vol. 32, no. 1, pp. 87–94, 2009, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2008.06.002.
- [5] W. Fröhlingsdorf and H. Unger, "Numerical investigations of the compressible flow and the energy separation in the Ranque-Hilsch vortex tube," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 42, no. 3, pp. 415–422, 1998, doi: 10.1016/S0017-9310(98)00191-4.
- [6] M. Korkmaz, A. Dogan, and V. Kırmacı, "Performance Analysis of Counterflow Ranque – Hilsch Vortex Tube with Linear Regression, Support Vector Machines and Gaussian Process Regression Method," *Gazi J. Eng. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 361–370, 2022, doi: doi:10.30855/gmbd.0705015.
- [7] T. Dutta, K. P. Sinhamahapatra, and S. S. Bandyopadhyay, "Numerical investigation of gas species and energy separation in the Ranque-Hilsch vortex tube using real gas model," *Int. J. Refrig.*, vol. 34, no. 8, pp. 2118–2128, 2011, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2011.06.004.
- [8] M. Bovand, M. S. Valipour, K. Dincer, and A. Tamayol, "Numerical analysis of the curvature effects on Ranque-Hilsch vortex tube refrigerators," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 65, no. 1–2, pp. 176–183, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.11.045.
- [9] X. Han et al., "The influence of working gas characteristics on energy separation of vortex tube," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 61, no. 2, pp. 171–177, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.07.027.
- [10] R. Shamsoddini and A. H. Nezhad, "Numerical analysis of the effects of nozzles number on the flow and power of cooling of a vortex tube," *Int. J. Refrig.*, vol. 33, no. 4, pp. 774–782, 2010, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2009.12.029.
- [11] S. Eiamsa-ard, "Experimental investigation of energy separation in a counterflow Ranque-Hilsch vortex tube with multiple inlet snail entries," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. 6, pp. 637–643, 2010, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.02.007.
- [12] Y. Xue, M. Arjomandi, and R. Kelso, "Energy analysis within a vortex tube," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 52, pp. 139–145, 2014, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2013.09.004.
- [13] Y. Xue, M. Arjomandi, and R. Kelso, "Experimental study of the thermal separation in a vortex tube," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 46, pp. 175–182, 2013, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2012.12.009.
- [14] A. V. Khait, A. S. Noskov, A. V. Lovtsov, and V. N. Alekhin, "Semi-empirical turbulence model for numerical simulation of swirled compressible flows observed in Ranque-Hilsch vortex tube," *Int. J. Refrig.*, vol. 48, pp. 132–141, 2014, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2014.09.006.
- [15] H. A. Kandil and S. T. Abdelghany, "Computational investigation of different effects on the performance of the Ranque-Hilsch vortex tube," *Energy*, vol. 84, pp. 207–218, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.02.089.
- [16] S. Mohammadi and F. Farhadi, "Experimental and numerical study of the gas-gas separation efficiency in a Ranque-Hilsch vortex tube," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 138, pp. 177–185, 2014, doi: 10.1016/j.seppur.2014.10.022.



- [17] M. Korkmaz, A. Binal, H. Kaya, and V. Kırmacı, "ANN based ternary diagrams for thermal performance of a Ranque Hilsch vortex tube with different working fluids," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 40, no. October 2022, p. 101803, 2023, doi: 10.1016/j.tsep.2023.101803.
- [18] Bethea RM., *Statistical methods for engineers and scientists*. CRC Press, 2018.
- [19] P. Valcheva, "Some combinatorial structures in experimental design: overview, statistical models and applications," *Biometrics Biostat. Int. J.*, vol. 7, no. 4, 2018, doi: 10.15406/bbij.2018.07.00228.
- [20] H. Pouraria and M. R. Zangoee, "Numerical investigation of vortex tube refrigerator with a divergent hot tube," *Energy Procedia*, vol. 14, no. 2011, pp. 1554–1559, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2011.12.1132.
- [21] A. M. Pinar, O. Uluer, and V. Kirmaci, "Optimization of counter flow Ranque-Hilsch vortex tube performance using Taguchi method," *Int. J. Refrig.*, vol. 32, no. 6, pp. 1487–1494, 2009, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2009.02.018.
- [22] H. Gokce, "Evaluation and Optimization of O<sub>2</sub> Used Ranque-Hilsch Vortex Tube Performance," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 43, no. 13, pp. 1566–1576, 2021, doi: 10.1080/15567036.2020.1817188.
- [23] T. Madani, M. Boukraa, M. Aissani, T. Chekifi, A. Ziadi, and M. Zirari, "Experimental investigation and numerical analysis using Taguchi and ANOVA methods for underwater friction stir welding of aluminium alloy 2017 process improvement," *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 201, no. December 2022, p. 104879, 2023, doi: 10.1016/j.ijpvp.2022.104879.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Tool Wear in GGG50 Cast Iron Milling Environments

 Abdulkadir ORAK <sup>a\*</sup>,  Ali KALYON <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Yalova University, Yalova, TURKEY

<sup>b</sup> Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Yalova University, Yalova, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [abdulkadir.orak@yalova.edu.tr](mailto:abdulkadir.orak@yalova.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1353261

### ABSTRACT

In the present study, the impression of manufacturing parameters on cutting tool tip wear in the milling operation of GGG50 cast iron material with carbide coated cutting tool inserts was investigated. Taguchi orthogonal L18 experimental sequence was applied as the experimental design. As processing parameters; cutting speed, coolant and feed rate were chosen. In the test results, the amount of wear on the cutting tool tips was examined. Optimum processing multiparameters were determined by the Taguchi. Analysis of variance (ANOVA) was used to analyses the effect of input parameters on the cutting tool tip. Consequently, it has been determined that the wear is high in the working environment where the coolant is open and the cutting speed is high. In order to keep the cutting tool tip wear at a minimum level, the most suitable machining parameters are; coolant = closed, cutting speed = 160 mm/min, feed rate = 0.3 mm/rev. It was determined that the tip feed rate had little impression on tool wear.

**Keywords:** Milling, cast iron, tool wear, optimization, Taguchi, ANOVA

## GGG50 Dökme Demir Frezeleme Ortamlarında Takım Aşınması

### Öz

Bu çalışmada GGG50 dökme demir malzemesinin karbür kaplanmış kesici takım uçlarla frezeleme işlemindeki imalat parametrelerinin takım aşınması üzerine etkisi incelenmiştir. Deney tasarımı olarak Taguchi ortogonal L18 deney dizisi uygulanmıştır. İşleme parametreleri olarak; soğutma sıvısı, kesme hızı ve ağız başı ilerleme seçilmiştir. Yapılan deney sonuçlarında kesici takım uçlarındaki aşınma miktarları incelenmiştir. Optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Giriş parametrelerinin kesici takım ucuna olan etkisini incelemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Sonuç olarak soğutma sıvısının açık ve kesme hızının yüksek olduğu çalışma ortamında kesici takım ucu aşınmasının yüksek olduğu belirlenmiştir. Kesici takım ucu aşınmasını en az seviyede tutmak için en uygun işleme parametrelerin; soğutma sıvısı = kapalı, kesme hızı = 160 mm/min, ağız başı ilerleme = 0.3 mm/rev olduğu saptanmıştır. Ağız başı ilerlemenin takım aşınmasına etkisinin çok az olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Frezeleme, dökme demir, takım aşınması, optimizasyon, Taguchi, ANOVA

## **I. INTRODUCTION**

Cast iron; It is the type of material that has the highest production percentage among the materials produced in the casting industry. These types of materials are used quite frequently in the machinery and automotive industry. The most preferred cast irons are; austempered ductile cast iron, cast iron with spheroidal graphite, cast iron with spheroidal graphite [1]. In addition to the difficult cutting process of cast iron, the chemical composition and the amount of alloy also affect the machinability feature. [2]. Cast iron materials have mechanical properties that provide advantages such as high resistance to abrasion and deformation, easy machinability and low melting point [3].

Machining is a preferred manufacturing method for preparing machine parts for final use in the industrial field. Materials produced by production methods such as casting, rolling or pressing are processed by machining and turned into end-use [4]. In the machining process; The workpiece is shaped by removing chips by methods such as turning, milling and drilling. Milling is a shaping method that involves removing chips from the workpiece by rotating the cutting tool tip and moving the workpiece in the X, Y, and Z axes while held in a vise. [5]. Obtaining the parameters affecting the process in the machining method and then performing the optimization process with these parameters greatly increases the efficiency of the manufacturing process. Parameters as per shear velocity, feed rate, cutting angle and coolant are the main factors affecting cutting tool tip wear. During the processing of the material, high temperatures due to friction occur and this can cause deformations in both the material and the cutting tool tip [6]. The machinability of cast iron materials may also depend on their internal structure properties. Among the graphite cast iron types, the properties of the material such as the hardness and the matrix type of its internal structure are indicative of the machinability of that material. In terms of machinability of graphite cast irons; The shape of the graphite in the material is seen as the most important factor among all the machinability parameters [7].

There is a sectoral pressure to reduce costs and save energy in the machining method. New studies are constantly being carried out to enhance the cutting tool life used and to ensure the high productivity of the workpiece. Optimization of cutting parameters, coating processes on cutting tools and heat treatments are examples of these studies [8]. The life and reliability of the tools used in the machining method is one of the issues to be considered in terms of the manufacturing method. Tool life and reliability depend on the resistance to abrasion of the cutting tool, its toughness level and mechanical properties such as adhesion resistance [9]. Cutting tools; Even though it covers 4% of the production cost, it constitutes 10-40% of the downtime of the machine tool due to the malfunctions that occur. In this context, the cost of cutting tools affects the manufacturing cost up to 30%. For this reason, the life and reliability of cutting tools can directly affect the cost of the manufacturing method [10].

Kıvık [11] studied the optimization of the surface finish and abrasion of cutting tool tips used in milling by using the Taguchi method. He used ANOVA to reveal the impression of processing parameters on the results. As cutting tool parameters; cutting speed parameter was determined as 90-120-150 m/min and feed parameter was determined as 0.09-0.12-0.15 mm/rev. As a result of the experiments, While the feed rate affected the surface roughness the most, the shear velocity also affected the flank wear. The values estimated as a result of the regression analysis and the experimental results are very similar to each other. George et al. [12] studied the optimization of the cutting parameters of cutting tools in the milling operation of AISI 410 and 420 stainless steel materials. In the study, they designed the L9 orthogonal array experimental system. The results were revealed by using the ANOVA method. They preferred the spindle speed parameter as 500-1500-2500 rpm and the cutting speed parameter as 30-60-90 m/min. As per the experimental results, it was determined that the most contributing parameter to the surface finish was the spindle speed. As per the analyzes made, it was revealed that the predicted test results and the test results obtained from the experiments were compatible with a low margin of error. Lakshmi et al. [13,14] studied the optimization of the parameters determined for end milling of hardened steel material. They used the ANOVA method to show the accuracy of the determined experimental model. In the experiment, they determined the cutting speed parameter as 100-150-200 m/min, the feed rate parameter as 0.20-0.25-0.30 mm/rev and the cutting depth parameter as 0.2-0.3-0.4 mm. The feed



rate had the most impression on the chip removal rate. As the feed rate decreased, the chip removal rate decreased. Singh et al. [15] studied the optimization of the parameters used in the milling process of Incoloy 800 material with a cutting carbide tool. Surface roughness and tool wear were also determined as output parameters. In this study, they preferred cutting speed parameters as 2000-2250-2500 rpm, feed speed parameters as 350-425-500 mm/rev and cutting depth parameters as 0.2-0.4-0.6 mm. In conclusion, they showed that the depth of cut parameter had the greatest effect on tool wear. In addition, they stated that the effect of the progress parameter was quite low.

In the present study, the impact of manufacturing parameters on cutting tool tip wear in the milling operation of GGG50 cast iron material with carbide coated cutting tool inserts was investigated. In the experiments, it was aimed to reduce the abrasion on the cutting tool tips used in the machining process of GGG50 cast iron material. Taguchi orthogonal L18 experimental sequence was applied as the experimental design. The signal-to-noise (S/N) ratio over Taguchi was used to determine the machining parameters (coolant, cutting speed and feed rate) to achieve minimal tool wear. ANOVA was applied to specify the impact of input parameters on the cutting tool tip. Since the rough milling method was applied the surface finish values were not measured.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

### **A. MACHINING EXPERIMENTS**

Experiments were conducted on a three-axis Mazak HCN 8800 horizontal machining machine. GGG50 cast iron material was used as the workpiece. The chemical properties of the experimental material used in the experiments are given in Table 1. The input parameters determined in this study were chosen in line with literature research and cutting tool tip catalog information [16-17]. Cutting speed and feed rate were determined as test parameters in the experimental system, based on the data taken from the catalog information of the cutting tool used for the milling process. In addition, two different working environments were preferred due to the material having different production processes. Experiments were conducted at three different shear velocities (160-220-280 m/min), feed rate (0.2-0.25-0.3 mm/rev) and two different environments (coolant on and coolant off). The workpiece, cutting tools, tool holder and spindle used in this study are shown in Figure 1.

*Table 1. Chemical components of experimental material.*

Elements	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Mg (%)
% wt.	93.4	3.71	2.44	0.18	0.034	0.001	0.037



### **III. EXPERIMENT DESIGN AND OPTIMIZATION**

The Taguchi method allows to reduce the set of tests to be used in a study. In this way, a reliable and powerful experimental design can be revealed in engineering studies. Orthogonal arrays designed using the Taguchi method can perform a minimum number of tests with many variable parameters, while reducing the effects of factors other than these parameters [18]. The fundamental parameter of the analysis performed with this method is the loss function. With this function, deviations between the targeted results and experimentally obtained results are calculated. The resulting loss function: It reinstalls the S/N ratio that has the ratio of the targeted signal value to the non-targeted random noise. There are three basic S/N ratios in the optimization study with the Taguchi method; lowest is best, highest is best, and most normal is best. In addition, determining the optimum levels of machining parameters used in machining ensures a regular and reliable operation. [19]. This method allows the deflection between the experimentally obtained results and the predicted results to be determined using the loss function. This function is then converted to the S/N ratio. Thanks to the analysis of these S/N ratios; the lowest values are better, nominal values are better, and the highest values are better [20]. In this study, it is aimed to reduce the abrasion on the cutting tool tips used in the milling process. Therefore, the lowest value better characteristic is preferred, as shown in the S/N ratio analysis. S/N ratio analysis is shown in Equation 1.

The lowest is the better characteristic:

$$\eta = S/N_s = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

As a result, with the help of the Taguchi method, the difference between the targeted value ( $\tau$ ) of a process and the loss function value ( $y$ ) can be found with the formula in Equation 2 given below. In line with this formula, it is aimed to reduce the costs of the work done and transaction inconsistencies [18].

$$L(y) = kc(y - \tau)^2 \quad (2)$$

When  $\tau = 0$ , the performance characteristic of the test process is minimized. This situation is shown in the formula in Equation 3.

$$L(y) = kc(y)^2 \quad (3)$$

When the performance characteristic level of the test process is desired at the highest level, the formula in Equation 4 is applied.

$$L(y) = \frac{kc}{(y)^2} \quad (4)$$

Input parameters and levels used in the experimental system were determined as in Table 2.

*Table 2. Milling process parameters and levels.*

Parameters	Symbol	Level 1	Level 2	Level 3
Environment	A	Dry	Wet	-
Cutting speed,V, m/min	B	160	220	280
Feed rate,f,mm/rev	C	0.2	0.25	0.3

### **IV. RESULTS AND DISCUSSION**

## A. OPTIMIZATION OF MACHINING PARAMETERS

In this study, different combinations were created for the input parameters by using Taguchi methods for the wear of the cutting tool tips and each combination was measured by experimental method. Optimization studies of experimental parameters and wear values were made on Minitab application. Optimization of these parameters was done with S/N ratios. Due to the cost of cutting tool bits used in machining, the less these tool bits wear, the better in terms of cost in the industry. For this reason, the "lowest value is better" equation is preferred in calculating the S/N ratio. The results and wear values of the cutting tool tips are given in Table 3.

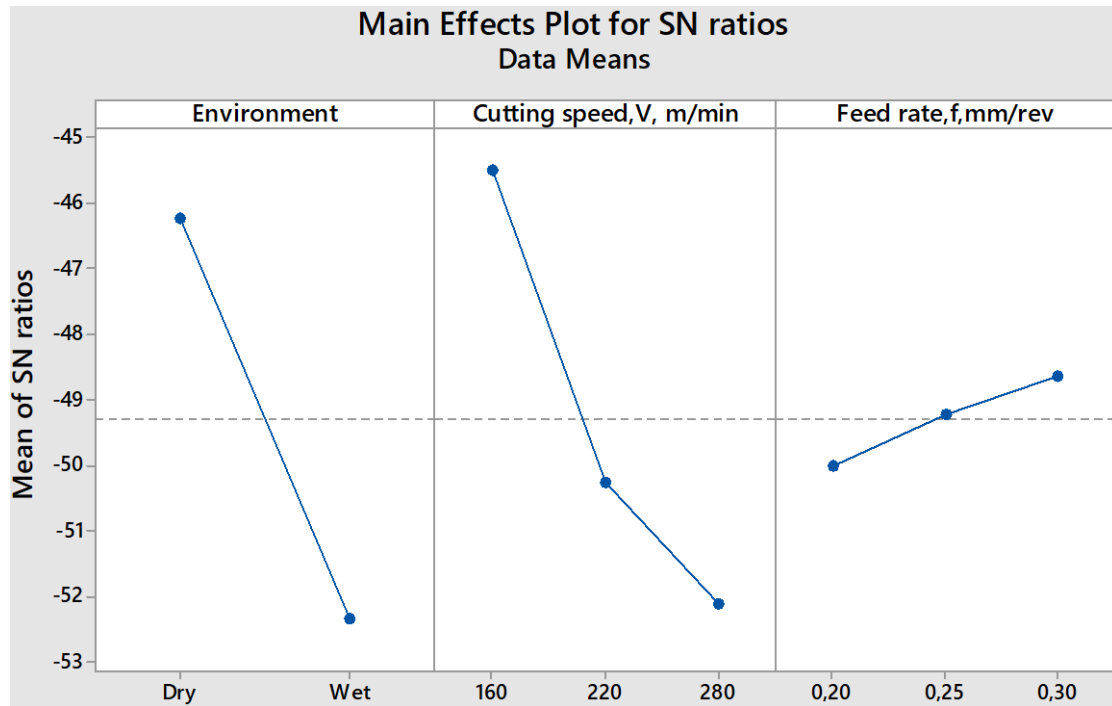
*Table 3. Experimental results and wear values.*

Experiment no.	Symbol	Environment	Cutting speed, V, m/min	Feed rate, f, mm/rev	Vb ( $\mu$ m)
1	A1B1C1	Dry	160	0.2	136.41
2	A1B1C2	Dry	160	0.25	113.48
3	A1B1C3	Dry	160	0.3	102.25
4	A1B2C1	Dry	220	0.2	255.85
5	A1B2C2	Dry	220	0.25	237.42
6	A1B2C3	Dry	220	0.3	230.71
7	A1B3C1	Dry	280	0.2	323.77
8	A1B3C2	Dry	280	0.25	305.12
9	A1B3C3	Dry	280	0.3	294.21
10	A2B1C1	Wet	160	0.2	312.28
11	A2B1C2	Wet	160	0.25	303.91
12	A2B1C3	Wet	160	0.3	296.74
13	A2B2C1	Wet	220	0.2	477.98
14	A2B2C2	Wet	220	0.25	458.62
15	A2B2C3	Wet	220	0.3	391.37
16	A2B3C1	Wet	280	0.2	602.13
17	A2B3C2	Wet	280	0.25	509.85
18	A2B3C3	Wet	280	0.3	487.52

The analysis of the effect of the input parameters used in the experiment was made with the S/N table. This S/N response chart is shown in Table 4. This table, obtained by the Taguchi method, specifies the most appropriate input parameters to minimize the wear on the cutting tool tips. In this table, the values that have the least effect on the abrasion of the cutting tool tip are shown in bold. The level values of the cutting tool wear parameters given in Table 4 are shown graphically in Figure 2. Optimum values of the determined input parameters can be specified with these graphs. The optimal level of each parameter was determined as the highest level of the S/N ratio in the graphs. Accordingly, A1B1C3 was found to be the most suitable test set for cutting tool tip wear. This set of experiments; It represents the optimum parameters as coolant closed as working environment, 160 m/min as shear velocity and 0.30 mm/rev as feed rate. The experimental set with the highest tool tip wear was determined as A2B3C1. The parameters of this experimental set were specified as working medium with coolant open, cutting speed as 280 m/min and feed rate as 0.3 mm/rev.

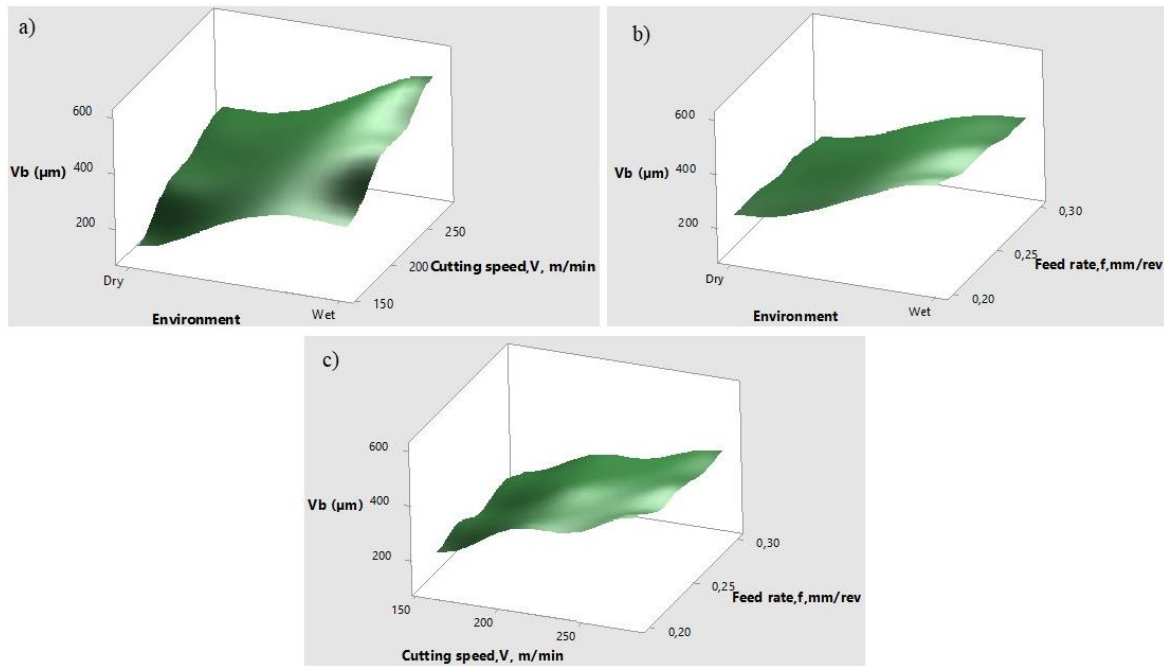
*Table 4. S/N results for tool wear.*

Levels	Environment	Cutting speed, V, m/min	Feed rate, f, mm/rev
Level 1	<b>-46.24</b>	<b>-45.50</b>	-50.02
Level 2	-52.35	-50.27	-49.22
Level 3		-52.13	<b>-48.65</b>
Delta	6.11	6.63	1.37



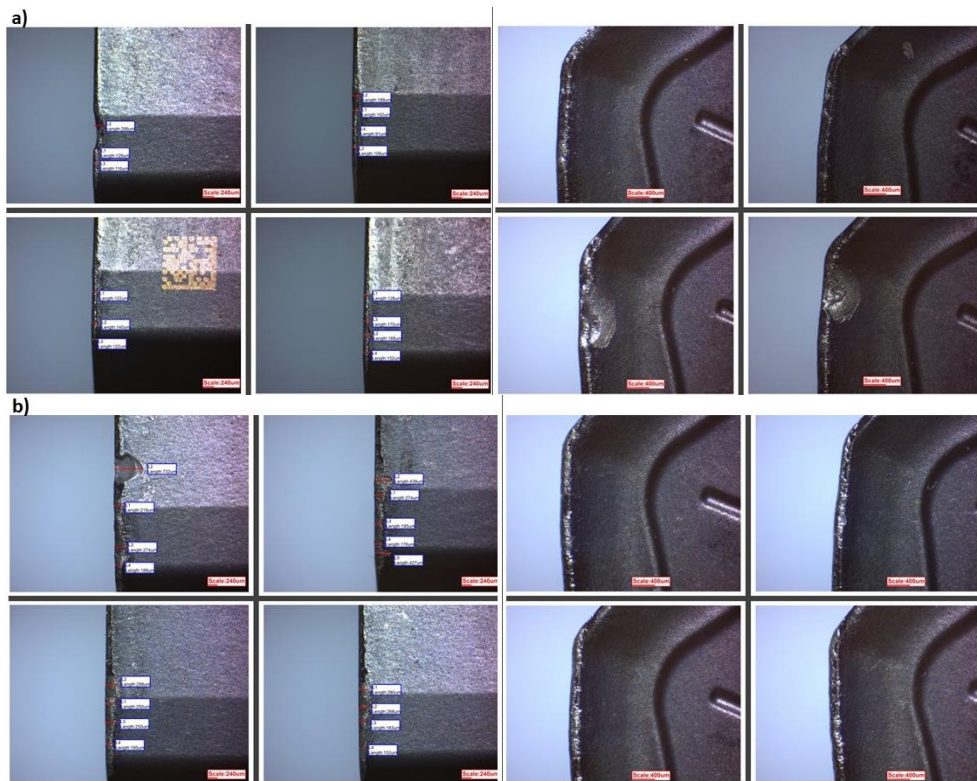
*Figure 2. S/N ratios of parameters in the milling process.*

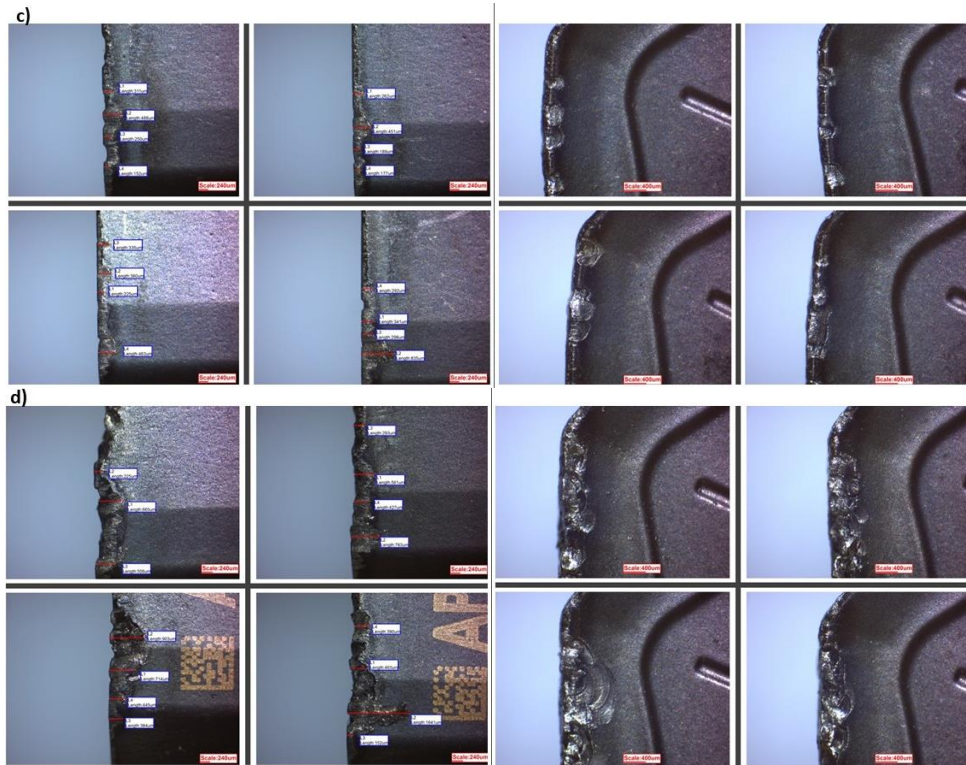
Figure 3.a shows the effects of shear velocity and working environment on average cutting tool tip wear. Looking at the graph, it is seen that the increase in cutting speed causes abrasion on the cutting tool tip. Looking at the literature, it is emphasized that as the shear velocity in the milling process increases, the abrasion on the cutting tool tip also increases [21-23]. When processing is carried out within the working parameters specified for GGG50 nodular cast iron material, the coolant may have a negative effect and corrode the tool tip [24]. However, it is seen that the shear velocity parameter does not affect the cutting tool tip wear as much as the ambient conditions. It is also seen that the working environment has a great effect on the abrasion on the cutting tool tip. It can be said that the open cooling liquid in the working environment also increases the average wear value. The reason for this is that thermal fatigue occurs with the use of coolant and as a result, more wear occurs compared to a dry working environment [25,26]. If the coolant used in milling operations is flooded, it causes wear on the cutting tool tip due to the effect of chips breaking off from the material. In addition, the high temperature caused by cutting forces and the coolant flowing in flood form create a thermal fatigue effect on the cutting tool tip [25,27]. Figure 3.b shows the effects of feed rate and working environment on cutting tool tip wear. As seen in the graph, the head feed rate parameter has little effect on the cutting tool tip wear. Figure 3.c shows the effects of feed rate and cutting speed on cutting tool tip wear. According to Figure 3.a and Figure 3.b graphics, when Figure 3.c is examined, it can be said that the feed rate parameter has no effect on the cutting tool tip wear. Studies in the literature show that the feed rate has little effect on the cutting tool tip wear [28-30]. When the working environment and cutting speed parameters are compared with the feed rate parameter, it is seen that they are effective in cutting tool tip wear.



**Figure 3.** 3d graphical representation of the effect of machining parameters on the cutting tool tip.

The images of the wear on the cutting tool tips obtained by the stereo microscope as a result of the experimental studies are shown in Figure 4. Figure 4.a shows A1B1C3 test set, Figure 4.b shows A1B3C2 test set, Figure 4.c shows A2B1C1 test set, and Figure 4.d shows the abrasion of the cutting tool tips after applying the A2B3C1 test set.





**Figure 4.** Imaging of the wear on the cutting tool tips with a stereo microscope. Figure 4.a. A1B1C3 experiment set. Figure 4.b. A1B3C2 experiment set. Figure 4.c. A2B1C1 experiment set. Figure 4.d. A2B3C1 experiment set.

## B. ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)

The ANOVA method is a statistical analysis method used to detect significant and insignificant interactions between independent parameters determined in the experimental design. In addition, it is used to prove the accuracy of the experimental set established by the Taguchi method [31,32]. In the study, ANOVA method was used to analyze the effects of cutting speed, feed rate and coolant on the wear of the cutting tool tips. The ANOVA analysis results of the wear on the cutting tool tips are given in Table 5.

**Table 5.** ANOVA results for wear of cutting tool tips.

Variance Source	Degree of Freedom (DoF)	Adj SS	Adj MS	F Value	P Value	PCR (%)
Environment	1	188330	188330	358.68	0	55.875
Cutting speed, V, m/min	2	134560	67280	128.14	0	39.9221
Feed rate, f, mm/rev	2	7866	3933	7.4	0.008	2.33374
Error	12	6301	525			1.86942
Total	17	337056				100

The fact that the P values determined in the ANOVA results for the input parameters were  $P < 0.05$  indicates that these parameters affect the tool wear a lot [33]. As the input parameters shown in the table above, it is seen that the effects of cooling water, cutting speed and cutting-edge feed on the cutting tool tip wear are 55.875%, 39.922%, and 2.333%, respectively. As per the results, it has been determined that the effect of feed rate on the cutting tool tip is very small. In the ANOVA analysis test, it was stated that the coefficient of determination ( $R^2$ ) was 98.13%. Although it is seen that the feed rate parameter does not have much effect on tool wear in the milling process of GGG50 ductile iron material, when looking

at the literature, it is seen that it is effective in other machining methods such as drilling, grooving and tapping [34,35].

## **V. CONCLUSIONS**

In this study, it was studied to determine the optimum working parameters of GGG50 ductile cast iron material in dry and coolant environments with carbide cutting tools by using Taguchi method. The reliability of the experimental results was evaluated by ANOVA analysis. The results obtained are listed as follows.

- It has been determined that the coolant being open in the working environment and the high cutting speed affect the cutting tool tip wear negatively.
- As per the analysis results obtained, the parameter that has the lowest effect on the cutting tool tip wear is the feed rate.
- It was determined that crater wear occurred at the cutting tool tip in the experimental parameters where the coolant was open, and the cutting speed was increased.
- In the study, it was observed that the flank wear mechanism occurred at the cutting tool tips.
- It has been determined that the use of coolant based on the increased temperature in the milling process causes thermal fatigue.
- As per the results of ANOVA analysis, feed rate the parameter that has the least effect on cutting tool tip wear.
- Considering the S/N ratios, it was observed that the most suitable test set to keep the cutting tool tip wear at a minimum level was A1B1C3 (Coolant = closed, cutting speed = 160 mm/min, feed rate = 0.3 mm/rev).

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors thank DÖKTAŞ A.Ş for their support throughout the research.

## **VI. REFERENCES**

- [1] Wojciechowski, S., Talar, R., Zawadzki, P., & Wieczorowski, M., "Evaluation of physical indicators and tool wear during grooving of spheroidal cast iron with a novel WCCo/cBN (BNDCC) inserts," *Wear*, 454, 203301, 2020.
- [2] Grzesik, W., Kiszka, P., Kowalczyk, D., Żak, K., & Rech, J., "Investigation of the machining process of spheroidal cast iron using cubic boron nitride (CBN) tools," *Metalurgija*, vol. 53, no. 1, 33-36, 2014.
- [3] Özcan, B., "Gri dökme demir malzemelerin işlenebilirliğinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi," (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara), 2018.
- [4] Sur, Gökhan, "Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara*, 2008.
- [5] Şirin, Ş., & ŞİRİN, E., "AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezelenmesi Üzerine Bir Derleme," *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, vol. 1, no. 2, 14-24, 2020.
- [6] Kilincarslan, E., Kilincarslan, S. K., & Cetin, M. H., "Evaluation of the clean nano-cutting fluid by considering the tribological performance and cost parameters," *Tribology International*, 157, 106916, 2021.
- [7] Nayyar, V., Kaminski, J., Kinnander, A., & Nyborg, L., "An experimental investigation of machinability of graphitic cast iron grades; flake, compacted and spheroidal graphite iron in continuous machining operations," *Procedia Cirp*, 1, 488-493, 2012.



- [8] Velan, M. V. G., Shree, M. S., & Muthuswamy, P., "Effect of cutting parameters and high-pressure coolant on forces, surface roughness and tool life in turning AISI 1045 steel," *Materials Today: Proceedings*, 43, 482-489, 2021.
- [9] Del Val, A. G., Alonso, U., Veiga, F., & Arizmendi, M., "Wear mechanisms of TiN coated tools during high-speed tapping of GGG50 nodular cast iron," *Wear*, 514, 204558, 2023.
- [10] Sun, H., Liu, Y., Pan, J., Zhang, J., & Ji, W., "Enhancing cutting tool sustainability based on remaining useful life prediction," *Journal of Cleaner Production*, 244, 118794, 2020.
- [11] Kıvık, T., "Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts," *Measurement*, 50, 19-28, 2014.
- [12] George, P., & Selvaraj, D. P., "Cutting parameter optimization of CNC dry milling process of AISI 410 and 420 grade MSS," *Materials Today: Proceedings*, 42, 897-901, 2021.
- [13] Lakshmi, V. V. K., & Subbaiah, K. V., "Modelling and optimization of process parameters during end milling of hardened steel," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 2, no. 2, 674-679, 2012.
- [14] Patil, S., Rao, P. S., Prabhudev, M. S., Khan, M. Y., & Anjaiah, G., "Optimization of cutting parameters during CNC milling of EN24 steel with Tungsten carbide coated inserts: A critical review," *Materials Today: Proceedings*, 62, 3213-3220, 2022.
- [15] Singh, B., & Rao, P. S., "Optimization of machining parameters during CNC milling of Incoloy 800," *OPTIMIZATION*, vol. 5, no. 04, 2019.
- [16] Iliescu, D. M. F. D., Gehin, D., Gutierrez, M. E., & Giroto, F., "Modeling and tool wear in drilling of CFRP," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 50, no. 2, 204-213, 2010.
- [17] Bolat, Ç., Karakılınç, U., Yalçın, B., Öz, Y., Yavaş, Ç., Ergene, B., ... & Akkoyun, F., "Effect of drilling parameters and tool geometry on the thrust force and surface roughness of aerospace grade laminate composites," *Micromachines*, vol. 14, no.7, 1427, 2023.
- [18] Yalçın, B., Yüksel, A., Aslantaş, K., Der, O., & Ercetin, A., "Optimization of Micro-Drilling of Laminated Aluminum Composite Panel (Al-PE) Using Taguchi Orthogonal Array Design," *Materials*, vol. 16, no. 13, 4528, 2023.
- [19] Cetin, M. H., Ozcelik, B., Kuram, E., & Demirbas, E., "Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method," *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, no. (17-18), 2049-2056, 2011.
- [20] Asiltürk, I., & Akkuş, H., "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method," *Measurement*, vol. 44, no. 9, 1697-1704, 2011.
- [21] Rao, P. S., Prabhudev, M. S., Kohir, V., & Anjaiah, G., "CNC milling of EN24 steel for assessment of the process parameters using OFAT technique: A preliminary investigation," *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [22] Sahoo, A., Orra, K., & Routra, B., "Application of response surface methodology on investigating flank wear in machining hardened steel using PVD TiN coated mixed ceramic insert," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 4, no. 4, 469-478, 2013.



- [23] Kar, B. C., Panda, A., Kumar, R., Sahoo, A. K., & Mishra, R. R., "Research trends in high speed milling of metal alloys: A short review," *Materials Today: Proceedings*, 26, 2657-2662, 2020.
- [24] Shih, A. J., Tai, B. L., Li, R., Shih, A. J., Tai, B. L., & Li, R., "Experimental Analysis of Cast Iron Drilling with Dry and MQL Conditions," *Metal and Bone Drilling-The Thermal Aspects*, 77-93, 2019.
- [25] Gueli, M., Ma, J., Cococchetta, N., Pearl, D., & Jahan, M. P., "Experimental investigation into tool wear, cutting forces, and resulting surface finish during dry and flood coolant slot milling of Inconel 718," *Procedia Manufacturing*, 53, 236-245, 2021.
- [26] Khatri, A., Jahan, M. P., & Ma, J., "Assessment of tool wear and microstructural alteration of the cutting tools in conventional and sustainable slot milling of Ti-6Al-4V alloy," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 2799-2814, 2019.
- [27] Kawade, P. B., & Bokade, S., "Comparison study on effect of different lubrication methods on tool wear and surface roughness during end milling of die tool steel," *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [28] Mukkoti, V. V., Mohanty, C. P., Gandla, S., Sarkar, P., & P, S. R., "Optimization of process parameters in CNC milling of P20 steel by cryo-treated tungsten carbide tools using NSGA-II," *Production & Manufacturing Research*, vol. 8, no. 1, 291-312, 2020.
- [29] Kumar, S., & Rao, P. S., "Machining of EN31 Steel using CNC Vertical Milling Machine for different parameters: A Review," *J. Univ. Shanghai Sci. Technol.*, vol. 24, no. 4, 2022.
- [30] Deepak, D., & Beedu, R., "Multi response optimization of process parameters using grey relational analysis for turning of Al-6061," In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 225, No. 1, p. 012092), 2017.
- [31] Taher, M. B., Pelay, U., Russeil, S., & Bougeard, D., "A novel design to optimize the optical performances of parabolic trough collector using Taguchi, ANOVA and grey relational analysis methods," *Renewable Energy*, 119105, 2023.
- [32] Sachin, K. G., Chandan, B. M., & Sagar, M. A., "Experimental investigation and optimization of light transmitting brick using ANOVA method of regression using Minitab software," *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [33] Yarar, E., & Karabay, S., "Investigation of the effects of ultrasonic assisted drilling on tool wear and optimization of drilling parameters," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31, 265-280, 2020.
- [34] Wojciechowski, S., Talar, R., Zawadzki, P., & Wieczorowski, M., "Evaluation of physical indicators and tool wear during grooving of spheroidal cast iron with a novel WCCo/cBN (BNDCC) inserts," *Wear*, 454, 203301, 2020.
- [35] Del Val, A. G., Alonso, U., Veiga, F., & Arizmendi, M., "Wear mechanisms of TiN coated tools during high-speed tapping of GGG50 nodular cast iron," *Wear*, 514, 204558, 2023.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Bazı Pamuk (*Gossypium* sp.) Genotiplerinde Meyve ve Odun Dallarından Alınan Pamuk Liflerine Ait Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi

 Ali Rahmi KAYA<sup>a,\*</sup>,  Halil KARAYAĞLI<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: alirahmikaya@ksu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1177549

### ÖZ

Bu çalışma, Kahramanmaraş'ta yetiştirilen pamuk genotiplerinde, pamuk bitkisinin meyve ve odun dallarından alınan pamuk liflerine ait verim ve verim unsurlarını belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Pamuk liflerine ait verim ve verim unsurlarına ait veriler 2017 yılında tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulan deneme alanından elde edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre odun dalı sayıları 0.17 ile 1.75 adet arasında değişmiştir. En yüksek odun dalı sayısına 1.75 adet ile Hat KMA sahip olmuş ve ST 468, BA 119 ve DP 396 çeşitleri ile arasında istatistik olarak fark bulunmamıştır. Meyve dalı sayıları 7.46 ile 10.00 adet arasında değişmiştir. En yüksek meyve dalı sayısına 10.00 adet ile DP 396 çeşidi sahip olmuştur. Kütlü pamuk verimi 272.70 kg da<sup>-1</sup> ile 547.83 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. En yüksek kütlü pamuk verimine 547.83 kg da<sup>-1</sup> ile DP 396 sahip olmuştur. Meyve dalı kütlü pamuk verimi 258.27 kg da<sup>-1</sup> ile 473.78 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. En yüksek meyve dalı kütlü pamuk verimine 473.78 kg da<sup>-1</sup> ile DP 396 çeşidi sahip olmuştur. Odun dalı kütlü pamuk verimi 2.37 kg da<sup>-1</sup> ile 74.05 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. En yüksek odun dalı kütlü pamuk verimi 74.05 kg da<sup>-1</sup> ile DP 396 çeşidi sahip olmuştur. Bütün genotiplerin fenotipik ve genotipik özellikleri birbirinden farklı olduğu için yetiştirilmiş olduğu iklim ve çevre koşullarına tepkileri de farklı olmuştur. Yürütülen tek yıllık araştırma sonucuna göre, verimle ilgili ıslah çalışmalarında makineli hasada uygunluk da göz önüne alınarak odun dalını azaltmaya, meyve dalını artırmaya yönelik araştırmaların yapılabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitkisel özellikler, *Gossypium* sp., Meyve dalı, Odun dalı, Pamuk, Verim ve verim unsurları

## Determination of Yield, Yield Components of Fibers Taken from Sympodial and Monopodial Branches of Various Cotton (*Gossypium* sp.) Genotypes

### ABSTRACT

This study was conducted to determine the yield and yield components of cotton fibers obtained from sympodial (fruiting) and monopodial (vegetative) branches of cotton genotypes in Kahramanmaraş. The data on yield and yield components of cotton fibers were obtained from the experimental area established in 2017 according to the randomized complete blocks design with four replications. According to the results of the study, the number of monopodial branches has changed between 0.17 and 1.75. While the Hat KMA (1.75) has the highest number of

monopodial branch and no statistical difference was found between ST 468, BA 119 and DP 396 cultivars. The number of sympodial branches has changed between 7.46 and 10.00. DP 396 (10.00) variety had the highest number of sympodial branches. The seed cotton yield varied between 272.70 kg da<sup>-1</sup> and 547.83 kg da<sup>-1</sup>, while DP 396 had the highest seed cotton yield with 547.83 kg da<sup>-1</sup>. Sympodial branch seed cotton yield varied between 258.27 kg da<sup>-1</sup> and 473.78 kg da<sup>-1</sup>, while DP 396 variety had the highest sympodial branch seed cotton yield with 473.78 kg da<sup>-1</sup>. The yield of monopodial branch seed cotton yield varied between 2.37 kg da<sup>-1</sup> and 74.05 kg da<sup>-1</sup>. Since phenotypic and genotypic characteristics of all genotypes were different from each other, their responses to the climatic and environmental conditions in which they were raised were also different. Based on the results of the one-year study, it has been confirmed that breeding studies regarding to yield improvements can be made to decrease the monopodial branches and to increase the sympodial branches by considering the suitability of the machine harvesting.

**Keywords:** Plant characteristics, *Gossypium sp.*, Sympodial branch, Monopodial branch, Cotton, Yield and yield components

## **I. GİRİŞ**

En az 7000 yıldır tarımı yapılmakta olan pamuk bitkisinden elde edilen lifler, kumaş yapımı için kullanılan en eski tekstil liflerinden biridir [1]. Günümüzde kumaş yapımı yanında; para üretiminden kozmetik sanayiine, beyzbol topundan uçak kanadına kadar birçok alanda kullanılan bir üründür. Pamuk bitkisi odunsu ve çok yıllık bir bitki olmakla birlikte tek yıllık olarak da kültürü yapılan bir bitkidir. Genel olarak 1 metre civarında bir boya sahiptir [2]. Pamuk bitkisi, aşağıdan yukarı helezonik bir düzende yaprak ve çiçeklerini oluşturmaktadır. Çiçeklenme aşağıdan yukarı ve içten dışarı doğru belirli aralıklarla gerçekleşir [3]. Bitki en yüksek boyuna eriştiğinde (80.00-100.00 gün sonra) açık pembe renkten kırmızıya doğru giden renklere çiçek açar. Bitkide çiçekler dökülünce, küçük koyu yeşil renkte ve ceviz büyüklüğündeki tohum zarfı oluşur ve koza adı verilen tohum zarfının içinde 4.00-30.00 kadar tohum bulunur. Koza olgunluğa erişirken de tohumların üzerinde uzun ince lifler oluşur. Koza olgunlaştıktan sonra çatlar ve pamuk tohumları etrafı bir lif kütlesi kaplanmış halde açığa çıkar. Çiğit de denilen pamuk tohumlarının her birinin üzerinde 10 bin-20 bin kadar lif vardır [4]. Pamuğun hasat zamanı; yetiştirildiği yörenin iklim şartlarına, pamuğun çeşidine ve ekimin zamanına göre değişir. Hasat işlemine kozaların olgunlaşması ve açması ile başlanır. Pamuğun hasadı Ağustos-Eylül aylarında yapılır. Çukurova bölgesinde Ağustos sonu Kasım ayının başına kadar devam eder [2]. Tarlalardan makine ya da elle toplanan pamuklara kütlü pamuk adı verilir. Toplanan pamuklar, koza kabuklarından ve tohumdan ayrılmak üzere çırçır işletmelerine yollanır [4]. Pamuğun gelişme özelliğinden dolayı ilk, orta ve üst meyve dallarında oluşabilecek kozaların gelişme koşulları farklı olabileceğinden, bu kozalardan elde edilen tohum ve lif özellikleri de farklı olabilir [3].

Dünyada 2021 yılında pamuk ekimi yapılan alan 32.6 milyon hektar, lif üretimi 25.4 milyon ton ve lif verimi ise 778.6 kg ha<sup>-1</sup>'dir [5]. Pamuk, ülke ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de 2023 yılında kütlü pamuk; ekim alanı 477438 hektar, üretimi 2 100 000 ton, verimi ise 4400 kg ha<sup>-1</sup>'dir. Lif üretimi 777 000 ton, lif verimi 1630 kg ha<sup>-1</sup>'dir. Kahramanmaraş'ta 2023 yılında kütlü pamuk; ekim alanı 43 055 dekar, üretimi 16 963 ton, verimi ise 394 kg da<sup>-1</sup>'dir. Lif üretimi 6 276 ton, lif verimi 146 kg da<sup>-1</sup>'dir [6].

Bu çalışma pamuk genotiplerinde meyve ve odun dallarından alınan pamuk liflerine ait verim ve verim unsurlarını belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Yürütülen çalışmada meyve ve odun dallarına ait bitkisel özellikler ve verim özellikleri incelenmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

### **A. Materyal**

#### **A. 1. Deneme yeri ve yılı**

Bu çalışma, 7 farklı pamuk genotipinde; pamuk bitkisinin meyve ve odun dallarından alınan pamuk liflerine ait verim ve verim unsurlarını belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Çalışmada, materyal olarak ST 468, BA 119, DP 396, Candia, Claudia, DP 332 ve türler arası melezleme ile elde edilen (*Gossypium hirsutum* L. x *Gossypium barbadense* L.) ileri hat melezi (Hat KMA) kullanılmıştır. Pamuk liflerinin verim ve verim unsurlarına ait veriler, Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nce tesadüf blokları deneme deseninde 4 tekerrürlü olarak 2017 yılında kurulan deneme alanından elde edilmiştir.

#### **A. 2. Deneme yerinin toprak özellikleri**

Deneme alanı toprağının, pH 8.09 ile hafif alkali, organik maddece %1.23 ile az, % 19.45 ile fazla kireçli, 45.95 kg da<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O ile potasyum ve 18.00 kg da<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile fosfor zenginliği olan ve tınlı yapıda olduğu Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait toprak analiz laboratuvarında tespit edilmiştir.

#### **A. 3. Deneme yerinin iklim özellikleri**

Kahramanmaraş, coğrafi olarak Doğu Akdeniz Bölgesinde 27° 11'-38° 36' kuzey paralelleri-36° 15'-37° 41' doğu meridyenleri arasında yer alır. Rakım olarak 800 m'ye kadar olan bölgelerde Akdeniz iklimi, daha yüksek seviyelerde ise karasal iklim özelliklerinin etkisi altındadır. Denemenin yürütüldüğü 2017 yılına ait olan ortalama sıcaklık, toplam yağış değerleri Meteoroloji İşleri İl Müdürlüğü 2017 Yılı Raporları uyarınca, 2017 yılı Mayıs ve Ekim ayları arasında sıcaklık değerleri ile uzun yıllar (1927-2017) ortalaması (UYO) karşılaştırıldığında, Mayıs (19.60 °C) ayında UYO'nun biraz altında (-0.70 °C) gerçekleşirken, ekimi müteakiben Haziran (26.20 °C), Temmuz (30.90 °C), Ağustos (29.80 °C), Eylül (27.70 °C) aylarında ve hasat işleminin yapıldığı Ekim (19.40 °C) aylarında sıcaklık UYO'nun üzerinde (sırasıyla 1.0, 2.5, 1.3, 2.5 ve 0.3 °C) gerçekleşmiştir.

Yağış bakımından Mayıs-Ekim ayları arasındaki UYO'nda 105.40 mm toplam yağış düşmesine karşılık 2017 yılı Mayıs-Ekim ayları arasında toplam 151.00 mm yağış almıştır. Yine UYO'ndan 45.60 mm daha fazla yağışın düştüğü 2017 yılı Mayıs-Ekim ayları arasında Haziran (3.10 mm), Temmuz (- mm), Ağustos (- mm), Eylül (- mm), Ekim (42.90 mm) aylarında yağış miktarı UYO'nun üstünde (-18.80 mm) iken; Mayıs (105 mm) ayında ise yağış miktarı UYO'nun üstünde (64.40 mm) olmuştur.

#### **A. 4. Denemede kullanılan pamuk genotipleri ve özellikleri**

Kullanılan ST 468, BA 119, DP 396, Candia, Claudia, DP 332 ve Hat KMA (*Gossypium hirsutum* L. x *Gossypium barbadense* L. ileri hat melezi) Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Denemede kullanılan pamuk çeşitlerinin özellikleri Anonim(a-f) [7-12] tarafından ortaya konmuştur. Ancak Hat KMA genotipi adı geçen aynı kurum tarafından ıslah çalışmaları yürütülen ve tescil aşamasında olan *Gossypium hirsutum* L. x *Gossypium barbadense* L. melezlenmesi ile elde edilmiş bir genotiptir.

### **B. METOT**

Çalışmada bitkisel özellikler, pamuk liflerinin verim ve verim unsurlarına ait veriler Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nce kurulu deneme üzerinden alınmış olmakla birlikte. ekim öncesi ve sonrası yapılmış olan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

## **B. 1. Deneme deseni**

İncelenen özellikler; tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulan parselleri 0.70 m x 12.00 m x 8 sıra= 67.20 m<sup>2</sup> her blokta 7 parsel ve bloklar arası aralık ise 3.00 m; toplamda 2234.40 m<sup>2</sup>'lik bir alana sahip deneme alanından alınmıştır.

## **B. 2. Denemede uygulanan kültürel işlemler**

### **Ekim ve bakım işlemleri**

Ekim öncesi toprak hazırlığı işlemleri sonbaharda başlamış, sonbaharda ilk olarak derin sürüm yapılmış ve toprak kışı bu şekilde geçirmiştir. Nisan ayında 2 defa diskaro çekilmiştir. Yağışlardan dolayı tarla yüzeyinde yoğunlaşan yabancı ot mücadelesi için Ekimden 20 gün önce total herbisit uygulaması yapılmıştır. Ekimden hemen önce 1 defa diskaro, 2 defa tırmık ve 2 defa tapan çekilmiştir. Deneme alanına; ekimle birlikte 6 kg da<sup>-1</sup> saf azot (N) ile 6 kg da<sup>-1</sup> saf fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) gelecek şekilde kompoze gübre (20-20-0) uygulaması yapılmıştır. Bölge koşullarına göre Nisan ayı içerisinde gerçekleşen ekim işleri bu yıl yoğun yağışlardan dolayı gerçekleştirilememiştir. 30.05.2017 tarihinde ekim gerçekleştirilmiştir. 18.06.2017 tarihinde sıra arasındaki yabancı otların yok edilmesi ve toprağı havalandırmak için frezeli çapa ve hemen sonrasında ise sıra üzerindeki yabancı ot mücadelesi için el çapası yapılmıştır.

Deneme alanında ekimden sonra çıkışların sağlıklı bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir. Bitkilerin daha rahat bir gelişme alanı bulması için 6-8 yapraklı döneme girdiğinde seyreltme işlemi, 12-14 yapraklı dönemde ise tekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneme alanında toprağı havalandırmak, kapilariteyi kırmak ve yabancı ot mücadelesi yapmak amacıyla 2 defa elle ve 2 defa makine ile çapalama yapılmıştır.

Ekim ile birlikte verilen taban gübresinin yanı sıra üst gübre olarak, birinci sulama öncesi dekara 6 kg saf azot içerecek şekilde Amonyum Sülfat ile üçüncü sulama öncesi dekara 6 kg saf azot (N) olacak şekilde "Üre" gübresi uygulanmıştır.

Bitkide yapılan fenolojik gözlemlere göre 7 kez sulama gerçekleştirilmiştir. Sulamalar karık yöntemine göre geliştirilmiş kontrollü musluklara sahip borular kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede tüm karıklara aynı anda ve eşit miktarda su verilmiştir. Ayrıca ilk taraklanma başlangıcında yeşil kurt mücadelesi için 200 g L<sup>-1</sup> Chlorantraniliprole etkili maddesi olan Coregan-20 SC adlı insektisit kullanılmıştır.

### **Hasat**

20 Eylül 2017 tarihinde tek defada elle yapılmıştır.

## **B. 3. Deneme ile ilgili çeşitli görüntüler**

Deneme ile ilgili bazı görüntüler aşağıda verilmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2).



*Şekil 1. Deneme alanından pamuk bitkisi görüntüsü.*



**(a)**



**(b)**



**(c)**

*Şekil 2. Deneme alanından pamuk hasadı öncesi gözlemler (a-c).*

### **C. İNCELENEN ÖZELLİKLER VE İZLENEN YÖNTEMLER**

Bitkisel özelliklerden; bitki boyu (cm), odun dalı ve meyve dalı sayısı (adet/bitki), bitkideki koza sayısı (adet/bitki) [bitkideki toplam koza sayısı (adet/bitki), meyve dalındaki koza sayısı (adet/bitki), odun

dalındaki koza sayısı (adet/bitki)), koza çenet sayısı (adet) (bitki kozasındaki çenet sayısı (adet), meyve dalı kozasındaki çenet sayısı (adet), odun dalı kozasındaki çenet sayısı (adet)), koza çenet ağırlığı (bitki kozasındaki çenet ağırlığı (g), meyve dalı kozasındaki çenet ağırlığı (g), odun dalı kozasındaki çenet ağırlığı (g)), şif (çenet) oranı (%) (bitki kozasındaki şif (çenet) oranı (%), meyve dalı kozasındaki şif (çenet) oranı (%), odun dalı kozasındaki şif (çenet) oranı (%)), kozadaki tohum sayısı (adet) (bitki kozasındaki tohum sayısı (adet), meyve dalındaki kozada tohum sayısı (adet), odun dalındaki kozada tohum sayısı (adet)), koza ağırlığı (g) (bitki koza ağırlığı (g), meyve dalı koza ağırlığı (g), odun dalı koza ağırlığı (g)), Verim ile ilgili özelliklerden; kütlü pamuk verimi (kg da<sup>-1</sup>) (kütlü pamuk verimi (kg da<sup>-1</sup>), meyve dalı kütlü pamuk verimi (kg da<sup>-1</sup>), odun dalı kütlü pamuk verimi (kg da<sup>-1</sup>)), çırçır randımanı (%) (çırçır randımanı (%), meyve dalı çırçır randımanı (%), odun dalı çırçır randımanı (%)), 100 tohum ağırlığı (g) (meyve dalı 100 tohum ağırlığı, odun dalı 100 tohum ağırlığı), koza kütlü pamuk ağırlığı (g) (koza kütlü pamuk ağırlığı (g), meyve dalı koza kütlü pamuk ağırlığı (g), odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığı (g)) gibi incelenen özelliklere dair veriler Kaya vd. [13], Kaya vd. [14] ve Anonim(g) [15]'nin belirttiği yöntemler uyarınca saptanmıştır.

Alınan gözlemlerde, bitkiye ait incelenen özellikler 10 bitki üzerinden, kozaya ait özellikler ise 25 koza üzerinden gözlem yapılmıştır. Aynı şekilde ayrı ayrı hem meyve dalı, hem odun dalına ait özelliklerin tespiti yapılmıştır (özellikle odun dalına ait koza sayısı 25'den az olduğundan tespit edilen sayı üzerinden ortalama değerler hesaplanmıştır). Verim ile ilgili incelenen özelliklerde, meyve ve odun dallarına ait toplam kütlü lif pamuk değerlerinin oranları baz alınırken, toplamda bitkiye ait özellikler belirlenirken de koza ile ilgili incelenen özelliklerde, meyve ve odun dallarına ait toplam koza sayılarındaki oran baz alınmıştır. Meselâ;

$$\text{Bitki kozasındaki çenet sayısı} = \frac{(mdks \times mdo\çs) + (odks \times odo\çs)}{mdks+odks} \quad (1)$$

mdks: meyve dalı koza say.

odks: odun dalı koza say.

mdoçs: meyve dalı ortalama çenet say.

odoçs: odun dalı ortalama çenet say.

formülünde olduğu gibi.

## D. SONUÇLARIN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ

Yukarıda belirtilen karakterlerin gözlem, tartım, ölçüm ve sayımları sonucu bulunan değerlerin varyans analizleri tesadüf blokları deneme deseninde SAS 9.1 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bazı parsellerde bitki örneklerinde odun dalı yok ise; ona ait veriler veri dosyasında boş bırakılmıştır. Önemli bulunan farklılıklar ise Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı pamuk genotiplerinde; pamuk bitkisinin meyve ve odun dallarından alınan pamuk liflerine ait verim ve verim unsurlarının belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

### A. BİTKİSEL ÖZELLİKLER

#### A. 1. Bitki boyu (cm)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitki boyu sayılarının ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 1'de verilmiştir.



**Tablo 1.** Pamuk genotiplerinde bitki boyu, odun ve meyve dalı ve bitkideki koza sayılarına ilişkin ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları

Genotipler	Bitki boyu (cm)**	Odun Dalı Sayısı	Meyve Dalı Sayısı (adet)**	Bitkideki Koza Sayısı	Meyve Dalındaki Koza Sayısı	Odun Dalındaki Koza Sayısı
ST 468	89.70 b	1.52 a	8.57 bcd	11.69 b	10.77 bc	0.92 abc
BA 119	92.77 b	1.30 a	8.67 bcd	12.30 ab	11.14 abc	1.17 ab
DP 396	94.12 b	1.30 a	10.00 a	14.35 a	13.12 a	1.23 a
Candia	85.92 b	0.27 b	7.76 cd	9.19 c	8.82 cd	0.37 bc
Claudia	75.32 c	0.62 b	7.46 d	8.91 c	8.09 d	0.82 abc
DP 332	68.19 c	0.17 b	9.57 ab	12.15 ab	11.92 ab	0.22 c
Hat KMA	114.87 a	1.75 a	8.92 abc	11.80 b	10.50 bc	1.30 a
<b>Ortalama</b>	<b>88.70</b>	<b>0.99</b>	<b>8.71</b>	<b>11.48</b>	<b>10.62</b>	<b>0.86</b>

(\*\*) P<0.01. (\*) P<0.05

Bitki boyu ortalama değerlerine ilişkin yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiksel olarak çok önemli (P<0.01) olduğu görülmektedir. Kaya vd. [13] ve Kakaç [16] da genotipler arasında bitki boyu açısından istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulmuştur.

Tablo 1’de görüldüğü üzere, bitki boyu değerleri 68.19 ile 114.87 cm arasında değişmiştir ve en yüksek bitki boyu Hat KMA genotipinden ve en düşük bitki boyu ise 68.19 cm ile DP 332 ve 75.32 cm ile Claudia çeşitlerinden elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, Bozdoğan vd. [17], Kakaç [16], Yıldız ve Haliloğlu [18], Güneş [3] ve Kaya vd.[13]’nin bulgularıyla uyum içerisindedir.

### A. 2. Odun dalı sayısı (adet)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin odun dalı sayılarının ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 1’de verilmiştir.

Odun dalı sayılarına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiksel olarak (P<0.01) çok önemli olduğu görülmektedir. Kakaç [16] da genotipler arasında odun dalı sayısı bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulmuştur.

Tablo 1’de görüldüğü üzere, odun dalı sayıları 0.17 adet ile 1.75 adet arasında değişmiştir ve en yüksek odun dalı sayısına 1.75 adet ile Hat KMA genotipi sahip olmuş ve ST 468, BA 119 ve DP 396 çeşitleri ile arasında istatistiksel olarak fark bulunmamış, en düşük odun dalı sayısı ise 0.17 adet ile DP 332 çeşidinden elde edilmiştir ve Candia ve Claudia çeşitleri ile arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Bulunan sonuçlar Bozdoğan vd. [17]’nin bulguları ile uyum içerisindedir.

### A. 3. Meyve dalı sayısı (adet)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin meyve dalı sayılarına ait ortalama değerleri ve oluşan Duncan grupları Tablo 1’de verilmiştir.

Meyve dalı sayısına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farklar istatistiksel olarak çok önemli (P<0.01) bulunmuştur.

Tablo 1’de görüldüğü üzere, meyve dalı sayıları 7.46 ile 10.00 adet arasında değişmiştir ve en yüksek meyve dalı sayısına 10.00 adet ile DP 396 çeşidi sahip olurken en düşük meyve dalı sayısına 7.46 adet ile Claudia çeşidi sahip olmuştur.

#### A. 4. Bitkideki Koza sayısı (adet)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin; bitkideki, meyve dalı ve odun dalındaki koza sayılarının ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları Tablo 1’de verilmiştir.

Bitkideki koza sayısına ve odun dalındaki koza sayısına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın  $P < 0.05$  düzeyinde istatistiki olarak önemli olduğu görülmekte. Bozdoğan vd [17] de genotipler arasında bitkideki koza sayısı bakımından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulmuştur. Meyve dalındaki koza sayısına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasında farkın istatistiki olarak ( $P < 0.01$ ) çok önemli olduğu görülmekte. Güneş [3] de genotipler arasında meyve dalındaki koza sayısı açısından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulmuştur.

Tablo 1’de görüldüğü üzere bitkideki koza sayısı 8.91 ile 14.35 adet arasında değişmiştir ve en yüksek koza sayısına DP 396 çeşidi sahip olurken, en düşük koza sayısı 8.91 adet ile Claudia çeşidinden elde edilmiştir, Candia çeşidi ile arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır. Bulunan sonuçlar. Bozdoğan vd. [17] ve Kakaç [16]’ın bulguları ile uyum içerisindedir. Meyve dalı sayısı en yüksek olan DP 396 çeşidinin bitkideki koza sayısı da en yüksek olmuştur. Rauf vd. [19]’ne göre, meyve dalı sayısı ile kütlü pamuk verimi arasındaki toplam korelasyonun pozitif ve önemli olması, bitkideki koza sayısı ile pozitif ve önemli bir ilişkiye sahip olmasından kaynaklanmaktadır, bulgular araştırmacıların sonuçları ile uyum içerisindedir. Bitkideki koza sayısı en düşük olan Candia çeşidinin bitki koza ağırlığı en yüksek olmuştur. Rauf vd. [19] bitki koza ağırlığının bitkideki koza sayısında negatif ve dolaylı etkileri olduğunu bildirmişlerdir, bulgular araştırmacıların sonuçları ile uyum içerisindedir. Meyve dalındaki koza sayısı 8.09 ile 13.12 adet arasında değişmiştir ve en yüksek meyve dalındaki koza sayısına DP 396 çeşidi sahip olurken, en düşük meyve dalındaki koza sayısı Claudia çeşidinden elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar Güneş [3]’in bulguları ile uyum içerisindedir. Odun dalındaki koza sayısı 0.22 ile 1.30 adet arasında değişmiştir ve en yüksek odun dalındaki koza sayısına Hat KMA genotipi sahip olmuştur, DP 396 çeşidi ile arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır. En düşük odun dalındaki koza sayısı ise DP 332 çeşidinden elde edilmiştir.

#### A. 5. Çenet sayısı (adet)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitkideki, meyve dalı ve odun dalı kozasındaki çenet sayılarının ortalama değerleri ve oluşan Duncan grupları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Pamuk çeşitlerinde bitkideki, meyve dalı ve odun dalındaki çenet sayıları ve ağırlığına ilişkin ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları

Genotipler	Bitkideki Çenet Sayısı (adet)*	Meyve Dalındaki Çenet Sayısı (adet)*	Odun Dalındaki Çenet Sayısı (adet)	Bitki Kozasındaki Çenet Ağırlığı (g)	Meyve Dalı Kozasındaki Çenet Ağırlığı (g)	Odun Dalı Kozasındaki Çenet Ağırlığı (g)
ST 468	4.54 a	4.56 a	4.38	1.33	1.34	1.12
BA 119	4.55 a	4.56 a	4.55	1.32	1.32	1.31
DP 396	4.36 b	4.36 b	4.25	1.19	1.22	0.93
Candia	4.37 b	4.36 b	4.64	1.50	1.51	1.19
Claudia	4.57 a	4.58 a	4.35	1.42	1.46	1.04
DP 332	4.54 a	4.54 a	4.39	1.35	1.36	0.95
Hat KMA	4.64 a	4.65 a	4.66	1.34	1.33	1.19
<b>Ortalama</b>	<b>4.51</b>	<b>4.51</b>	<b>4.46</b>	<b>1.35</b>	<b>1.36</b>	<b>1.10</b>

(\*)  $P < 0.05$

Bitki kozasındaki ve meyve dalı kozasındaki çenet sayısına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasında istatistiki olarak ( $P < 0.05$  düzeyinde) önemli varyasyon olduğu görülmektedir. Odun dalı kozasındaki çenet sayısına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 2’de görüldüğü üzere bitki kozasındaki çenet sayıları 4.36 ile 4.64 adet arasında değişmiştir ve en yüksek çenet sayısına sahip genotipler Hat KMA, Claudia, BA 119, ST 468 ve DP 332 (sırasıyla 4.64 adet, 4.57 adet, 4.55 adet, 4.54 adet, 4.54 adet) olurken, en düşük çenet sayısı 4.36 adet ile DP 396 ve 4.37 adet ile Candia çeşitlerinde belirlenmiştir. Meyve dalı kozasındaki çenet sayısı 4.36 ile 4.65 adet arasında değişmiştir ve en yüksek çenet sayısına Hat KMA, Claudia, ST 468, BA 119 ve DP 332 (sırasıyla 4.65 adet, 4.58 adet, 4.56 adet, 4.56 adet ve 4.54 adet) genotipleri sahip olurken, en düşük çenet sayısı DP 396 ve Candia çeşitlerinden elde edilmiştir. Odun dalı kozasındaki çenet sayısı 4.25 ile 4.66 adet arasında değişmiştir.

## A. 6. Çenet ağırlığı (g)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitkideki, meyve dalı ve odun dalı kozasındaki çenet ağırlığına ait ortalama değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Bitki kozasındaki çenet ağırlığına, Meyve ve odun dalı kozasındaki çenet ağırlığına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın  $P > 0.05$  düzeyinde istatistiki olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 2’de görüldüğü üzere bitki kozasındaki çenet ağırlığı 1.19 g ile 1.50 g arasında değişmiştir ve en yüksek çenet ağırlığına Candia çeşidi sahip olurken, en düşük çenet ağırlığı DP 396 çeşidinden elde edilmiştir. Meyve dalı kozasındaki çenet ağırlığı 1.22 g ile 1.51 g arasında değişmiştir ve en yüksek meyve dalı çenet ağırlığına Candia çeşidi sahip olurken, en düşük çenet ağırlığı DP 396 çeşidinden elde edilmiştir. Odun dalı kozasındaki çenet ağırlığı ise 0.93 g ile 1.31 g arasında değişmiştir.

## A. 7. Şif oranı (%)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitkideki, meyve dalı ve odun dalı kozasındaki şif oranına ait ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 3’te verilmiştir.

*Tablo 3. Pamuk genotiplerinde bitkideki, meyve dalı ve odun dalı kozasındaki şif oranına ve tohum sayısına ilişkin ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları*

Çeşitler	Bitki Kozasındaki Şif Oranı (%) <sup>*</sup>	Meyve Dalı Kozasındaki Şif Oranı (%) <sup>*</sup>	Odun Dalı Kozasındaki Şif Oranı (%) <sup>**</sup>	Bitki Kozasındaki Tohum Sayısı (adet)	Meyve Dalı Kozasındaki Tohum Sayısı (adet)	Odun Dalı Kozasındaki Tohum Sayısı (adet)
ST 468	21.30 abc	21.30 ab	21.53 bcd	29.72	30.05	25.67
BA 119	21.63 ab	21.44 ab	23.98 abc	27.91	28.09	25.85
DP 396	17.79 bc	20.07 ab	17.29 d	29.54	29.56	29.02
Candia	21.35 abc	21.18 ab	27.30 ab	31.57	31.69	27.57
Claudia	23.46 a	22.94 a	28.79 a	30.37	31.06	24.42
DP 332	23.46 a	23.43 a	22.99 bcd	27.96	27.99	24.48
Hat KMA	18.01 c	17.69 b	19.70 cd	31.07	31.30	29.79
<b>Ortalama</b>	<b>21.27</b>	<b>22.15</b>	<b>23.08</b>	<b>29.73</b>	<b>29.96</b>	<b>26.69</b>

(\*\*)  $P < 0.01$ . (\*)  $P < 0.05$

Bitki kozasındaki ve meyve dalı kozasındaki şif oranına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak ( $P < 0.05$ ) önemli olduğu görülmektedir. Odun dalı kozasındaki şif

oranına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasında farkın istatistiki olarak ( $P<0.01$ ) çok önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 3'te görüldüğü üzere bitki kozasındaki şif oranı %18.01 ile %23.46 arasında değişmiştir ve en yüksek şif oranına Claudia ve DP 332 çeşitleri sahip olurken, en düşük şif oranı DP 396 çeşidinden elde edilmiştir. Meyve dalı kozasındaki şif oranı %17.69 ile %23.43 arasında değişmiştir ve en yüksek şif oranına %23.43 ile DP 332 çeşidi sahip olmuştur, Claudia çeşidi ile arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır, en düşük şif oranı Hat KMA genotipinden elde edilmiştir. Odun dalı kozasındaki şif oranı %17.29 ile %28.79 arasında değişmiştir ve en yüksek şif oranına Claudia çeşidi sahip olurken, en düşük şif oranı DP 396 çeşidinden elde edilmiştir.

#### A. 8. Kozadaki Tohum sayısı (adet)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitkideki, meyve dalı ve odun dalı kozasındaki tohum sayılarının ortalama değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Bitki kozasında, meyve dalı kozasında ve odun dalı kozasındaki tohum sayısına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasında farkın istatistiki olarak ( $P>0.05$ ) önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 3'te görüldüğü üzere bitki kozasındaki tohum sayısı 27.91 ile 31.57 adet arasında değişmiştir ve en yüksek tohum sayısına 31.57 adet ile Candia çeşidi sahip olurken, en düşük tohum sayısı 27.91 adet ile BA 119 çeşidinden elde edilmiş, DP 332 çeşidi ile arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır.

#### A. 9. Koza ağırlığı (g)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitki, meyve dalı ve odun dalı koza ağırlığına ait ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 4'de verilmiştir.

*Tablo 4. Pamuk genotiplerinde bitki, meyve dalı ve odun dalı koza ağırlığı ve kütlü pamuk verimine ilişkin ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları*

Çeşitler	Bitki Koza Ağırlığı (g)**	Meyve Dalı Koza Ağırlığı (g)**	Odun Dalı Koza Ağırlığı (g)	Kütlü Pamuk Verimi ( $kg da^{-1}$ )**	Meyve Dalı Kütlü Pamuk Verimi ( $kg da^{-1}$ )**	Odun Dalı Kütlü Pamuk Verimi ( $kg da^{-1}$ )*
ST 468	6.24 b	6.33 bc	5.20	462.29 b	417.97 bc	44.33 ab
BA 119	6.07 b	6.15 bc	5.40	463.30 b	415.79 bc	47.52 ab
DP 396	6.04 b	6.08 bc	5.38	547.83 a	473.78 a	74.05 a
Candia	7.06 a	7.14 a	4.59	323.25 c	310.57 d	12.68 b
Claudia	6.16 b	6.38 b	3.82	272.70 c	258.27 e	14.43 b
DP 332	5.76 b	5.78 c	4.23	440.53 b	438.16 ab	2.37 b
Hat KMA	7.45 a	7.55 a	6.03	426.19 b	376.03 c	50.16 ab
<b>Ortalama</b>	<b>6.40</b>	<b>6.49</b>	<b>4.95</b>	<b>419.44</b>	<b>384.37</b>	<b>35.07</b>

(\*\*)  $P<0.01$ . (\*)  $P<0.05$

Bitki koza ağırlığı ve meyve dalı koza ağırlığına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak ( $P<0.01$ ) çok önemli olduğu görülmektedir. Odun dalı koza ağırlığına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasında istatistiki olarak ( $P>0.05$ ) önemsiz varyasyon olduğu görülmektedir. Kütlü pamuk veriminin genotiplere göre değiştiği görülmektedir, bu durum denemelerde kullanılan çeşitlerin farklı genetik yapılarından kaynaklanmış olabilir.

Tablo 4'de görüldüğü üzere bitki koza ağırlığı 5.76 g ile 7.45 g arasında değişmiştir ve en yüksek koza ağırlığına 7.45 g ile Hat KMA genotipi sahip olmuş, Candia çeşidi ile arasında istatistiki olarak fark

bulunmamıştır. En düşük koza ağırlığı DP 332 (5.76 g) çeşidinden elde edilmiştir, DP396, BA 119, Claudia ve ST 468 çeşitleri ile arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır. Meyve dalı koza ağırlığı 5.78 g ile 7.55 g arasında değişmiştir ve en yüksek koza ağırlığına 7.55 g ile Hat KMA genotipi sahip olurken, Candia çeşidi ile arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır. En düşük koza ağırlığı DP 332 çeşidinden elde edilmiştir. Odun dalı koza ağırlığı 3.82 g ile 6.03 g arasında değişmiştir ve en yüksek koza ağırlığına 6.03 g ile Hat KMA genotipi sahip olurken, en düşük koza ağırlığı 3.82 g ile Claudia çeşidinden elde edilmiştir.

## B. VERİM İLE İLGİLİ ÖZELLİKLER

### B. 1. Kütlü pamuk verimi (kg da<sup>-1</sup>)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitki, meyve dalı ve odun dalı kütlü pamuk verimine ait ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 4’de verilmiştir.

Kütlü pamuk verimi ve meyve dalı kütlü pamuk verimine göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak ( $P<0.01$ ) çok önemli olduğu görülmektedir. Bozdoğan vd. [17], Kaya vd. [13], Karademir vd. [20], Kakaç [16] ve Karademir vd. [21] de genotipler arasında kütlü pamuk verimi bakımından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulmuştur. Odun dalı kütlü pamuk verimine göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak ( $P<0.05$ ) önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 4’de görüldüğü üzere kütlü pamuk verimi 272.70 kg da<sup>-1</sup> ile 547.83 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. En yüksek kütlü pamuk verimine 547.83 kg da<sup>-1</sup> ile DP 396 sahip olurken, en düşük verim 272.70 kg da<sup>-1</sup> ile Claudia ve 323.25 kg da<sup>-1</sup> ile Candia çeşitlerinden elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, Bozdoğan vd. [17], Karademir vd. [20], Güreli ve Mert [22], Karademir vd. [21] ve Yıldız ve Haliloğlu [18]’nin bulguları ile uyum içerisindedir. Bitkideki koza sayısı ve meyve dalı sayısı en yüksek olan DP 396 çeşidinin kütlü pamuk verimi de en yüksek olmuştur, Rauf vd. [19] bitkideki koza sayısının ve meyve dalı sayısının kütlü pamuk verimi ile genotipik düzeyde pozitif ve önemli bir ilişkiye sahip olduğunu bildirmekte, bulgular araştırmacıların sonuçları ile uyum içerisindedir. Meyve dalının kütlü pamuk verimi 258.27 kg da<sup>-1</sup> ile 473.78 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir ve en yüksek değer 473.78 kg da<sup>-1</sup> ile DP 396 çeşidinden elde edilmiştir. En düşük meyve dalı kütlü pamuk verimi 310.57 kg da<sup>-1</sup> ile Candia çeşidinden elde edilmiştir. Odun dalındaki kütlü pamuk verimi 2.37 kg da<sup>-1</sup> ile 74.05 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir ve en yüksek odun dalı kütlü pamuk verimi 74.05 kg da<sup>-1</sup> ile DP 396 çeşidinden elde edilmiştir. En düşük odun dalı kütlü pamuk verimi 2.37 kg da<sup>-1</sup> ile DP 332 çeşidinden elde edilmiştir. Odun dalları üzerinde çiçek dolayısıyla koza oluşumu mümkün değildir. Ancak odun dalı üzerindeki meyve dalları üzerinde çiçek, ondan da koza oluşumu mümkün olmaktadır. Ana gövde üzerinde ise doğrudan meyve dalları üzerindeki boğumlarda çiçek oluşumu, akabinde çiçekten koza oluşumu meydana gelmektedir. Odun dallarının verime katkılarının düşüklüğü buna bağlı olabilir.

### B. 2. Çırçır randımanı (%)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitki, meyve dalı ve odun dalı çırçır randımanına ait ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** Pamuk genotiplerinde bitki, meyve dalı ve odun dalı çırçır randımanı ve yüz tohum ağırlığına ilişkin ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları

Çeşitler	Çırçır Randımanı (%)**	Meyve Dalı Çırçır Randımanı	Odun Dalı Çırçır Randımanı	Meyve dalı yüz tohum ağırlığı (g)**	Odun dalı yüz tohum ağırlığı (g)**
ST 468	42.93 ab	43.29 a	42.32 ab	9.23 b	9.41 b
BA 119	42.87 ab	42.83 a	42.69 a	8.96 bc	8.95 bc
DP 396	41.05 b	41.70 a	39.78 bc	8.59 cd	8.34 c

Candia	44.27 a	44.42 a	40.76 abc	9.11 b	8.46 c
Claudia	42.72 ab	43.14 a	40.52 abc	8.23 de	8.65 c
DP 332	44.15 a	44.15 a	42.80 a	7.95 e	7.22 d
Hat KMA	38.48 c	38.08 b	38.78 c	10.71 a	11.13 a
<b>Ortalama</b>	<b>42.35</b>	<b>42.51</b>	<b>41.09</b>	<b>8.97</b>	<b>8.88</b>

(\*\*) P<0.01. (\*) P<0.05

Çırçır randımanına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak (P<0.01) çok önemli olduğu görülmektedir. Bozdoğan vd. [17], Karademir vd. [20], Kakaç [16], Karademir vd. [21] de genotipler arasında çırçır randımanı açısından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulmuştur. Meyve dalı çırçır randımanı ve odun dalı çırçır randımanına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak (P<0.01) önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 5'te görüldüğü üzere çırçır randımanı %38.48 ile %44.27 arasında değişmiştir ve en yüksek çırçır randımanına % 44.27 ile Candia ve % 44.15 ile DP 332 çeşitleri sahip olurken, en düşük randıman %38.48 ile Hat KMA) genotipinden elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, Bozdoğan vd. [17], Karademir vd. [20], Kakaç [16], Karademir vd. [21], Yıldız ve Haliloğlu [18] ve Güneş [3]'in bulgularıyla uyum içerisindedir. Meyve dalı çırçır randımanı %38.08 ile %44.42 arasında değişmiştir ve en yüksek çırçır randımanı Candia, DP 332, ST 468, Claudia, BA 119 ve DP 396 çeşitleri (sırasıyla % 44.42, % 44.15, % 43.29, % 43.14, %42.83 ve % 41.70) sahip olurken, en düşük randıman %38.08 ile Hat KMA genotipinden elde edilmiştir. Odun dalı çırçır randımanı %38.78 ile %42.80 arasında değişmiştir ve en yüksek çırçır randımanına % 42.80 ile DP 332 ve % 42.69 ile DP 332 çeşitleri sahip olurken, en düşük randıman Hat KMA genotipinden elde edilmiştir.

### B. 3. Yüz tohum ağırlığı (g)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin meyve dalı ve odun dalı yüz tohum ağırlıklarına ait ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 5'te verilmiştir.

Meyve dalı yüz tohum ağırlığı ve odun dalı yüz tohum ağırlığı değerlerine ilişkin yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak çok önemli (P<0.01) olarak tespit edilmiştir. Bozdoğan vd. [17], Kaya vd. [13] ve Kakaç [16] da genotipler arasında yüz tohum ağırlığı bakımından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulmuştur.

Tablo 5'te görüldüğü üzere, meyve dalı yüz tohum ağırlığı 7.95 ile 10.71 g arasında değişmiştir ve en yüksek meyve dalı yüz tohum ağırlığı Hat KMA genotipinden elde edilmiş olup DP 332 çeşidi en düşük meyve dalı yüz tohum ağırlığına sahip olmuştur. Odun dalı yüz tohum ağırlığı 7.22 ile 11.13 g arasında değişmiştir ve en yüksek odun dalı yüz tohum ağırlığı Hat KMA genotipinden elde edilmiş olup DP 332 çeşidi en düşük odun dalı yüz tohum ağırlığına sahip olmuştur. Bozdoğan vd. [17], Kaya vd. [13], Güreli ve Mert [22], Kakaç [16], Yıldız ve Haliloğlu [18] ve Güneş [3]'in bulguları ile tespit edilen yüz tohum ağırlıkları uyum içerisindedir.

### B. 4. Koza Kütlü pamuk ağırlığı (g)

Denemede kullanılan pamuk genotiplerinin bitki, meyve dalı ve odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığına ait ortalama değerleri ile oluşan Duncan grupları Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Pamuk genotiplerinde bitki, meyve dalı ve odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığına ilişkin ortalama değerler ve oluşan Duncan grupları

Çeşitler	Koza Kütlü Pamuk Ağırlığı (g)**	Meyve Dalı Koza Kütlü Pamuk Ağırlığı (g)**	Odun Dalı Koza Kütlü Pamuk Ağırlığı (g)
ST 468	4.82 c	4.98 c	4.08
BA 119	4.60 cd	4.83 cd	4.09
DP 396	4.66 cd	4.86 cd	4.44
Candia	5.38 b	5.62 b	3.39
Claudia	4.60 cd	4.92 cd	2.79
DP 332	4.28 d	4.42 d	3.28
Hat KMA	5.95 a	6.22 a	4.84
<b>Ortalama</b>	<b>4.90</b>	<b>5.12</b>	<b>3.85</b>

(\*\*) P<0.01

Koza kütlü pamuk ağırlığı ve meyve dalı koza kütlü pamuk ağırlığı bakımından yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak (P<0.01) çok önemli olduğu görülmektedir. Odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığına göre yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiki olarak (P>0.05) önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 6’da görüldüğü üzere koza kütlü pamuk ağırlığı 4.28 g ile 5.95 g arasında değişmiştir ve en yüksek koza kütlü pamuk ağırlığına Hat KMA genotipi sahip olurken, en düşük koza ağırlığı DP 332 çeşidinden elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, Bozdoğan vd. [17], Güreli ve Mert [22], Kakaç [16]’ın bulgularıyla uyum içerisindedir. Meyve dalı koza kütlü pamuk ağırlığı 4.42 g ile 6.22 g arasında değişmiştir ve en yüksek koza kütlü pamuk ağırlığına Hat KMA genotipi sahip olurken, en düşük koza ağırlığı DP 332 çeşidinden elde edilmiştir. Odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığı 2.79 g ile 4.84 g arasında değişmiştir ve en yüksek koza ağırlığına Hat KMA genotipi sahip olurken, en düşük koza ağırlığı Claudia çeşidinden elde edilmiştir.

### C. GÖZLENEN ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLER

*Tablo 7. Pamuk genotiplerinin gözlenen parametreleri için korelasyon tablosu*

	MDKPV	ODKPV	KPV
BB	0.20836	0.47832 **	0.34277
ODS	0.30953	0.62270 **	0.47636 *
MDS	0.81048 **	0.30234	<b>0.75115</b> **
MDKS	0.87615 **	0.41072 *	<b>0.84335</b> **
ODKS	0.15308	0.57213 **	0.33426
BKS	0.85704 **	0.53330 **	<b>0.87409</b> **
MDKÇS	-0.02758	0.23551	0.06625
ODKÇS	-0.16819	-0.02813	-0.14295
BKÇS	-0.03756	0.22407	0.05412
MDKÇA	-0.46698 *	-0.09008	-0.40137 *
ODKÇA	-0.01837	0.19867	0.05973
BKÇA	-0.45532 *	-0.10291	-0.39697 *
MDKŞO	-0.18994	-0.20879	-0.22757
ODKŞO	-0.61770 **	-0.51862 **	-0.68015 **
BKŞO	-0.27670	-0.26107	-0.31542
MDKTS	-0.33289	0.09067	-0.22825
ODKTS	0.15960	0.38088 *	0.26797
BKTS	-0.30370	0.10227	-0.20093

MDKA	-0.33031	0.18238	-0.19195
ODKA	0.34390	0.57047 **	<b>0.48390 **</b>
BKA	-0.25694	0.20070	-0.12733
MDKPV	1	0.40860 *	<b>0.94007 **</b>
ODKPV	0.40860 *	1	<b>0.69533 **</b>
KPV	0.94007 **	0.69533 **	1
MDÇR	-0.08618	-0.24991	-0.16123
ODÇR	0.29544	-0.18059	0.16516
ÇR	-0.05971	-0.41009 *	-0.20023
MDYTA	0.01814	0.27523	0.11711
ODYTA	-0.11674	0.32046	0.02779
MDKKPA	-0.21936	0.21863	-0.09104
ODKKPA	0.40955 *	0.62122 **	<b>0.55456 **</b>
KKPA	0.16634	0.16365	-0.06984

\*\* : Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır.

\* : Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

BB: Bitki boyu (cm), ODS: Odun dalı sayısı (adet/bitki), MDS: Meyve dalı sayısı (adet/bitki), MDKS: Meyve dalındaki koza sayısı (adet/bitki), ODKS: Odun dalındaki koza sayısı (adet/bitki), BKS: Bitkideki koza sayısı (adet/bitki), MDKÇS: Meyve dalı kozasındaki çenet sayısı (adet), ODKÇS: Odun dalı kozasındaki çenet sayısı (adet), BKÇS: Bitki kozasındaki çenet sayısı (adet), MDKÇA: Meyve dalı kozasındaki çenet ağırlığı (g), ODKÇA: Odun dalı kozasındaki çenet ağırlığı (g), BKÇA: Bitki kozasındaki çenet ağırlığı (g), MDKŞO: Meyve dalı kozasındaki şif (çenet) oranı (%), ODKŞO: Odun dalı kozasındaki şif (çenet) oranı (%), BKŞO: Bitki kozasındaki şif (çenet) oranı (%), MDKTS: Meyve dalındaki kozada tohum sayısı (adet), Odun dalındaki kozada tohum sayısı (adet), BKTS: Bitki kozasındaki tohum sayısı (adet), MDKA: Meyve dalı koza ağırlığı (g), ODKA: Odun dalı koza ağırlığı (g), BKA: Bitki koza ağırlığı (g), MDKPV: Meyve dalı kütlü pamuk verimi (kg/da), ODKPV: Odun dalı kütlü pamuk verimi (kg/da), KPV: Kütlü pamuk verimi (kg/da), MDÇR: Meyve dalı çırçır randımanı (%), ODÇR: Odun dalı çırçır randımanı (%), ÇR: Çırçır randımanı (%), MDYTA: Meyve dalı 100 tohum ağırlığı (g), ODYTA: Odun dalı 100 tohum ağırlığı (g), MDKKPA: Meyve dalı koza kütlü pamuk ağırlığı (g), ODKKPA: Odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığı (g), KKPA: Koza kütlü pamuk ağırlığı (g)

Çalışmada, pamuk genotiplerinin kütlü pamuk verimi, meyve dalı kütlü pamuk verimi ve odun dalı kütlü pamuk verimi ile incelenen tüm özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için korelasyon analizi yapılmıştır. Tablo 7'te gösterildiği gibi, en önemli özelliklerden biri de kütlü pamuk verimidir. Kütlü pamuk veriminin, meyve dalı sayısı, meyve dalı koza sayısı, bitki koza sayısı, odun dalı koza ağırlığı, meyve dalı kütlü pamuk verimi, odun dalı kütlü pamuk verimi ve odun dalı kütlü pamuk ağırlığı ile anlamlı pozitif korelasyonlara sahip olduğu bulundu ( $r=0.75115$ ,  $r=0.84335$ ,  $r=0.87409$ ,  $r=0.48390$ ,  $r=0.94007$ ,  $r=0.69533$  ve  $r=0.55456$ ). Diğer özellikler arasındaki pozitif ve negatif ilişki için Tablo 7 incelenebilir.

## IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Kahramanmaraş bölgesinde yetiştirilen 7 farklı pamuk genotipinde meyve ve odun dallarından alınan pamuk liflerine ait verim ve verim unsurlarının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Denemede genotiplere ait; bitki boyu, odun ve meyve dalı sayısı, çenet sayısı ile çenet ağırlığı, koza sayısı, şif oranı, kozada tohum sayısı, koza ve koza kütlü pamuk ağırlığı, kütlü pamuk verimi ile çırçır randımanı ve yüz tohum ağırlığı gibi özellikler incelenmiştir.

Genotiplerde toplamda bitki, meyve dalı ve odun dallarının incelenen özelliklerindeki ortalama değerler ve bunların katkıları ve kıyaslama dağılımı aşağıdaki gibidir:

Bitki boyları 68.19 ile 114.87 cm arasında değişmiştir ve bitki boyu ortalama değerlerine ilişkin yapılan varyans analizinde genotipler arasındaki farkın istatistiksel olarak çok önemli olduğu görülmüştür.



Odun dalı sayıları 0.17 adet ile 1.75 adet arasında değişmiştir ve genotipler arasındaki fark istatistiki olarak çok önemli bulunmuştur.

Meyve dalı sayıları 7.46 ile 10.00 adet arasında değişmiştir ve genotipler arasındaki fark istatistiki olarak çok önemli bulunmuştur.

Bitkideki ortalama koza sayısına (11.48 adet) meyve dalındaki koza sayısının (10.62 adet) katkısı % 92.51 olarak gerçekleşirken, odun dalındaki koza sayısının (0.86 adet) katkısı % 7.49 olarak gerçekleşmiştir. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitkideki koza sayısı ve odun dalındaki koza sayısı bakımından önemli, meyve dalındaki koza sayısı bakımından ise çok önemli bulunmuştur.

Bitkideki ortalama çenet sayısı 4.51 adet, meyve dalındaki ortalama çenet sayısı 4.51 adet ve odun dalındaki ortalama çenet sayısı ise 4.46 adet olmuştur. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitkideki çenet sayısı ve meyve dalındaki çenet sayısı bakımından önemli, odun dalındaki çenet sayısı bakımından ise önemsiz bulunmuştur.

Bitki kozasındaki ortalama çenet ağırlığı 1.35 g, meyve dalındaki ortalama çenet ağırlığı 1.36 g ve odun dalındaki ortalama çenet ağırlığı ise 1.10 olmuştur. Odun dalındaki çenet ağırlığının düşüklüğü, odun dalındaki çenet sayısının düşüklüğünden kaynaklanmaktadır. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitki kozasındaki çenet ağırlığı, meyve dalı kozasındaki çenet ağırlığı ve odun dalı kozasındaki çenet ağırlığı bakımından önemsiz bulunmuştur.

Bitki kozasındaki ortalama şif oranı % 21.27, meyve dalı kozasındaki ortalama şif oranı % 22.15 ve odun dalı kozasındaki şif oranı ise % 23.08 olmuştur. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitki kozasındaki şif oranı ve meyve dalı kozasındaki şif oranı bakımından önemli, odun dalı kozasındaki şif oranı bakımından ise çok önemli bulunmuştur.

Bitki kozasındaki ortalama tohum sayısı 29.73 adet, meyve dalı kozasındaki ortalama tohum sayısı 29.96 adet ve odun dalı kozasındaki ortalama tohum sayısı 26.69 adet olarak tespit edilmiştir. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitki kozasındaki ortalama tohum sayısı, meyve dalı kozasındaki ortalama tohum sayısı ve odun dalı kozasındaki ortalama tohum sayısı bakımından önemsiz bulunmuştur.

Bitki ortalama koza ağırlığı 6.40 g, meyve dalı ortalama koza ağırlığı 6.49 g ve odun dalı ortalama koza ağırlığı ise 4.95 olmuştur. Odun dalındaki koza ağırlığının düşüklüğü, odun dalındaki çenet sayısının ve çenet ağırlığının düşüklüğünden de kaynaklanmaktadır. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitki koza ağırlığı ve meyve dalı koza ağırlığı bakımından çok önemli, odun dalı koza ağırlığı bakımından önemsiz bulunmuştur.

Çırcır randımanı ortalama % 42.35, meyve dalı ortalama çırcır randımanı % 42.51 ve odun dalı ortalama çırcır randımanı % 41.09 olmuştur. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak çırcır randımanı bakımında çok önemli bulunurken, meyve dalı çırcır randımanı ve odun dalı çırcır randımanı bakımından önemli bulunmuştur.

Meyve dalı yüz tohum ağırlığı 8.97 g ve odun dalı yüz tohum ağırlığı 8.88 g olmuştur. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak meyve dalı yüz tohum ağırlığı ve odun dalı yüz tohum ağırlığı bakımından çok önemli bulunmuştur.

Bitki ortalama koza kütlü pamuk ağırlığı 4.90 g, meyve dalı ortalama koza kütlü pamuk ağırlığı 5.12 g ve odun dalı ortalama koza kütlü pamuk ağırlığı ise 3.85 olarak bulunmuştur. Odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığının düşüklüğü, odun dalındaki koza ağırlığının düşüklüğünden de kaynaklanmaktadır. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitki koza kütlü pamuk ağırlığı ve meyve dalı koza kütlü pamuk ağırlığı bakımından çok önemli, odun dalı koza kütlü pamuk ağırlığı bakımından önemsiz bulunmuştur.

Ortalama kütlü pamuk verimi (419.44 kg da<sup>-1</sup>)'ne meyve dalı kütlü pamuk veriminin (384.37 kg da<sup>-1</sup>) katkısı % 91.64 olurken, odun dalı kütlü pamuk veriminin (35.07 kg da<sup>-1</sup>) katkısı % 8.36 olarak gerçekleşmiştir. Odun dalı kütlü pamuk veriminin düşüklüğü, odun dalındaki koza ağırlığının, odun dalındaki çenet sayısının düşüklüğünden de kaynaklanmaktadır. Genotipler arasındaki fark istatistiki olarak bitki kütlü pamuk verimi, meyve dalı kütlü pamuk verimi ve odun dalı kütlü pamuk verimi bakımından çok önemli bulunmuştur. Yapılan korelasyon analizinde, kütlü pamuk veriminin, meyve dalı sayısı, meyve dalı koza sayısı, bitki koza sayısı, odun dalı koza ağırlığı, meyve dalı kütlü pamuk verimi, odun dalı kütlü pamuk verimi ve odun dalı kütlü pamuk ağırlığı ile anlamlı pozitif korelasyonlara sahip olduğu bulunmuştur.

Yürütülen bu araştırma tek yıllık bir çalışma olup, denemeden daha güvenilir sonuç alabilmek ve sağlıklı öneride bulunabilmek için benzer çalışmaların tekrarlanmasında (en az 2 yıllık olacak şekilde), fayda vardır. Özellikle birbirine yakın teknolojik değerler veren pamuk çeşitlerinin fazlaca olduğu bir ortamda, ıslah çalışmalarında kütlü pamuk verimi ile çırçır randımanı ve koza kütlü pamuk ağırlığı gibi verim unsurlarına olumlu etkide bulunabilecek pamuk bitkisinin her bir organı ve bunlara ait değerleri üzerinde kıyaslamaların yapılması elzemdir.

Yapılan tek yıllık araştırma sonucuna göre odun dalına ait kütlü pamuk verimi ile diğer bazı özelliklerin, toplamda bitkiye ait değerlerle kıyaslandığında kayda değer bir etkisi olmamış, odun dalı sayısı en yüksek olan Hat KMA, ST 468, BA 119 ve DP 396 genotiplerinin bitki boyu, kütlü pamuk verimi ve koza kütlü pamuk ağırlığı değerleri yüksek, koza tohum sayısı ve çırçır randımanı değerleri düşük bulunmuştur. Ancak özellikle odun dalı yüksek olan bu genotiplerin çırçır randımanın düşüklüğü yanında ortalama kütlü pamuk verimi değerlerinde de meyve dalının katkısı % 91.64 olmuştur, dolayısıyla verimle ilgili ıslah çalışmalarında makineli hasada uygunluk da göz önüne alınarak odun dalından ziyade, meyve dalında artış sağlayacak çalışmaların yapılabileceği teyit edilmiştir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma KSÜ'ne ait BAP Koordinasyon Birimi'nce desteklenmiştir (Proje no: 2018/7-17 YLS).

## V. KAYNAKLAR

- [1] A. S. Sankar, "Trends in Cotton Crop in Three Regions of Andhra Pradesh and All-India," *PARIPEX-Indian Journal of Research*, vol. 2, no. 2, pp.64-65. 2007.
- [2] A. R. Kaya ve T. Eryiğit, "Pamuk Yetiştiriciliği" ve "Hasat Teknolojileri", *Pamuk Tarımı*. Ankara, Türkiye, Tarım Gündem Dergisi Yayınları, 2018, böl. 2 ve 8, ss. 16-35 ve 106-110.
- [3] H. Y. Güneş, "Harran ovası koşullarında standart ve ümitvar pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşitlerinde odun ve meyve dallarında oluşan kozaların koza ve lif teknolojik özellikleri yönünden karşılaştırılması," Yüksek lisans tezi, Tarla Bitkileri, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, 1996.
- [4] İ. Başer., *Elyaf Bilgisi*. İstanbul, Türkiye: Marmara Üniversitesi Yayınları, 2002, Yayın No: 687. ISBN: 975-400-075-1.
- [5] FAOSTAT. (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2024). *FAO İstatistiki Verileri (Kütlü ve Lif Pamuk Dünya Pamuk Ekiliş, Üretim ve Verim Değerleri)* [Online]. Erişim: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [6] TÜİK. (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2024). *Türkiye İstatistik Kurumu Bitkisel Üretim İstatistikleri (Kütlü ve Lif Pamuk Türkiye ve Kahramanmaraş Pamuk Ekiliş. Üretim ve Verim Değerleri)* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>.
- [7] Anonim(a), (2022, 11 Eylül). ST 468 Pamuk Çeşidi Özellikleri [Çevrimiçi]. Erişim:

<https://www.may.com.tr/tr/ProductViews/ProductDetail/d2cee2d2-9e46-4ff5-b1ce-145f0a2a3321>.

[8] Anonim(b), (2022, 11 Eylül). *BA 119 Pamuk Çeşidi Özellikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: [http://www.progenseed.com/24\\_Pamuk-Tohumu-BA-119.html](http://www.progenseed.com/24_Pamuk-Tohumu-BA-119.html).

[9] Anonim(c), (2022, 11 Eylül). *DP 396 Pamuk Çeşidi Özellikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://settohum.com/pamuk/dp-396>.

[10] Anonim(d), (2022, 11 Eylül). *Candia Pamuk Çeşidi Özellikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.agro.basf.com.tr/tr/%C3%9Cr%C3%BCnler/%C3%9Cr%C3%BCn-Bilgileri/Tohum/Candia.html#section-benefits>.

[11] Anonim(e), (2022, 11 Eylül). *Claudia Pamuk Çeşidi Özellikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: [https://www.agro.basf.com.tr/Documents/migrated\\_files/product\\_files\\_files/brochures\\_files/claudia\\_brosur\\_2020.pdf](https://www.agro.basf.com.tr/Documents/migrated_files/product_files_files/brochures_files/claudia_brosur_2020.pdf).

[12] Anonim(f), (2022, 11 Eylül). *DP 332 Pamuk Çeşidi Özellikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://settohum.com/pamuk/dp-332>.

[13] A. R. Kaya, T. Eryiğit ve B. Arslan, “Kahramanmaraş koşullarında bazı pamuk (*Gossypium hirsutum* L. ve *Gossypium barbadense* L.) çeşitlerinin türler arası melezlemelerle elde edilen hatların (*G. hirsutum* L. x *G. barbadense* L.) verim, verim unsurlarının belirlenmesi,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 97-105, 2011.

[14] A. R. Kaya, T. Eryiğit ve B. Arslan, “Kahramanmaraş koşullarında bazı pamuk (*Gossypium hirsutum* L. ve *Gossypium barbadense* L.) çeşitlerinin ve türler arası melezlemelerle elde edilen hatların (*G. hirsutum* L. X *G. barbadense* L.) lif teknolojik özelliklerinin belirlenmesi,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 3, s. 3, ss. 65-72, ISSN: 2146-0574, 2013.

[15] Anonim(g), (Erişim Tarihi: 11 Eylül 2022). *Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü Pamuk (*Gossypium* L.) Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Duyuru%20Belgeleri/PAMUK%20TEKN%C4%B0K%20TAL%C4%B0MATI%202018.pdf>.

[16] H. Kakaç, “Şanlıurfa-Suruç Ovası koşullarında farklı pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) genotiplerinin verim ve lif kalite özelliklerinin belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Tarla Bitkileri, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, 2018.

[17] İ. Bozdoğan, L. Efe ve S. Mustafayev, “Doğal krem Renkli Pamuk (*G. hirsutum* L.) hattı ile bölge standart çeşitleri Maraş-92 ve Sayar-314’ün (*G. hirsutum* L.) bazı agronomik ve teknolojik özellikleri bakımından değerlendirilmesi,” *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 12 s. 1, ss. 53-61, 2009.

[18] Z. Yıldız ve H. Haliloğlu, “Pamukta çeşit tercihinde dekara gelir yaklaşımı,” *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, ss. 261-270, 2017.

[19] S. Rauf, T. M. Khan, H. A. Sadaqat and A. I. Khan, “Correlation and path coefficient analysis of yield components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.),” *Int. J. Agric. Biol.*, vol. 6, no. 4, pp. 686-688, 2004.

[20] E. Karademir, Ç. Karademir, R. Ekinci ve U. Sevilmiş, “İleri generasyonlardaki pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) hatlarında verim ve lif kalite özelliklerinin belirlenmesi,” *Türkiye Tarımsal Araştırma Dergisi*, c. 2, ss. 100-107, 2015.

[21] Ç. Karademir, E. Karademir ve U. Sevilmiş, “Bazı pamuk (*Gossypium hirsutum* L.)

genotiplerinin verim ve lif teknolojik özellikler bakımından değerlendirilmesi,” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 27, s. 2, ss. 183-191, 2017.

[22] R. Güreli ve M. Mert, “Bazı pamuk genotiplerinin. Diyarbakır koşullarında. erkencilik, verimlilik ve lif teknolojik özellikleri yönünden değerlendirilmesi,” *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 1-11, 2016.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## A Comprehensive Survey On Machine Learning-Based Intrusion Detection System for Vehicular Area Network Architectures

 Deniz BALTA<sup>a\*</sup>,  Ünal ÇAVUŞOĞLU<sup>a\*</sup>,  Musa BALTA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Yazılım Mühendisliği, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Bilgisayar Mühendisliği, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ddural@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1372131

### ABSTRACT

Today, the development of communication technologies causes changes in many different areas. One of these areas is VANET (Vehicular Area Network) application area. With the increase in usage areas in the VANET field, ensuring VANET network security has become more critical. Many different systems have been developed to detect attacks on VANET networks. Machine learning-based systems are one of the most widely used methods in developing these intrusion detection systems (IDS). In this article, research on machine learning-based VANET IDS, which has been done recently in the literature, has been carried out. First, VANET architecture and security requirements are presented, then a comprehensive literature summary is given, and comparisons are made on different parameters. As a result, it has been determined that many different machine learning models are used in IDSs and perform high-performance detection. In addition to the machine learning algorithm used in the performance of IDSs, it has been shown that many different parameters play a critical role in the performance. The paper aims to guide new studies in this field with the gains that will increase the performance of intrusion detection systems because of the literature comparison (considering criteria such as machine learning model, simulation tools, dataset, machine learning algorithm, and performance criteria).

**Keywords:** IDS, Machine learning, Security, Vehicular networks

## Araçsal Ağ Mimarisi İçin Makine Öğrenmesi Tabanlı Saldırı Tespit Sistemi Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma

### Öz

Günümüzde iletişim teknolojilerinin gelişmesi birçok farklı alanda değişimlere neden olmaktadır. Bu alanlardan biri de VANET (Araç Alan Ağı) uygulama alanıdır. VANET alanında kullanım alanlarının artmasıyla birlikte VANET ağ güvenliğinin sağlanması daha kritik hale gelmiştir. VANET ağlarına yapılan saldırıları tespit etmek için birçok farklı sistem geliştirilmiştir. Makine öğrenimi tabanlı sistemler, bu saldırı tespit sistemlerinin (STS-Intrusion Detection Systems IDS) geliştirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu makalede literatürde son dönemde yapılan makine öğrenmesi tabanlı VANET IDS üzerine araştırmalar yapılmıştır. Öncelikle VANET mimarisi ve güvenlik gereksinimleri sunulmuş, ardından kapsamlı bir literatür özeti verilmiş ve farklı parametreler üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, saldırı tespit sistemlerinde birçok farklı makine öğrenmesi modelinin kullanıldığı ve yüksek performanslı tespit gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. STS'nin performansında kullanılan makine öğrenmesi algoritmasının yanı sıra birçok farklı parametrenin de performansta kritik rol oynadığı gösterilmiştir. Makale, literatür karşılaştırması (makine öğrenme modeli, simülasyon araçları,

veri seti, makine öğrenme algoritması ve performans kriterleri gibi kriterler dikkate alınarak) sayesinde saldırı tespit sistemlerinin performansını artıracak kazanımlarla bu alanda yapılacak yeni çalışmalara rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

*Anahtar Kelimeler: Saldırı tespit sistemleri, Makine öğrenmesi, Güvenlik, Araçsal ağlar*

## **I. INTRODUCTION**

According to the statistics in The Global status report about road safety published by the World Health Organization (WHO) in 2018, it is emphasized that the number of people who lost their lives in traffic accidents worldwide reached 1.35 million every year [1]. Although serious measures have been taken to reduce this death rate in many countries by imposing strict traffic rules or establishing road-wide monitoring systems, the expected decrease has not been achieved. Due to the serious increase in important issues such as traffic accidents, fuel consumption, road congestion, and environmental pollution, many researchers have suggested studies on Vehicular ad hoc network (VANET) architectures to find solutions to these problems in recent years [2-7]. In this network paradigm, in which vehicles are modeled as mobile nodes by communicating with each other or roadside units, studies are carried out in the field of traffic efficiency, traffic safety, and infotainment.

VANET systems can include vehicles, drivers, pedestrians, and peripherals such as remote servers and roadside units (RSU). Each item has many hardware or software units such as OBUs, computing units, microprocessors, wireless adapters, data storage HMI, sensors, actuators, bus systems and other network components. According to architectural models, the integration is determined, and the communication is provided with data exchange between VANET nodes [8, 9, 10]. If a critical situation occurs, it is important to deliver a high level of communication with a low error rate. As noted above, VANETs can have numerous hardware and software-integrated snap-ins. The integrated structures of these components may cause security vulnerabilities in communication infrastructures between vehicles, between vehicles and infrastructure, or between infrastructure and cloud systems. These security vulnerabilities encountered on VANET architectures in academic studies generally include scalability, limited resources, dynamic topology changes, transmission quality, device discovery, and bandwidth optimization [8-14]. In the last few years, it has become one of the most studied subjects of intelligent transportation systems, as security deficiencies can cause fatal consequences in VANET systems, especially regarding traffic safety.

In VANET architectures, a malicious message intervening during the communication between the nodes may interrupt the whole system and cause the services to stop. As a result of a cyber-attack, a roadside unit may not be able to serve the vehicles in the field and the center [11, 12]. In addition, the content of the messages in the control channel can be changed. Considering very different security scenarios such as these, the importance of intrusion detection systems is better understood to protect VANET systems against malicious activities and detect attacks in advance. Intrusion detection systems to be developed for these systems should be modeled using artificial intelligence algorithms, unlike rule-defined structures, to be effective against known or unknown cyber-attacks such as man-in-the-middle, denial of service, fraud, and information manipulation [10-14]. In this context, in this study, the types of attacks on different layers of VANET architectures (physical, transfer, application, etc.) and application areas (traffic security, traffic efficiency, infotainment) and the existing security solutions in the literature to prevent these attacks are examined in detail. Scientific contributions of the study are listed below:

- As a result of the examined academic studies, it has been seen that there are many survey studies on security issues on VANET architectures. However, in these studies, it has been determined that the artificial intelligence-based IDS models proposed for the security of VANET systems have not been analyzed in depth with the layered structures and application areas of today's VANET architectures. For this reason, in this study, the machine learning-based VANET IDS systems proposed in the literature, especially under variable traffic conditions and different cyber threats, are

extensively compared by considering the concepts of quality of service such as flexibility, scalability, and accuracy.

- In the study, machine learning-based VANET IDS systems that have been made recently in the literature were examined, and comparisons were made using many different parameters (machine learning model, simulation tools, dataset, machine learning algorithm, and performance criteria). As a result of these comparisons, inferences were made to increase the intrusion detection systems' performance. It is thought that the results obtained will lead to new studies in this field.

In the following parts of the study, after the introduction, in Chapter 2, basic information about the architectural structures and security requirements of VANET systems will be given. In Chapter 3, the methods, datasets and performance criteria used by machine learning-based VANET intrusion detection systems in the recent literature will be extensively analyzed and these studies will be compared. In Chapter 4, an evaluation of the results obtained will be presented.

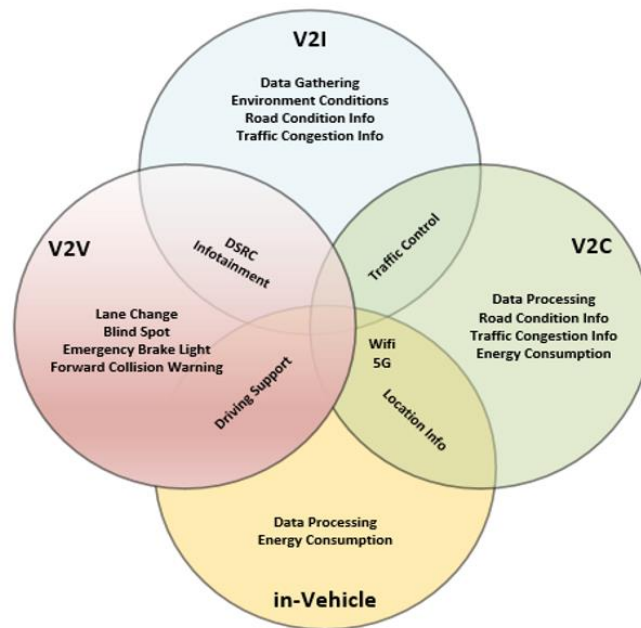
## **II. VANET ARCHITECTURE AND SECURITY REQUIREMENTS**

Recently, with the developments in the vehicle industry and wireless communication technologies, vehicle network systems, which are a subset of ad hoc mobile networks, have begun to be developed, in which vehicles communicate with each other, especially to implement traffic applications related to vehicles, passengers, pedestrians and drivers. To ensure the quality of service in the communication between vehicles and roadside units in urban traffic, vehicular networks that can adapt to rapid network topology changes, support multiple or single hop transmission, provide high data rates, and provide solutions to different traffic applications are preferred instead of MANET architecture. Vehicular networks can be examined under 3 main application titles within the scope of the objectives and targets determined by the international standards and directives of intelligent transportation systems [10, 5, 6]:

- ***Traffic safety applications:*** It deals with the applications that aim to reduce the rate of traffic accidents and accordingly, reduce the probability of injury and death. These are the most studied within the scope of inter-vehicle communication.

- ***Traffic efficiency applications:*** This class of applications focuses on improving the traffic coordination, traffic flow, and traffic assistance of vehicles based on local information, messages, and maps defined by time and place.

- ***Infotainment applications:*** These applications offer convenience and comfort to the driver and passengers. For this purpose, it has an application scope to support all message types that offer entertainment and useful messages. In general, the classification tree in Figure 1 has been prepared for relating these application areas in vehicular networks with smart transportation system applications in the literature and in practice.



*Figure 1. VANET architecture application areas*

Vehicular networks support two different communication systems, in-vehicle and out-of-vehicle. Today's vehicle structures have become complex distributed computer systems that provide various requests and functions through communication technologies. This complex structure has subsystems with different control and communication characteristics such as chassis, power transmission, safety, body, and comfort electronics. To meet the communication (in-vehicle) requirements of these subsystems, multiple bus systems such as CAN, LIN, FlexRay and MOST can be used in the vehicle. For non-vehicle communications in vehicular networks, communication-based on DSRC standards and 802.11p protocol is used, consisting of 7 channels, each of which provides a data rate of 6-27 Mbps, with a 75 MHz bandwidth in the 5.9 GHz band. 6 of these 7 channels are service channels. They are used for traffic efficiency and infotainment applications, while 1 channel is allocated as a control channel for traffic safety applications [2-6].

## **A. VEHICULAR NETWORK ARCHITECTURES**

While technological developments in sub-systems continue, communication between vehicles, roadside units, or cloud systems should also be provided within the scope of the application areas of instrumental networks mentioned above. WAVE, CALM and C2CNet peer-to-peer vehicle network architectures have been developed to implement these systems. Although these architectures have developed different protocol proposals, especially in the 3rd, 4th, 5th, 6th and 7th layers, according to the layered architecture to implement safety, infotainment applications, and traffic efficiency, they have agreed on the 802.11p protocol in the 5.9 GHz band in the 1st and 2nd layer. WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) architecture was initiated by the USA in 2004 as a project of intelligent transportation systems based on vehicular networks. The WAVE architecture, which consists of IEEE 1609 protocol cluster, consists of 802.11p, a different version of IEEE 802.11a, with OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) mechanism that can support different data rates, determined according to the coding rate and modulation type in its physical layer. CALM architecture is an ISO-recommended instrumental network architecture, derived from the COOPERS and SAFESPOT projects, which are European consortium smart transportation system implementations. The CALM architecture, which has a 3-layer structure as Application, Network, and Interface layer, uses DSRC standards in the 5.9 GHz band as in the WAVE architecture. The CALM architecture, which supports infrared communication for short-distance communications, also supports GSM and UTMS technologies in the interface layer for long-distance communications [2-4]. This architecture consists of 3 main components:



1. **CALM interface manager**; It displays and records the status of each communication interface, which helps in decision-making along with the channel quality.
2. **CALM network manager**; It manages transfers to alternative media.
3. **CALM application manager**; it manages application transmission requirements. It interacts with the communication interfaces to obtain information about available environments, sending commands to the network administrator to establish a connection.

The car-to-car consortium aims to create an open-source European industry standard and develop active traffic safety practices. In this context, the C2CNet architecture, created by the European vehicle industry, defined the C2CNet protocol as different from the IP protocol. This protocol is designed to support both security and non-security applications. This architectural structure, which uses location-based algorithms for routing, uses a 30 MHz bandwidth for security applications in the 5.9 GHz band. The network layer supports multi-hop communication based on geo-addressing and routing. We can list the general features of the C2CNet architecture.

1. Fast data communication in vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communications
2. Support for forwarding messages that include infotainment and security messages.
3. Support for IEEE 802.11p for short-range wireless LAN technologies, traditional wireless LAN technologies (IEEE 802.11a/b/g/n) and radio technologies for long-distance communication (UMTS and GPRS) Comparisons of these architectures proposed for vehicular networks based on application, communication, routing, and technology are given in Table 1.

*Table 1. Comparative table of VANET architectures*

Parameter/ Protocol Criteria	C2CNet	CALM	WAVE
Vendor	Car-car consortium	ISO	ABD
Feature	Multi-hop and geo-routing	Multi-transmission media support (802.11p, DSRC, W-LAN)	802.11p for emergency mess. on Mac layer
Scope	Traffic Safety	Traffic efficiency and Infotainment	All
Addressing method	Geo-routing	IP addressing	IP addressing
Routing	Mac Protocol+IPv6	Mobile IPv6	Different channels +IPv6
Hopping method	Single&Multi hopping	Single hopping	Single hopping
Communication mode	Unicast, broadcast, geo-unicast, geo-broadcast	Unicast, broadcast	Unicast
Simulator	Commercial	Commercial	Open source

## B. SECURITY REQUIREMENTS AND ATTACK TYPES IN VANETS

### B. 1. Security Requirements

VANET systems have certain security requirements for secure communication like other networks. These systems' security requirements are defined as authentication, confidentiality, availability, non-repudiation and integrity [8-14, 58].

**Authentication:** All messages from the source to the destination node must be authenticated during VANET communication. There are many ways to authenticate the message in VANET [57, 59]. Key management is one of these methods. With this method, tools will assign a private key to each message to ensure secure communication. After the message is received by the target vehicle, the accuracy of the key is checked. The most well-known way to provide security in this way is to use a digital signature. In this method, signing each message with Elliptic Curve Encryption (ECC) provides an efficient solution for vehicles and is especially preferred against Sybil attacks.

**Confidentiality:** During data transfer between RSU and RSU or between RSU and OBU, messages may include private information and contact information [9, 10]. This information may be the personal information of drivers such as his license, name, age or data such as the vehicle's travel path (route), speed. Temporary keys placed in the TPD (Tamper-Proof Device) can be used to resolve this issue by periodically changing them. Additionally, ELP (Electronic License Plate) can be used to hide the driver's identity.

**Availability;** The real-time VANET systems inherently vulnerable to Sybil and DoS attacks. Fast messaging during communication is not secure enough. So an attacker can shrink all the data. This availability issue in VANET can be resolved by increasing the message size in the source node or fragmentation of messages in the middle nodes. Also another solution for availability is using an efficient routing protocol (like AODV-Ad hoc on Demand Vector) [8, 9].

**Integrity:** With this method, it is checked whether the messages have changed during communication. Because altered or incorrect data can cause traffic jams or car accidents. For example, the coordinates of an accident on the highway can be changed by an attacker, whereupon other cars can change their speed and direction due to this. This can endanger drivers.

**Non-repudiation:** It will provide a control mechanism to reveal the attacker after an attack. With these applications, it is aimed at maintaining communication, collect evidence and providing usable space against VANET crimes. Though non-rejection, TPD saves id, speed, direction, etc. inside the vehicle.

**Real-time;** Real-time constraints in-vehicle systems are the most important thing. Because of the high mobility of the node, communication between nodes can be easily interrupted. For real-time target-to-source response, unfortunately, real-time sometimes put security on the back burner.

## **B.2. Well-Known Attack Types for VANET Networks**

VANET systems, like other networks, can face a variety of attacks. However, there are some differences of VANET according to other networks because of the types of attacks that are vary based on VANET's features such as limited bandwidth, dynamic topology changes and real-time restrictions. VANET is a subset of MANET, but their attack work is not the same but similar. The most well-known attacks on VANET systems are described below and in Figure 2 [12, 13, 14].

**Denial of Service Attacks:** This attack is the most common type of malicious attack. DoS attacks have two main purposes. The first purpose is to consume the bandwidth of the communication environment, and the second is to prevent the vehicles from accessing the network services. Two crucial and dangerous DoS attack types are Wormhole and Blackhole attacks in VANET.

**Wormhole attacks:** After a high-speed connection is established between two remote nodes, legitimate tools in the transmission area of the nodes (X and Y) use this connection to transmit their data. An attacker can drop data over the connection.

**Blackhole attacks:** In the communication medium, a malicious node presents itself as a central node and then drops packets.

**Sybil Attacks:** This type of attack aims to confuse other vehicles. Many aliases are created by the attackers. Due to these fake messages, vehicles must change their direction or speed and unwanted traffic situations may arise.

**Eavesdropping Attacks:** It is a type of attack used against privacy. For these attacks to be successful, the attacker must be near the RSU or in a vehicle, eavesdropping on the crash data and communications medium. To prevent this attack, message encryption can be preferred.

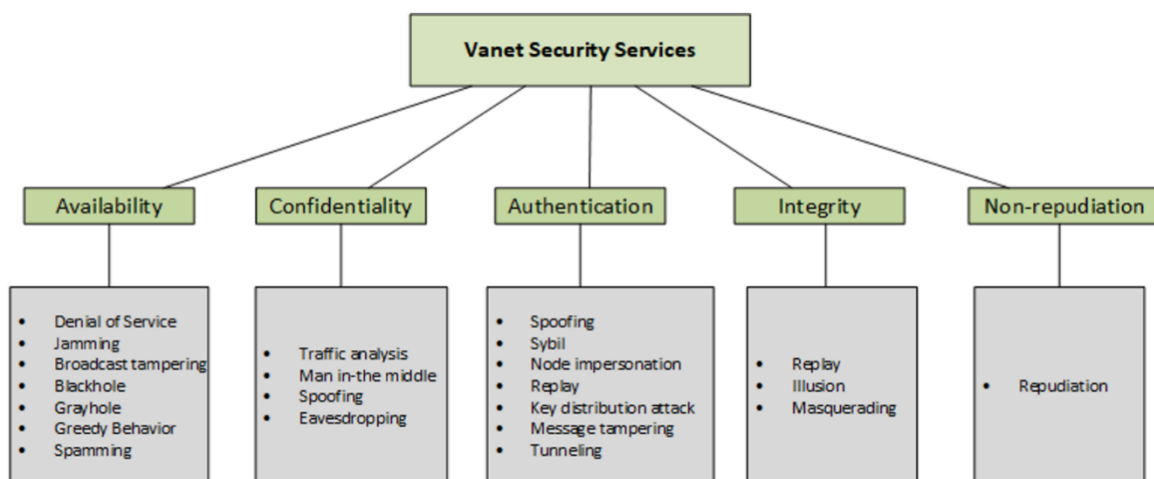
**Impersonation Attacks:** In these attacks, the attackers keep their vehicle identities secret and pretend to be another vehicle. Using IP and MAC spoofing, the attacker obtains the identity of the permissive users. When they get the ID, the attackers can send the wrong message such as changing the coordinates of the traffic accident. Such attacks can be prevented by using the certificate system.

**Alteration Attacks:** The communication between the vehicles or the vehicle RSU is listened to by the attackers, and they can change the data as he wishes when he finds the information available to them.

**Replay Attacks:** The attacker gets the initial transmission packets when connecting two vehicles. VANET architecture does not prevent such attacks. These attacks aim to consume bandwidth.

**Location Falsification:** The attacker modifies the coordinates of the traffic accident on the highway or in the city center. When an attacker sees a car accident, fake GPS (Global Positioning System) coordinates are broadcasted. And then, other vehicles change direction to the new fake coordinate and suddenly a traffic accident or jam can occur. These attacks against VANET systems can be performed by different attackers. Attacker profiles are defined as:

From outside and inside, Outside attackers are unauthenticated nodes in the vehicle system. Usually, they are located near the RSU. Then they constantly listen to the communication medium to obtain information. The inside attacker is the authenticated nodes in the tool system, acting like a free tool until the attack. Active and passive; Broadcast messages are sent by active attackers to harm other nodes. But passive attackers don't send messages regularly, on the contrary, they wait for the right time to attack. Malicious and rational; The rational attacker is careful during attacks and defines a specific victim. But malicious attackers do not have a specific target, they can randomly attack the communication medium or any node using DoS attacks.



*Figure 2. Classification of attacks in VANET architectures according to security requirements*

As a result of the examined studies; it has been realized that the subject of machine learning comes to the fore in the new generation security solutions, considering the variable traffic conditions and security criteria in VANET systems. For these reasons, in Section B.3, information about anomaly detection in VANET systems and machine learning algorithms used in IDS systems will be given.

### **B.3 Machine Learning Algorithms for VANET IDS**

Security is an important issue in VANET systems because many attack types compromise the communication of moving vehicles. When the literature studies are examined, many trusted approaches based on IDS (intrusion detection system) have been put forward to against VANETs attacks. But, when the vehicle numbers increase, the data collected by IDSs increases significantly, which causes the detection time to be very long. In addition, the diversity of the collected and analyzed data and the wide range of possible attacks directly increase the variety of machine learning algorithms to be used in IDSs. Therefore, many VANET IDSs in the literature using various machine learning algorithms are intended to improve the detection rate and decrease overheads such as detection time.

SVM algorithm-based anomaly detection, frequently used in the Vanet IDS studies examined, is preferred to separate malicious vehicles in clustered VANETs, detect intrusions and delay communication problems that may occur by detecting attacks. The systems were trained to determine which vehicles exhibited normal behavior on the data collected in the studies, so it was determined whether the vehicle was malicious when new data was shown. When the studies are examined, it has been observed that this supervised machine learning algorithm, which is used in regression and classification in systems with fewer datasets (therefore, less training data), classifies the presence of attacks and anomalies with high accuracy [54, 22, 24, 29, 36, 37]. However, increasing the collaborating vehicles numbers in the systems requires careful tuning of many parameters such as choosing the appropriate kernel in the SVM algorithm, regularization and hyperparameters to fit the dataset, and the expected performance may not be achieved by increasing the complexity. In such cases, it has been observed that methods such as Random Forest that are resistant to complex data, community-based and include more than one independent decision tree are preferred. In VANET IDS studies, in which Random Forest algorithm is used, it has been said that when the training data is large, it performs better than the SVM algorithm and the classification is more accurate [25, 31].

Due to the diversity of the data obtained in VANET IDS studies and the high data density on the network, the performance of the network decreases and it becomes difficult to detect abnormal situations. Therefore, in many studies, it has been seen that various machine learning algorithms are used together or cooperate with existing optimization techniques to detect abnormal situations in IDSs and improve performance in cases such as untrusted connections, and heterogeneous data. It is aimed at detecting malicious attacks of malicious nodes such as packet dropping, resource exhaustion, selective forwarding, and wormhole in IDS studies using the hybrid algorithm examined [17, 26, 27, 28, 34]. In these studies, in addition to the SVM classification algorithm, which is frequently used for anomaly detection, the Dolphin Swarm Optimization algorithm [17], which is used to optimize the detection and accuracy of IDSs, and the C5 Decision Tree Classifier [27] for well-known intrusion detection, to increase the performance of the classifier and to provide high quality It has been observed that optimization or machine learning algorithms such as the K-Means algorithm [28] are highly preferred to create a data set. When IDSs using hybrid algorithms are compared with studies using single algorithms that perform better among existing techniques, it has been seen that the integrated operation of multiple algorithms provides significantly better performance in terms of false positives, detection time, detection rate, etc. parameters during the detection of attacks. In addition, it has been numerically stated that the efficiency of the hybrid IDS models designed in the studies is higher than the IDSs using single algorithms.

In the VANET IDS studies examined, Deep Learning techniques were frequently used during anomaly detection. In these studies, DCNN (Deep convolutional neural network) algorithm was generally preferred. A type of multilayer perceptron, the DCNN algorithm includes a subsampling layer, one or more convolution layers, and one or more fully connected layers such as a standard multilayer neural network. Basically, CNN uses standard neural networks to solve the classification problem but uses other layers to identify information and detect some features [33, 23]. When the studies using DCNN deep learning algorithm in VANET IDS are compared with those using traditional machine learning algorithms such as ANN, LSTM, SVM, decision trees, kNN it has been observed that the obtained FNR

and ER parameters are better. In addition, it is known that the wireless and autonomy features of UAVs, which are autonomous vehicles controlled by people with remote controls, cause security vulnerabilities. In the studies on this subject, it has been seen that the DFFNN (deep feed forward neural network) algorithm, which is one of the deep learning models, is used to monitor and analyze the network traffic of UAVs and to detect intruders, giving successful results [60, 61]. Therefore, it has been emphasized in the studies that deep learning algorithms perform better in case of complex, irregular and random attacks on VANETs [33, 23].

The literature shows that the Fuzzy Logic method is combined with various machine learning algorithms to decide whether a sample collected from VANET IDSs represents an anomaly. In a study on intrusion detection in VANET networks [55], the ANFIS model, an intelligent Neuro-Fuzzy technique used to model and control poorly defined and uncertain systems, was used. Thus, it shows successful prediction performance with better accuracy and a lower error rate. Different integrators used in ANFIS models are generally preferred in predictive applications. Thus, the goal is to minimize estimation errors. The ANFIS model is based on input/output data pairs. ANFIS is generally chosen to resolve the problem of constant variability in mobile learning environments in VANET systems and to facilitate the creation of adaptive learning content. Therefore, the ANFIS model can be preferred for unauthorized access detection in VANET IDS. In another study, Fuzzy Logic and Genetic Algorithms were combined for anomaly detection in the network. In this study, Genetic Algorithm extracted information from network flow data to predict network traffic behavior in each time period. The information obtained is used to generate the Digital Signature of the Network Segment. Fuzzy logic scheme is preferred to evaluate whether the obtained samples are abnormal or not [15]. The results obtained from applying the suggested anomaly detection system in a real network traffic flow, achieving 96.53 % accuracy and 0.56 % false positive rate, are said to be more successful than the CNN and SVM algorithms tested in practice. Since the data in VANET systems change very quickly, it has been seen that unsupervised algorithms are used in many studies to reflect the state of these unstable data in real-time and to extract the characteristics of the traffic. For example, this study aims to increase efficiency by modifying the Ant Colony Optimization metaheuristic that optimizes the analysis of multidimensional flow attributes through self-organizing agents and allows timely completion to reduce the impact on large-scale networks [56]. In another study, the state of each vehicle in VANETs was modeled as an HMM (Hidden Markov Model) to filter messages rather than detect messages from vehicles quickly. A Baum-Welch algorithm is first used to generate an HMM for each neighbor tool and its parameters.

Multiple HMMs with their parameters are then used to predict the future states of neighboring vehicles. It is said that the proposed IDS with FM (filter model)- HMM has better performance than conventional methods according to detection rate, detection time and overhead parameters [35]. Rahal et al. [66] suggested a behavior-based multilayer architecture for detecting vehicle botnets in vehicular networks. The suggested architecture comprises two dual-layer modules, the first of which monitors vehicle actions at the network level and the second of which monitors vehicle activities inside the vehicle. Training procedures for these modules were carried out using decision tree techniques. The suggested model has a detection rate of more than 97 % and a false positive rate of less than 0.14 % in testing.

### **III. RELATED WORKS AND COMPARISON**

#### **A. LITERATURE SUMMARIES**

This section summarizes some of the recent studies in the literature on machine learning-based VANET architecture. A novel anomaly detection dependent NADS is proposed and tested in [15]. DSNSF generation using a Genetic Algorithm and anomaly identification using a Gaussian Membership function are the two steps of the method. An alert may be activated based on the combined score of the membership degrees, implying that a problem with network traffic can exist. With a high accuracy rate of 96.53 percent and a low false positive rate of 0.56 percent, the system outperforms rigid limits, outlier identification, CkNN, and SVM. In addition, the authors claim that compared to the ACODS solution,

the method produced a better overall result. It's also worth noting that, according to them, this approach is self-contained. Even when up to 40% of vehicles are rogue, the proposed IDS in [16] is still impressive, as its accuracy rate approaches 99.69 percent. The function of traffic flow is determined according to the traffic flow feature of vehicles in the proposed extraction algorithm. The algorithm intends to remove distinct features from vehicle communications in a limited time. It employs an I-GHSOM-based classifier and processes for relabeling and recalculating. In a VANET world, the Dolphin Swarm Optimized IDS is proposed to prevent malicious nodes from executing malevolent attacks like selective routing, packet dropping, resource exhaustion, wormhole, etc. Sharma et al.'s method [17] has an overall detection rate of about 99 percent with node densities ranging from 50 to 300 nodes, with an average false positive rate of 0.87 percent and an average detection time of 44 milliseconds. The system seems to do well regarding efficiency assessment metrics for node densities ranging from 50 to 300 nodes.

A series of specification rules based on the Packet Forwarding Rate (PFR), Packet Drop Rate (PDR), Duplicate Packet Rate and Receive Signal Strength Indicator (RSSI) are used in the proposed IDS system (DPR) in [18]. A CH election algorithm and an IDS Framework based on game theory have also been introduced. The proposed clustering algorithm ensures the IDS framework's stability by creating stable vehicular clusters with improved communications among member vehicles. By studying the efficiency of numerous other classifiers, including the Decision Tree, we hope to boost the DR and reduce the FAR rate. In modern applications like self-driving cars, intelligent intrusion detection systems have become an important security technology. Grey hole and rushing attacks attempt to lose any or all incoming texts, which may significantly affect the lives of passengers, drivers, and cars. Alheeti et al. [19] suggest an adaptive protection scheme for self-driving vehicles' exterior communication and prevention of grey-hole threats. The system is based on two scenarios created and simulated in NS2 to define normal and abnormal vehicle activity. Based on machine learning approaches a modern method for misbehavior identification is suggested. The model involves four phases: collection, share and review of data in order to extract the representative characteristics and decision making in [20]. The authors' forthcoming articles will discuss the findings and descriptions of the proposed definition. Yu et al. [21] suggest the development of an open-source Floodlight controller in SDN based on a DDoS attack detection device platform. Suggest a packet-in detection mechanism to substantially minimize the response time to the attack. By experimentation, the author examines the feasibility of the scheme. We are using an algorithm for classifying the samples and developing a detector model to decide whether there is a network attack. Yao et al. [22] discuss using an RSSI-based process to discuss Sybil attacks with power control in VANETs. In PCISAD, a multiplex detection system that combines DTW and CPD and uses periodical detections is developed. Furthermore, an SVM classification system separates Sybil nodes from regular ones.

Shu et al. [23] share intrusion detection method (CIDS) for VANETs is proposed. CIDS allows distributed SDN controllers to learn an effective intrusion detection model collaboratively. The correctness of CIDS in both IID and non-IID cases is shown using robust proofs. Its correctness in both IID and non-IID conditions is illustrated using theoretical research and experimental assessment on a real-world dataset. Deep learning combines generative adversarial networks to provide an effective intrusion prevention approach that can reduce device computing and connectivity load. The issue of detecting malicious vehicles in clustered VANETs was emphasized in the [24]. Cluster participants are assigned to CEAP to collect and monitor evidence about the actions of Multipoint relay (MPR) nodes. And then, using the SVM learning strategy, MPRs are identified as cooperative or malicious. The Gaussian Radial Basis Function kernel marginally outperforms the other functions regarding consistency, false positive rates and attack detection. A massive sharing scheme [25] is proposed to enhance mutual information while reducing collaboration overhead. As compared to the current CIDS model, the general performance according to F1 score was 97 percent with a 4% false positive rate. According to the scientists, MA-CIDS outperforms all other current VANET models. According to the researchers, the collective IDS paradigm would be explored using controlled and unsupervised machine learning techniques.

Ghaleb et al. introduces a community hybrid context-sensitive misbehavior recognition model [26]. EHCA-MDS adheres to the principles of crowd intelligence and the strength of plurality. These classifiers collaborate to detect various forms of misbehaving cars. According to the researchers, the model has shown robustness and adaptability even in heterogeneous noise conditions and unreliable connectivity. The efficiency of the proposed model is 10% better than the hybrid model and 37% higher than the data-centric model. In [27], the C5 classifiers generate an intruder signature, which can generate a law pattern more quickly and detect intrusions with fewer signatures. It is also shown that our Hybrid IDS outperforms current techniques. As compared to single algorithms, integrating multiple algorithms yielded significantly better performance. Compared to other machine learning techniques, an ensemble of the C5 classifier (signature) and one-class SVM (anomaly) will result in a higher detection rate. The aim of [28] is to create a model that can cope with real-world intrusion detection problems in data processing. It suggests a multi-level hybrid intrusion detection model that uses support vector machines and extreme learning machines. The proposed model is highly effective at detecting threats, and its accuracy (95.75 percent) is the highest. Network attacks are more likely in a VANET system with ad hoc routing and highly complex topology. It is discovered by allowing each vehicle to track its next hop in the packet routing path for three crucial parameters. A basic TVT ensures that legitimate vehicles are rewarded with higher trust values, while in this study, misbehaving nodes that disrupt packet transmission are penalized [29].

Because of the complex nature of their clients and the amount of information exchanged between them and their respective networks, VANETs are especially difficult to secure. As a potential alternative, a spline-based intrusion detection method has been pioneered [30]. This knot flow classification approach (KFC) facilitates efficient intrusion detection by integrating clustering with spline-based general linear model classification. The proposed framework [31] uses Spark to accelerate data collection and HDFS to store large amounts of suspected attacks. The Random Forest classification algorithm is used in the traffic detection module. The suggested detection algorithm achieved an accuracy rate of 99.95 % and 98.75 %, respectively, with a false warning rate of 0.05% and 1.08%. Idhammed et al. [32] present an online sequential semi-monitored DDoS identification method, based on network estimates, co-clusters, data gain ratios, and extra-trees. Several trials were conducted to test the alternative solution using three public datasets. NSL-KDD, UNB ISCX 12, and UNSW-NB15 achieve accuracy of 98.23 percent, 99.88 percent, and 93.71 percent, respectively.

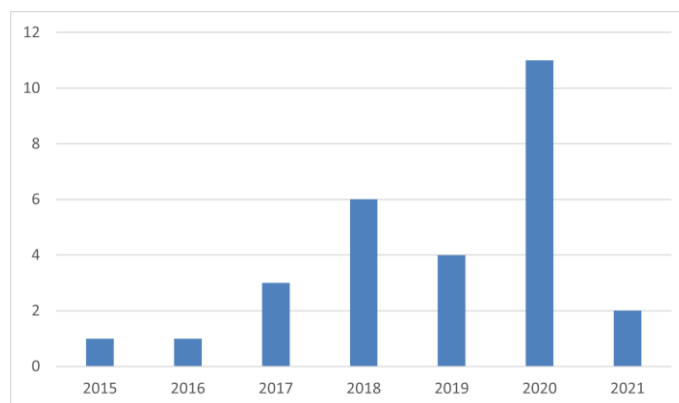
The focus of [33] is to develop an intrusion detection model that learns sequential network traffic patterns in vehicles and detects message injection attacks. The proposed IDS was developed using the Inception-ResNet structure initially intended for large-scale imaging. It demonstrated that the intruder detection of attacks by the DCNN-based IDS is accurate and effective, including DoS, RPM spoofing, gear spoofing and regular traffic fuzzy attacks. The proposed DCNN model showed a large increase in efficiency relative to other algorithms for the fuzzy attack dataset. Adhikary et al. [34] propose a hybrid algorithm for detecting DDoS attacks in Vanet based on the AnovaDot and RBFDot SVM kernel methods. Features such as colliding, packet drop, jitter etc. have been used for simulating the network connectivity situation in real-time in this hybrid algorithm. The test results show that the model built on this algorithm is greater than the SVM kernel-based models. The proposed FM-HMM [35] is efficient for almost all types of IDSs, implying that it can boost general IDS efficiency. According to simulations, network message latency can be reduced by reducing message size and improving processing speed. And though up to 40 % of cars are rogue, the efficiency of the proposed IDS is still amazing. In the VANET environment, Shams et al. [36] use a poly nucleic kernel of degree 2 to train SVM IDM for packet falling and delaying DoS attack detection. With high PR and RC, the device will classify the presence or absence of DoS attackers with an accuracy of 99 percent. The monitoring module has a low FAR to discourage false alerts from affecting network availability. The hybrid IDS model of Alsarhan et al. [37] is specifically concerned with avoiding cyber-security attacks in VANET. Integrating several pieces of data, a Dempster-Shafer hypothesis is used to quantify the probability of attacks. Based on the simulation findings, we infer that the optimal strategy is obtained in IDS by combining various evidence and understanding. The proposal is based on the convergence of three approaches: rule-based filtering, event-specific trust, and prior information. Kerrache et al. [38] present a process design for effective trust establishment in VANETs. We concentrate on how nodes should stop sending legal messages over

untrusted or unreliable connections. We implemented the concept of companions, which incorporates the concepts of relationship stability and neighbor confidence value. Also, in dynamic situations such as DoS or DDoS attacks, the scheme will ensure a high identification ratio of dishonest nodes in the network. In [37], a support vector machine (SVM) is used to detect intrusions in a VANET. Smart vehicles are a promising technology for intelligent transportation systems (ITS) in smart cities. However, the free wireless medium makes smart vehicle connectivity more vulnerable to cyber-security threats. Regarding classification precision, the paper compared the efficiency of three ML algorithms on the SVM. Compared to other algorithms, it was discovered that the GA algorithm outperformed its counterparts in classification accuracy.

A Private-Collaborative and secure Intrusion Detection System (SP-CIDS) is proposed for detecting network attacks and mitigating security problems [40]. The framework is used for the Alternating Direction Method of Multipliers with the Distributed Machine Learning (DML) algorithm. V2V coordination during the learning process may increase the IDS's scalability and accuracy. But major data privacy issues could emerge due to such a partnership. The simulation results show that a private ensemble classifier secures the training data with DP and obtains 96.94 % accuracy. Nadarajan et al. [41] suggest a messy routing scheme based on QoS-aware for VANET end-to-end communication. With the newly boosted LSTM algorithm, the proposed SCARP routing system is extremely predictable. Apart from in the presence of a higher degree of attack, the efficiency of the proposed algorithm is stable and strong. This paper provides new perspectives on the way to incorporate the messy transmission. It underlines the implementation of various hazard models for validation. Diaz et al. [42] offer prediction models as the foundation for future study. These models endorse intrusion detection mechanisms dependent on abnormalities. One benefit of the paradigm is that neural networks are a means of learning. ANFIS handles more difficult parameters resulting by the reduction of variables by the APC. This shows that our protection index suddenly varies with usual network activity and its consequences when a vehicle is attacked.

## B. THE COMPARISON OF RECENT STUDIES IN THE LITERATURE

Recent studies are compared on certain criteria. In the comparison, the publication year, attack types, machine learning model used, simulation tool, feature extraction, the machine learning algorithm used by the system, the dataset used in the study, and the performance criteria obtained are DR, FPR, Precision, Recall, and F-Measure values are given. Although there are many studies on this subject in the literature, studies belonging to the last years were selected while making the selection. Figure 3 shows the distribution of the publications examined in the article by year.

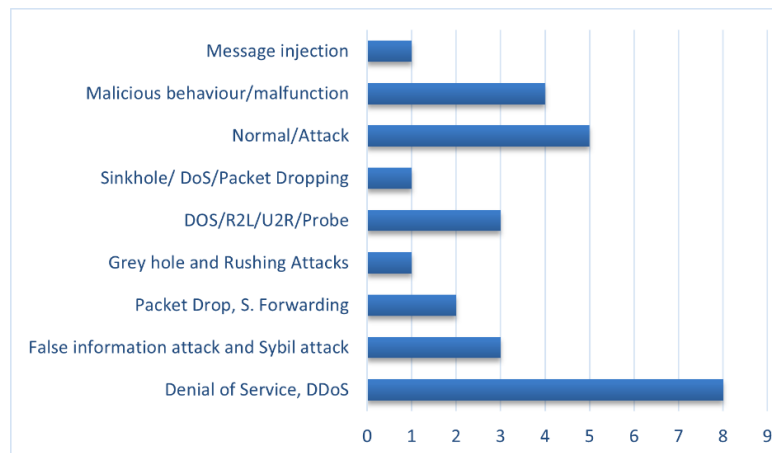


*Figure 3. The distribution of publications by year in the studies*

When the studies in the literature are examined, many different attacks have been carried out on VANET networks. These attack types threaten different security services. Explanations about these attack types are given in Section 2.2.2. Figure 4 shows the numerical distribution of attack types in the articles

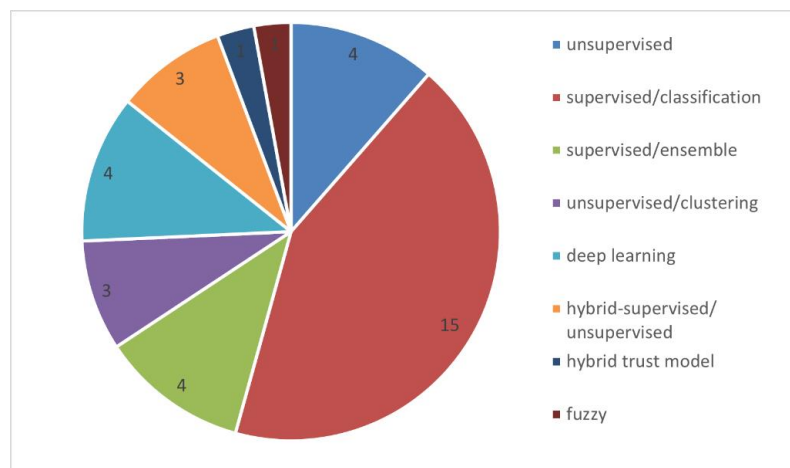


reviewed. According to this graph, it is seen that more studies are done on DOS and DDoS attacks than other attack types. After DoS and DDoS attacks, it is seen that most studies on normal and attack, that is, binary classification, are carried out. Notably, the number of studies on some attack types is quite low compared to others.



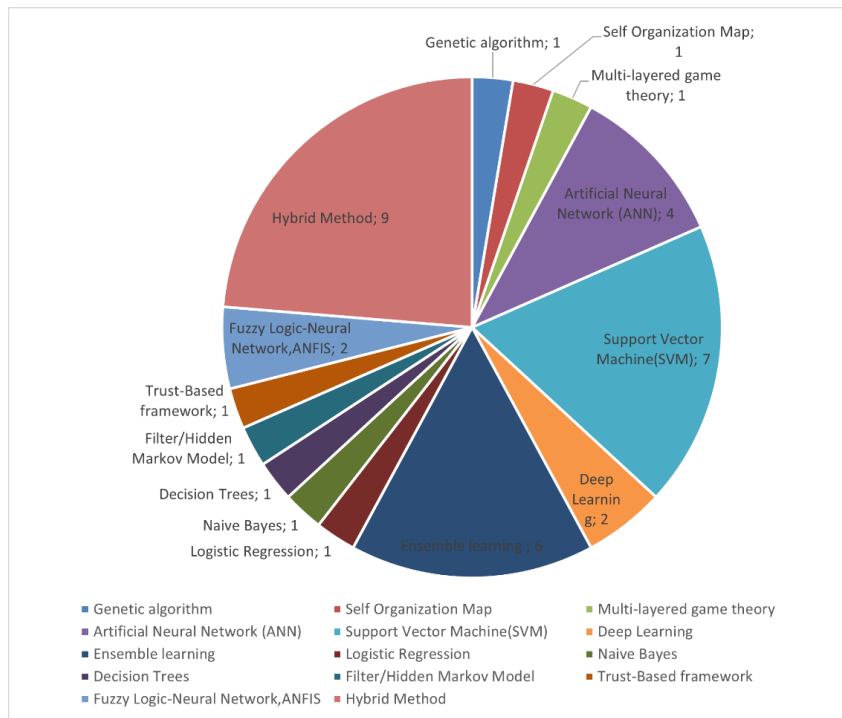
**Figure 4.** The distribution of attack types used in the studies.

There are different learning models used in Machine Learning studies. At the beginning of these models are supervised and unsupervised approaches. In these approaches, many different algorithms are used [43]. The machine learning based VANET IDS studies in the literature mostly use the supervised approach. Figure 5 shows the distribution of the articles examined according to the machine learning model. When Figure 5 is examined, it has been determined that the studies conducted using the supervised/classification technique are considerably higher than the others.



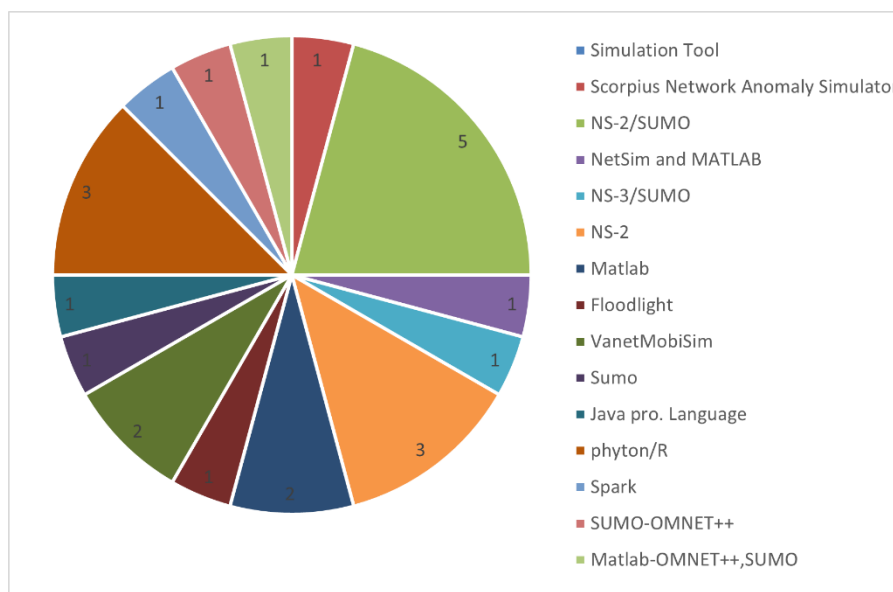
**Figure 5.** The distribution of the learning model used in studies

Many machine learning algorithms have been developed using different approaches in the literature so far. In Section 2.3, an evaluation of machine learning algorithms, which are frequently used in VANET networks, is presented. Figure 6 shows the distribution of machine learning algorithms used in the articles examined in the study. According to the distribution results, it was determined that hybrid methods were preferred more than other methods, ensemble techniques were widely used in these studies, and the SVM algorithm was also used more than other methods. However, it has been used in many articles that used machine learning algorithms.



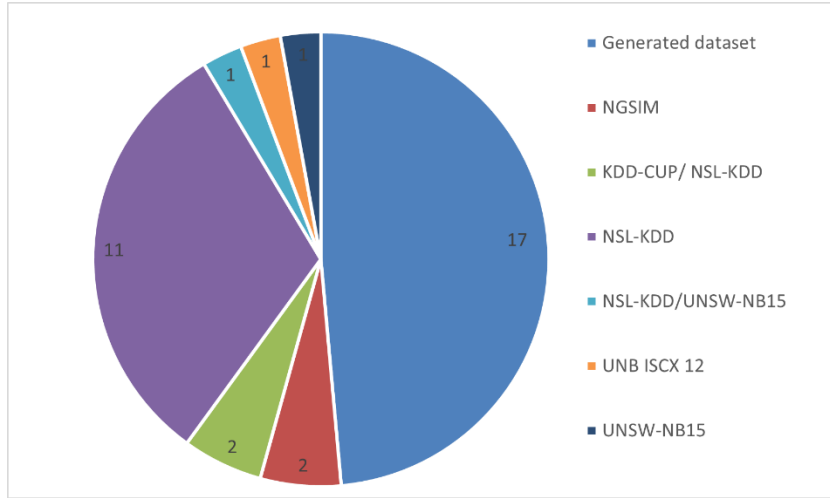
**Figure 6.** Distribution of studies in the literature according to machine learning algorithms

There are many different simulation tools used in VANET network simulations. Operations are carried out by using these simulation tools individually or together in studies. Among these simulation tools, NS-2 [44], NS-3 [45], SUMO [46], VanetMobiSim [47] are among the most commonly used simulators in the literature. Figure 7 shows the distribution of simulation tools used in the studies. It is seen that the NS-2/SUMO simulation tools are mostly used together in the studies and are the most preferred simulation tools among the studies examined, and the NS-2 simulator is also the most preferred simulator as a singular one in the studies. Personal simulation applications written in Python/R programming language are also common, and different simulators, which are widely used in the literature, have been preferred in other studies.



**Figure 7.** The distribution of simulation tools used in studies.

Generally produced data sets are used to test the performance of VANET IDS systems, but in some of the studies, ready data sets are used. Among these datasets, KDD-CUP99 [48], NSL-KDD [49], UNSW-NB15 [50], NGSIM [51] datasets are preferred in studies. Figure 8 shows the dataset distribution used for the training and testing of the preferred system in the studies. It is seen that the authors mostly create datasets by obtaining traffic through their own test environments. Datasets produced in almost half of the studies examined were used. However, NSL-KDD data set is widely preferred in studies. It has been determined that different and newer data sets in the literature are used in the studies.



**Figure 8.** The distribution of datasets used in studies

There are many different parameters used in the performance of intrusion detection systems. Among these parameters, Accuracy (ACC) and False Positive Rate (FPR) values are critical for the performance of the system, and many studies have been evaluated using these two criteria [52, 53]. The complexity matrix is given in Table 2. The equations used to calculate the Accuracy, True Positive Rate, and false positive rate values are shown in Equations 1,2 and 3, respectively.

**Table 2.** The Confusion Matrix

2*	True Class	
	Positive	Negative
2*Predicted Class	TP	FP
	FN	TN

$$ACC = \frac{TP+TN}{P+N} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

$$TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP+FN} = 1 - FNR \quad (2)$$

$$FPR = \frac{FP}{N} = \frac{FP}{FP+TN} = 1 - TNR \quad (3)$$

Figure 9. compares ACC rates obtained in the studies reviewed. According to the accuracy results obtained in the studies, it was determined that Random Forest, SOM, FFFN, SVM, and ANN algorithms were used in the studies where the highest ACC value was obtained, studies were carried out with NS2-SUMO simulation tools, and studies were mostly carried out on generated datasets with the Unsupervised / Classification model. When we look at the lowest results obtained, it was determined that SVM, RF and Bayes classifier were used, more ready-made datasets (NSL-KDD and UNSW-NB15)

were preferred, and the supervised/classification model was chosen. As a result, it can be concluded that the established model and the preferred dataset and simulator influence the performance, since the same machine learning algorithms are also included in the highest and lowest results.

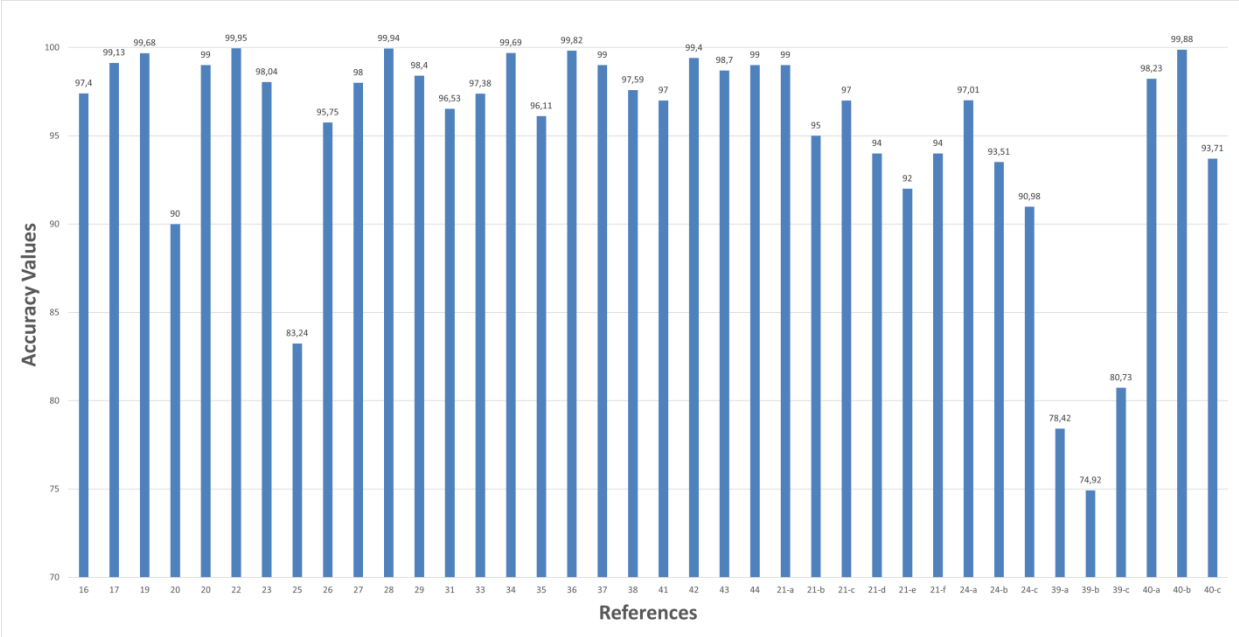
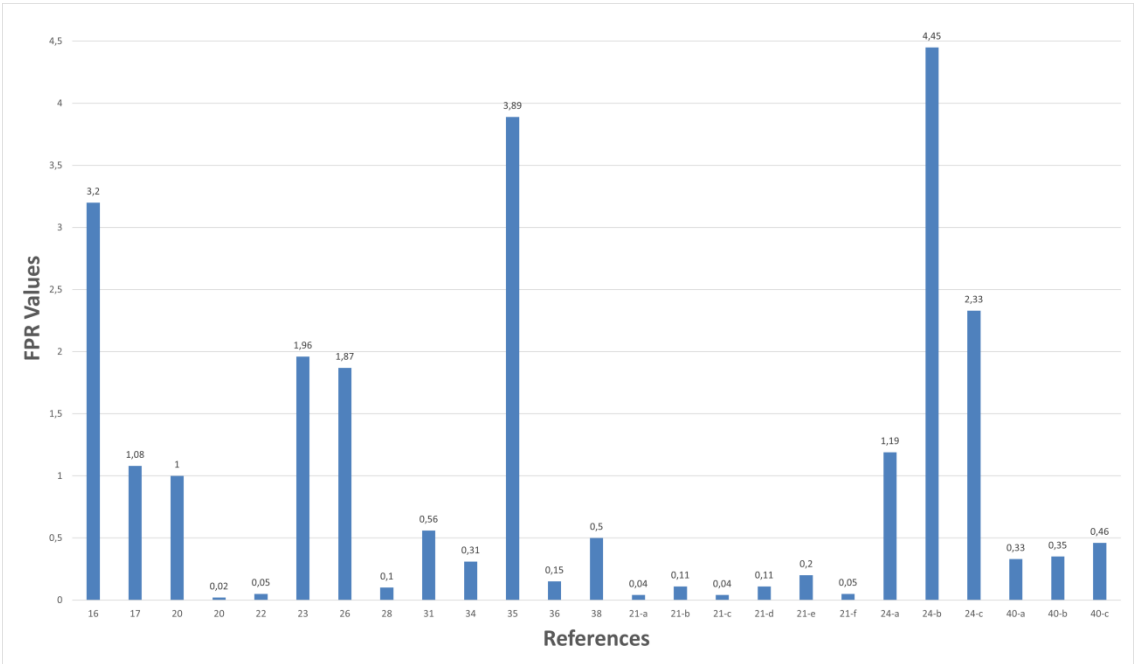


Figure 9. The comparison table of Accuracy values according to reference numbers

Another important criterion in the evaluation of intrusion detection systems is FPR. A low FPR value is an important indicator for the system’s performance. In the articles reviewed in Figure 10, it was concluded that ensemble learning algorithms, RF, ANN, CNN and SVM algorithms were used as machine learning algorithms, the supervised/ensemble model was preferred, and simulation processes were performed on SUMO and spark in the articles with the lowest FPR value. In the articles with the highest results regarding the FPR criteria, it was observed that SVM and game theory algorithms were preferred together with the supervised/classifying model, and studies were carried out on the generated datasets in NS-2/NS-3/SUMO simulation environments.



*Figure 10. The comparison table of FPR values according to reference numbers*

## **IV. CONCLUSION**

In this article, a comprehensive review of machine learning studies used for attack detection in VANET systems has been carried out. Recent studies in the literature were selected and evaluated according to different criteria. In the study, information about VANET architectures is first given, and then security requirements are explained. Then, summaries of the studies made in the articles selected from the studies in the literature were presented and a comparison table was created.

The distribution of the examined studies by years is given and it is stated that the studies in this field have increased in recent years. Then, a classification was made according to attack types, and it can be said that DOS/DDoS attacks are more than other attack types; as a result, they are the most dangerous attack types on VANET systems. Another inference in the examinations is that the supervised/classification model is preferred as the learning model used. When the results obtained according to machine learning algorithms are evaluated, it is seen that hybrid methods, ensemble techniques, and SVM algorithms are more commonly used in intrusion detection systems. It has been observed that the combined use of NS-2/SUMO simulation tools is common in the studies and that the authors use datasets obtained from the traffic they generate in the simulation environment they have prepared. However, there are studies on different simulators and datasets. According to the performance criteria results, it has been shown that high-performance studies were performed by obtaining high results for the ACC value and very low results for the FPR value. As a result, it can be said that VANET systems are exposed to many different attacks due to their architecture, and high-performance results are obtained by using different machine learning algorithms on different platforms to detect and prevent these attacks, and these studies are increasing with new approaches.

## **V. REFERENCES**

- [1] W. H. Organization et al., "Global status report on road safety 2018: summary," World Health Organization, Tech. Rep., 2018.
- [2] M. Alam, J. Ferreira, and J. Fonseca, "Introduction to intelligent transportation systems," in *Intelligent transportation systems*. Springer, 2016, pp. 1–17.
- [3] C. T. Barba, M. A. Mateos, P. R. Soto, A. M. Mezher, and M. A. Igartua, "Smart city for vanets using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights," in 2012 IEEE intelligent vehicles symposium. IEEE, 2012, pp. 902–907.
- [4] P. K. Singh, S. K. Nandi, and S. Nandi, "A tutorial survey on vehicular communication state of the art, and future research directions," *Vehicular Communications*, vol. 18, p. 100164, 2019.
- [5] L. Sumi and V. Ranga, "An iot-vanet-based traffic management system for emergency vehicles in a smart city," in *Recent Findings in Intelligent Computing Techniques*. Springer, 2018, pp. 23–31.
- [6] S. Abdelatif, M. Derdour, N. Ghoulmi-Zine, and B. Marzak, "Vanet: A novel service for predicting and disseminating vehicle traffic information," *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, no. 6, p. e4288, 2020.
- [7] A. M. De Souza, C. A. Brennand, R. S. Yokoyama, E. A. Donato, E. R. Madeira, and L. A. Villas, "Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives," *International Journal of Distributed Sen-sor Networks*, vol. 13, no. 4, p. 1550147716683612, 2017.

- [8] H. Hasrouny, A. E. Samhat, C. Bassil, and A. Laouiti, "Vanet security challenges and solutions: A survey," *Vehicular Communications*, vol. 7, pp. 7–20, 2017.
- [9] M. S. Sheikh and J. Liang, "A comprehensive survey on vanet security services in traffic management system," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2019, 2019.
- [10] M. B. Mansour, C. Salama, H. K. Mohamed, and S. A. Hammad, "Vanet security and privacy-an overview," *International Journal of Network Security Its Applications (IJNSA)* Vol, vol. 10, 2018.
- [11] R. Abassi, "Vanet security and forensics: Challenges and opportunities," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, vol. 1, no. 2, p. e1324, 2019.
- [12] R. Hussain, F. Hussain, and S. Zeadally, "Integration of vanet and 5g security: A review of design and implementation issues," *Future Generation Computer Systems*, vol. 101, pp. 843–864, 2019.
- [13] A. N. Upadhyaya and J. Shah, "Attacks on vanet security," *Int J Comp Eng Tech*, vol. 9, no. 1, pp. 8–19, 2018.
- [14] M. A. Hezam, A. Junaid, A. Syed, M. Nazri, M. Warip, K. N. Fazira, K. Azir, and R. Nurul Hidayah, "Classification of security attacks in vanet: A review of requirements and perspectives," 2018.
- [15] D. Manivannan, S. Moni, and S. Zeadally, "Secure authentication and privacy-preserving techniques in vehicular ad-hoc networks (vanets)," *Vehicular Communications*, vol. 25, p. 100247, 02 2020.
- [16] T. Nandy, M. Y. I. Idris, R. M. Noor, A. W. A. Wahab, S. Bhattacharyya, R. Kolandaisamy, and M. Yahuza, "A secure, privacy-preserving, and lightweight authentication scheme for vanets," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 18, pp. 20 998–21 011, 2021.
- [17] M. A. Al-Shareeda, M. Anbar, I. H. Hasbullah, and S. Manickam, "Survey of authentication and privacy schemes in vehicular ad hoc networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 2422–2433, 2021.
- [18] S. M. Erfani, S. Rajasegarar, S. Karunasekera, and C. Leckie, "High-dimensional and large-scale anomaly detection using a linear one-class svm with deep learning," *Pattern Recognition*, vol. 58, pp. 121–134, 2016.
- [19] Y. Yao, B. Xiao, G. Yang, Y. Hu, L. Wang, and X. Zhou, "Power control identification: A novel sybil attack detection scheme in vanets using rssi," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 37, no. 11, pp. 2588–2602, 2019.
- [20] O. A. Wahab, A. Mourad, H. Otrouk, and J. Bentahar, "Ceap: Svm-based intelligent detection model for clustered vehicular ad hoc networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 50, pp. 40–54, 2016.
- [21] E. A. Shams, A. Rizaner, and A. H. Ulusoy, "Trust aware support vector machine intrusion detection and prevention system in vehicular ad hoc networks," *Computers Security*, vol. 78, pp. 245–254, 2018.
- [22] E. A. Shams, A. H. Ulusoy, and A. Rizaner, "Performance analysis and comparison of anomaly-based intrusion detection in vehicular ad hoc networks." *Radioengineering*, vol. 29, no. 4, 2020.
- [23] A. Alsarhan, A.-R. Al-Ghuwairi, I. T. Almalkawi, M. Alauthman, and A. Al-Dubai, "Machine learning-driven optimization for intrusion detection in smart vehicular networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 117, no. 4, pp. 3129–3152, 2021.

- [24] F. A Ghaleb, F. Saeed, M. Al-Sarem, B. Ali Saleh Al-rimy, W. Boulila, A. Eljaly, K. Aloufi, and M. Alazab, "Misbehavior-aware on-demand collaborative intrusion detection system using distributed ensemble learning for vanet," *Electronics*, vol. 9, no. 9, p. 1411, 2020.
- [25] Y. Gao, H. Wu, B. Song, Y. Jin, X. Luo, and X. Zeng, "A distributed network intrusion detection system for distributed denial of service attacks in vehicular ad hoc network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 154 560–154 571, 2019.
- [26] S. Sharma and A. Kaul, "Hybrid fuzzy multi-criteria decision making based multicluster head dolphin swarm optimized ids for vanet," *Vehicular Communications*, vol. 12, pp. 23–38, 2018.
- [27] F. A. Ghaleb, M. A. Maarof, A. Zainal, B. A. S. Al-rimy, A. Alsaedi, and W. Boulila, "Ensemble-based hybrid context-aware misbehavior detection model for vehicular ad hoc network," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 23, p. 2852, 2019.
- [28] A. Khraisat, I. Gondal, P. Vamplew, J. Kamruzzaman, and A. Alazab, "Hybrid intrusion detection system based on the stacking ensemble of c5 decision tree classifier and one class support vector machine," *Electronics*, vol. 9, no. 1, p. 173, 2020.
- [29] W. L. Al-Yaseen, Z. A. Othman, and M. Z. A. Nazri, "Multi-level hybrid support vector machine and extreme learning machine based on modified k-means for intrusion detection system," *Expert Systems with Applications*, vol. 67, pp. 296–303, 2017.
- [30] K. Adhikary, S. Bhushan, S. Kumar, and K. Dutta, "Hybrid algorithm to detect ddos attacks in vanets," *Wireless Personal Communications*, vol. 114, no. 4, pp. 3613–3634, 2020.
- [31] H. M. Song, J. Woo, and H. K. Kim, "In-vehicle network intrusion detection using deep convolutional neural network," *Vehicular Communications*, vol. 21, p. 100198, 2020.
- [32] J. Shu, L. Zhou, W. Zhang, X. Du, and M. Guizani, "Collaborative intrusion detection for vanets: a deep learning-based distributed sdn approach," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020.
- [33] V. N and P. Ganapathi, Traffic Analysis of UAV Networks Using Enhanced Deep Feed Forward Neural Networks (EDFFNN), 01 2020, pp. 219–244.
- [34] H. Bangui and B. Buhnova, "Recent advances in machine-learning driven intrusion detection in transportation: Survey," *Procedia Computer Science*, vol. 184, pp. 877–886, 01 2021.
- [35] B. A. Bensaber, C. G. P. Diaz, and Y. Lahrouni, "Design and modeling an adaptive neuro-fuzzy inference system (anfis) for the prediction of a security index in vanet," *Journal of Computational Science*, vol. 47, p. 101234, 2020.
- [36] A. H. Hamamoto, L. F. Carvalho, L. D. H. Sampaio, T. Abr̃ao, and M. L. Proença Jr, "Network anomaly detection system using genetic algorithm and fuzzy logic," *Expert Systems with Applications*, vol. 92, pp. 390–402, 2018.
- [37] L. F. Carvalho, S. Barbon Jr, L. de Souza Mendes, and M. L. Proença Jr, "Unsupervised learning clustering and self-organized agents applied to help network management," *Expert Systems with Applications*, vol. 54, pp. 29–47, 2016.
- [38] J. Liang, M. Ma, M. Sadiq, and K.-H. Yeung, "A filter model for intrusion detection system in vehicle ad hoc networks: A hidden Markov methodology," *Knowledge-Based Systems*, vol. 163, pp. 611–623, 2019.

- [39] R. Rabah, A. K. Abdelaziz, G.-Z. Nacira, C. Yacine, and M. Ghamri-Doudane, "Antibotv: A multilevel behaviour-based framework for botnets detection in vehicular networks," *Journal of Network and Systems Management*, vol. 30, pp. 1–15, 03 2022.
- [40] J. Liang, J. Chen, Y. Zhu, and R. Yu, "A novel intrusion detection system for vehicular ad hoc networks (vanets) based on differences of traffic flow and position," *Applied Soft Computing*, vol. 75, pp. 712–727, 2019.
- [41] B. Subba, S. Biswas, and S. Karmakar, "A game theory based multi layered intrusion detection framework for vanet," *Future Generation Computer Systems*, vol. 82, pp. 12–28, 2018.
- [42] K. M. A. Alheeti, A. Gruebler, and K. D. McDonald-Maier, "On the detection of grey hole and rushing attacks in self-driving vehicular networks," in 2015 7th Computer science and electronic engineering conference (CEEC). IEEE, 2015, pp. 231–236.
- [43] F. A. Ghaleb, A. Zainal, M. A. Rassam, and F. Mohammed, "An effective misbehavior detection model using artificial neural network for vehicular ad hoc network applications," in 2017 IEEE Conference on Application, Information and Network Security (AINS). IEEE, 2017, pp. 13–18.
- [44] Y. Yu, L. Guo, Y. Liu, J. Zheng, and Y. Zong, "An efficient sdn-based ddos attack detection and rapid response platform in vehicular networks," *IEEE access*, vol. 6, pp. 44 570–44 579, 2018.
- [45] D. A. Schmidt, M. S. Khan, and B. T. Bennett, "Spline-based intrusion detection for vanet utilizing knot flow classification," *Internet Technology Letters*, vol. 3, no. 3, p. e155, 2020.
- [46] M. Idhammad, K. Afdel, and M. Belouch, "Semi-supervised machine learning approach for ddos detection," *Applied Intelligence*, vol. 48, no. 10, pp. 3193–3208, 2018.
- [47] C. A. Kerrache, N. Lagraa, C. T. Calafate, and A. Lakas, "Tfdd: A trust-based framework for reliable data delivery and dos defense in vanets," *Vehicular Communications*, vol. 9, pp. 254–267, 2017.
- [48] G. Raja, S. Anbalagan, G. Vijayaraghavan, S. Theerthagiri, S. V. Suryanarayan, and X.-W. Wu, "Sp-cids: Secure and private collaborative ids for vanets," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020.
- [49] J. Nadarajan and J. Kaliyaperumal, "Qos aware and secured routing algorithm using machine intelligence in next generation vanet," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, pp. 1–12, 2021.
- [50] C. G. P. Diaz, B. A. Bensaber, and Y. Lahrouni, "Design and modeling an adaptive neuro-diffuse system (anfis) for the prediction of a security index in vanet," in 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). IEEE, 2019, pp.1040–1045.
- [51] A. Alsarhan, M. Alauthman, E. Alshdaifat, A.-R. Al-Ghuwairi, and A. Al-Dubai, "Machine learning-driven optimization for svm-based intrusion detection system in vehicular ad hoc networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1–10, 2021.
- [52] H. Bangui, M. Ge, and B. Buhnova, "A hybrid machine learning model for intrusion detection in vanet," *Computing*, 08 2021.
- [53] J. Liang, Q. Lin, J. Chen, and Y. Zhu, "A filter model based on hidden generalized mixture transition distribution model for intrusion detection system in vehicle ad hoc networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 7, pp. 2707–2722, 2020.



- [54] A. Gad, A. Nashat, and T. Barkat, "Intrusion detection system using machine learning for vehicular ad hoc networks based on ton-iot dataset," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 142 206–142 217, 10 2021.
- [55] S. Ercan, M. Ayaida, and N. Messai, "Misbehavior detection for position falsification attacks in vanets using machine learning," *IEEE Access*, vol. PP, pp. 1–1, 12 2021. [56] T. Jo, *Machine Learning Foundations: Supervised, Unsupervised, and Advanced Learning*. Springer Nature, 2021.
- [57] T. Issariyakul and E. Hossain, "Introduction to network simulator 2 (ns2)," in *Introduction to network simulator NS2*. Springer, 2009, pp. 1–18.
- [58] G. F. Riley and T. R. Henderson, "The ns-3 network simulator," in *Modeling and tools for network simulation*. Springer, 2010, pp. 15–34.
- [59] P. Fernandes and U. Nunes, "Platooning of autonomous vehicles with intervehicle communications in sumo traffic simulator," in *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. IEEE, 2010, pp. 1313–1318.
- [60] J. Harri, F. Filali, C. Bonnet, and M. Fiore, "Vanetmobisim: generating realistic mobility patterns for vanets," in *Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, 2006, pp. 96–97.
- [61] M. Tavallae, E. Bagheri, W. Lu, and A. A. Ghorbani, "A detailed analysis of the kdd cup 99 data set," in *2009 IEEE symposium on computational intelligence for security and defense applications*. IEEE, 2009, pp. 1–6.
- [62] L. Dhanabal and S. Shantharajah, "A study on nsl-kdd dataset for intrusion detection system based on classification algorithms," *International journal of advanced research in computer and communication engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 446–452, 2015.
- [63] S. Meftah, T. Rachidi, and N. Assem, "Network based intrusion detection using the unsw-nb15 dataset," *International Journal of Computing and Digital Systems*, vol. 8, no. 5, pp. 478–487, 2019.
- [64] B. Coifman and L. Li, "A critical evaluation of the next generation simulation (ngsim) vehicle trajectory dataset," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 105, pp. 362–377, 2017.
- [65] A. Tharwat, "Classification assessment methods," *Applied Computing and Informatics*, 2020.
- [66] A. Javaid, Q. Niyaz, W. Sun, and M. Alam, "A deep learning approach for network intrusion detection system," *Eai Endorsed Transactions on Security and Safety*, vol. 3, no. 9, p. e2, 2016.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bibliometric Analysis: An Example of Journal Publishing on Furniture and Wood Materials

 Nadir ERSEN<sup>a,\*</sup>,  İlker AKYÜZ<sup>b</sup>,  Kadri Cemil AKYÜZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Forestry Department, Artvin Vocational School, Artvin Çoruh University, Artvin, TÜRKİYE

<sup>b</sup>Forest Industry Engineering Department, Forest Faculty, Karadeniz Technical University, Trabzon, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [nadirersen20@artvin.edu.tr](mailto:nadirersen20@artvin.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1300897

### ABSTRACT

Bibliometric analysis is a literature review tool, and with this technique, the status of the analyzed field or journal is determined, its development course is revealed and deficiencies are identified. In this study, it is aimed to make a bibliometric analysis of the "Furniture and Wooden Material Research Journal", which makes research on furniture and wood materials, in terms of various criteria. The scope of the research consisted of 72 academic studies published to journal. According to the results obtained, all publications in the journal were written by Turkish researchers. Research in the Journal was predominant by team research. Mostly researchers working at Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Bayburt University and İzmir Katip Çelebi University published in the journal. The number of articles written in English is very few. 50% of the articles published in the journal were not cited. The most frequently used keywords were "wood or wood material" and "surface roughness". It has been determined that the studies in the journal comply with Price Law and the 80/20 rule, but do not comply with Lotka's Law. Based on these results, the journal can develop certain academic criteria.

**Anahtar Kelimeler:** *Bibliometric analysis, Furniture and wood material, Qualitative research*

## Bibliyometrik Analiz: Mobilya ve Ahşap Malzemeler Üzerine Yayın Yapan dergi Örneği

### Öz

Bibliyometrik analiz bir literatür tarama aracıdır. Bu analiz sayesinde analiz edilen alanın ve derginin durumu belirlenir, gelişim seyri ortaya çıkarılır, eksiklikler tespit edilir. Bu çalışmada, mobilya ve ahşap malzemeler üzerine araştırmalar yapan "Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi'nin" çeşitli kriterler açısından bibliyometrik analizinin yapılması amaçlanmıştır. Araştırmanın kapsamını dergide yayınlanan 72 akademik çalışma oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, dergideki tüm yayınlar Türk araştırmacılar tarafından yazılmıştır. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmalar Dergisi'nde araştırma ağırlıklı olarak ekip çalışmasıdır. Dergide çoğunlukla Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bayburt Üniversitesi ve İzmir Katip Çelebi Üniversitesi'nde görev yapan araştırmacılar dergiye katkıda bulunmuştur. İngilizce olarak yazılan makale sayısı oldukça azdır. Dergide yayınlanan makalelerin %50'sine atıf yapılmamıştır. En sık kullanılan anahtar kelimeler "ahşap veya ahşap malzeme" ve "yüzey pürüzlülüğüdür". Dergide yer alan çalışmaların Price Kanunu ve 80/20 kuralına uygun olduğu, Lotka Kanunu'na ise uygun olmadığı tespit edilmiştir.. Bu sonuçlara dayanarak dergide belirli akademik kriterler geliştirilebilir.

**Keywords:** *Bibliyometrik analiz, Mobilya ve ahşap malzemeler, Nitel araştırma*

# **I. INTRODUCTION**

The furniture industry is one of the oldest and developing sectors in Turkey. The Turkish furniture industry was dominated by workshop-type businesses, most of which worked with traditional methods. In recent years, in the face of increasing competition, the number of medium and large-scale enterprises producing at world standards has begun to increase, and furniture companies have become in a position to sell products to both domestic and international markets. The furniture industry has a very wide range of products, and the furniture industry covers the production of raw materials such as MDF and chipboard, chemicals such as paint and adhesive and accessories, the production of machines used in furniture production and all the design stages of furniture. When we look at the furniture industry from this broad perspective, it can be seen how wide the employment opportunities the furniture industry provides. Moreover, the furniture industry is one of the leading sectors of our country in terms of added value and continues to increase its contribution to the economy as one of the sectors that uses domestic resources the most in exports and has the least dependence on imported products [1,2]. Scientific journals are one of the most important sources that help consumers get information about furniture, which has a wide variety of products and whose demand is constantly increasing. Scientific journals contribute to the furniture industry in proportion to the quality and quantity of the articles they publish. Furniture and Wooden Materials Research Journal is the first academic journal to start publishing in Dergipark, prioritizing the furniture issue. One of the techniques used to determine the qualities of scientific journals is bibliometric analysis [3,4].

Bibliometrics is a research field and method that examines various elements of the information produced and quantifies the distribution. Bibliometrics was first introduced in 1926. Alfred Lotka's models of author productivity were examined and initial rules for bibliometrics (Lotka's law) were provided. Research by Samuel Bradford in 1934 led to a fundamental law of bibliometrics (Bradford's law). In the study, the frequency distribution of scientific publications in journals in certain research areas was analyzed. In 1955, Eugene Garfield developed the Science Citation Index, which is considered the beginning of the modern era of bibliometrics. The term bibliometrics was first used by Alan Pritchard in 1969. Before Pritchard, this term was used by E. Wyndham Hulme in 1923 and Raisig L. Miles in 1962 under the name Statistical Bibliography [5 -7].

The most preferred method to determine the qualifications of scientific journals is the Bibliometric Analysis method. Bibliometric analysis has gained immense popularity in business research in recent years [8]. The reasons why bibliometric analysis is so popular are: (1) The progress, usability and accessibility of bibliometric software such as Gephi, Leximancer, VOSviewer and scientific databases such as Scopus and Web of Science, (2) the cross-disciplinary pollination of the bibliometric methodology from information science to business research [8].

Bibliometric studies are studies based on document analysis that allow the analysis of publications in a field with different methods and the evaluation of scientific studies. Bibliometric studies rely on a limited set of bibliometric data and techniques, and these studies only occur when they provide a piecemeal understanding of the area under investigation. The study, which was carried out within the scope of bibliometric studies in 1927 and in which the bibliographies of the articles published in the Journal of the American Chemical Society were evaluated, is considered to be the first study. In Turkey, the book "Growth in Turkish Positive Basic Sciences", published by Ahmet Kemal Özınönü in 1970, is seen as the pioneer of studies conducted within the scope of bibliometric studies [9 – 11].

Bibliometric analysis of scientific studies is usually carried out by analyzing the theses in the field or a selected journal. In this context, it is seen that bibliometric analyzes of selected journals in different fields are made.

Cancino et al. [12] conducted a bibliometric analysis of Computers and Industrial Engineering (CIE), which an international journal in the field of industry and started broadcasting in 1976. As a result of

the study, the leading tendencies of the journal were identified in terms of impact, topics, universities and countries.

Zeleznik et al. [13] examined the publication characteristics and development of the Journal of Advanced Nursing, which has a publication life of 40 years. For this, descriptive bibliometry was used. Also, bibliometric mapping was used to identify the most productive research terms and themes in the journal and their evolution over time. It has been determined that this research reveals a positive trend in literature production. But, the number of articles published in the journal was decreased a little recently. As a result of the thematic analysis, it was determined that the most productive themes correspond to the main aims and scope of the journal.

Abdi et al. [14] presented a bibliometric analysis of 2913 articles in the Journal of Information Processing and Management. In the study, the 10 most productive authors, the 10 most productive institutions and the 24 countries with the most publications were determined in terms of the number of articles.

According to Polat et al. [15] conducted a bibliometric analysis of 188 scientific articles published by the Journal of Harita among 2000 and 2017. As a result of the analysis, when the citations made by the articles were examined, foreign journals and works were quite high. Citations to the journal from foreign sources were very few.

Uribe-Toril et al. [16] performed a bibliometric analysis of 2094 articles, reviews, editorials, and corrections in the Forests. In the study, the countries, authors and institutions involved with the subjects related to forest knowledge areas were determined. The results indicate that the United States of America, China and Canada are the most active countries in Forests and this journal reached 105 countries. Contributions and citations to the journal have been increasing continuously since 2014.

The article of Wang et al. [17] presented a bibliometric analysis of Economic Research-Ekonomiska Istra Zivanja from 2007 to 2019. As a result of the analysis, 831 articles were examined in the study and the number of publications of the journal increased steadily. Zavadskas E.K. was the most contributed to the journal. Lithuania was the most influential country whereas the most productive country was Croatia. The most contributing institutions to the journal were found to be the University of Zagreb (Croatia), University of Ljubljana (Slovenia) and Juraj Dobrila University of Pula (Croatia).

Kırdar and Benli [18] conducted a bibliometric analysis of 138 articles published in the Journal of Social Security between 2011-2019. As a result of the investigations; individual studies are preferred. The first three institutions that contributed the most are Hacettepe University, Ankara University and Gazi University. The vast majority of articles were written by members at university. Journals, books and other sources were preferred as source type, respectively. A total of 830 citations were made to the Social Security Journal. Most of the articles were written in Turkish.

Donthu et al. [19] conducted a bibliometric analysis of the Journal of Business Research (JBR). Using the network analysis in OSviewer software, JBR publications were categorized into six clusters. The co-authorship and bibliographic couplings of authors and their affiliated institutions and countries, co-citations of journals, and cooccurrence of author-specified keywords were analyzed through Gephi software.

In another study by Donthu et al. [8] in 2021, it was aimed to analyze how the International of Journal Information Management developed in terms of various quantitative parameters. For this, bibliometric analysis was used.

Other studies on bibliometric analysis of journals are as follows: Journal Indian Forester [20], Sustainability [21], European Journal of Marketing [22], Periodontology 2000 [5], Journal of Management Research and Analysis [23], Business Strategy and the Environment [24], International Journal of Bank Marketing [25], Journal of Travel and Hotel Business [26], Istanbul University

Journal of Geograph [27], Journal of Erciyes University Faculty of Veterinary Medicine [28], Third Sector Social Economic Review [29], Journal of Corporate Real Estate [30].

## **II. MATERIAL AND METHOD**

Bibliometric analysis is an approach that uses a range of quantitative methods to measure, track and analyze scientific literature [31]. With bibliometric analysis, which is used as a literature review tool, the status of the analyzed field or journal is determined, and as a result, its course of development is revealed and deficiencies are identified [32].

In this study, the articles in the Furniture and Wooden Material Research Journal, published between 2018 and 2022, were analyzed using the bibliometric technique, which has qualitative features in terms of the technique of obtaining data and quantitative features in terms of presentation of data. The data collection process of the research was carried out between 20 and 30 April, 2023. Journal of Furniture and Wood Material Research (MAMAD) is a peer-reviewed and scientific journal published regularly twice a year, in June and December. The first issue of the journal was published in 2018. The aim of the journal is to provide service to all readers who are interested in furniture and wooden materials. Publication languages of journal are Turkish and English. It is scanned by TR INDEX, Index Copernicus International Word of Journals, Index Copernicus International Journals Master List, ERIH PLUS, Crossref, EBZ index, DRJI, CosmosIF, ResearchBib, SJIFactor, General Impact Factor, CiteFactor, Citefactor impact factor, Sindex, ZDB, Eurasian Scientific Journal Index, BASE, Ideonline, ASOS index and ISSN [4]. Within the scope of bibliometric analysis of articles in Furniture and Wooden Material Research Journal, answers to the following questions are sought.

- What is the distribution of articles published in the journal by years?
- What is the multi-authorship status of the articles in the journal?
- What are the institutions where the authors who publish in the journal work?
- Which universities contribute the most to the journal?
- What are the most frequently used keywords in the articles in the journal?
- What is the language of publication in the articles published in the journal?
- What is the page number distribution of articles published in the journal?
- What is the distribution of reference number of articles published in the journal?
- What are the types of research that refer to articles published in the journal and what is their distribution by year?
- What are the names and index types of the articles that refer to the articles published in the journal?
- Do the articles published in the journal comply with the Pareto, Price and Lotka laws?

## **III. RESULTS**

72 articles published in the journal in a five-year period were analyzed. 93% of these articles were research articles (67) and 7% were review articles (5). As seen in Figure 1, the number of articles was similar in the first three years, but increased in 2021. The average number of articles per year was calculated as 14.4. Accordingly, 27.8% of the articles published in the journal in 5 years belong to 2021.

72 articles were produced by 76 different authors, 20 authors had two or more articles, and 56 authors had only one article. It was determined that the number of authors in the articles varied from 1 to 4, 38.89% of the articles had one author, 37.5% had two authors, 18.06% had three authors and 5.56% had four authors (Figure 2). The degree of cooperation in the articles was calculated with the help of the following formula [33].

$$C = \frac{N_m}{N_m + N_s} \quad (1)$$

Where, C is degree of collaboration in the discipline,  $N_m$  is number of multi-authored papers and  $N_s$  is number of single authored papers.

The C value was calculated as 0.61 with the above formula. The higher the C value, the higher the level of cooperation. The degree of collaboration calculated in the study shows that research in the Furniture and Wooden Material Research Journal is predominant by team research. It is seen that the degree of collaboration in the Furniture and Wooden Material Research Journal varies from 0.33 to 0.83 in terms of the years.

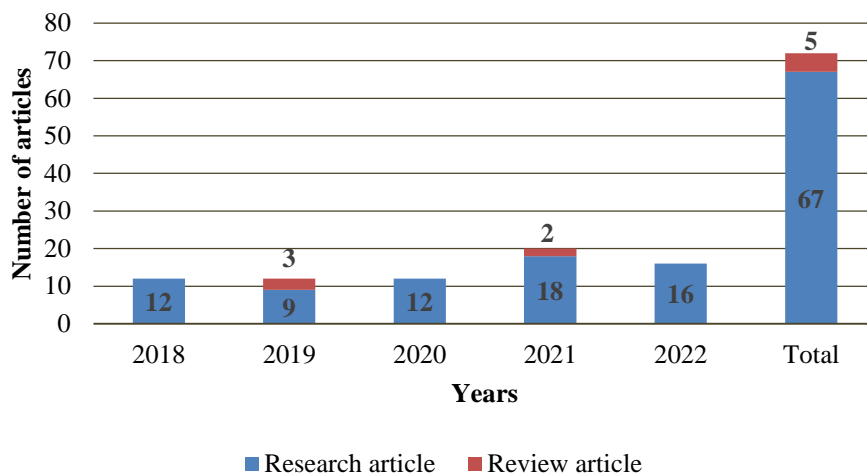


Fig. 1. Distribution of articles by years

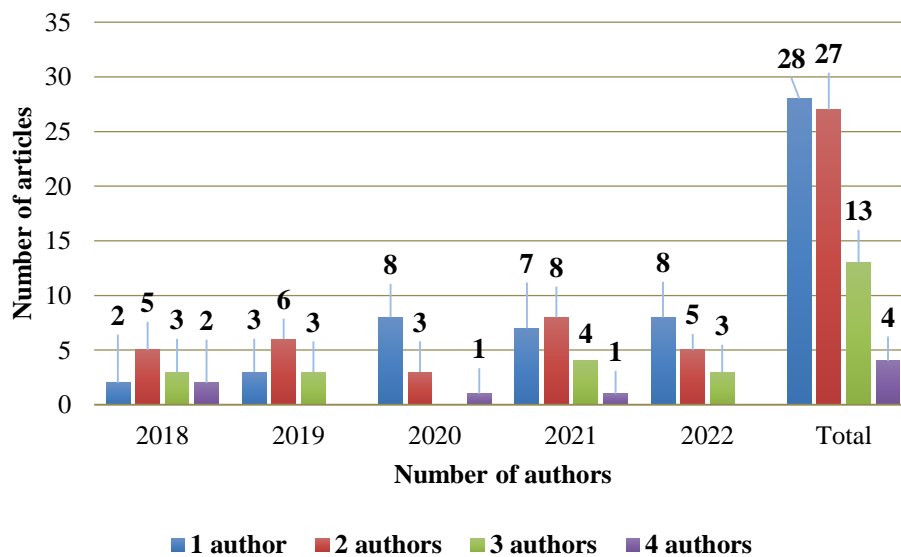


Fig.2. Distribution of articles by number of authors

It was concluded that the authors of the articles published in the journal between 2018 and 2022 worked in different institutions. The distribution of authors by institutions is given in Figure 3. According to Figure 3, the institutions that contribute the most are universities. Authors working in public institutions (national education) and private sector contributed to the journal. Postgraduate students also contributed to the journal. The distribution of universities contributing the most to the articles was given in Figure 4. Considering Figure 5, it was seen that 25 different universities contributed to the articles. The top five universities that contributed the most to the journal are:

Kahramanmaraş Sütçü İmam University (14 articles), Bayburt University (10 articles), İzmir Katip Çelebi University (9 articles), Kütahya Dumlupınar University (8 articles) and Kastamonu University (7 articles).

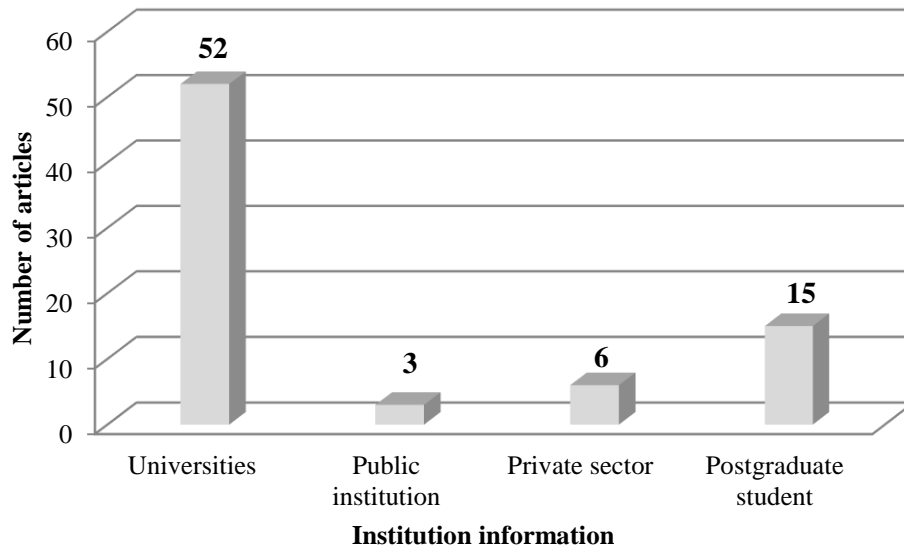


Fig. 3. Distribution of articles regarding the institutions where the authors work

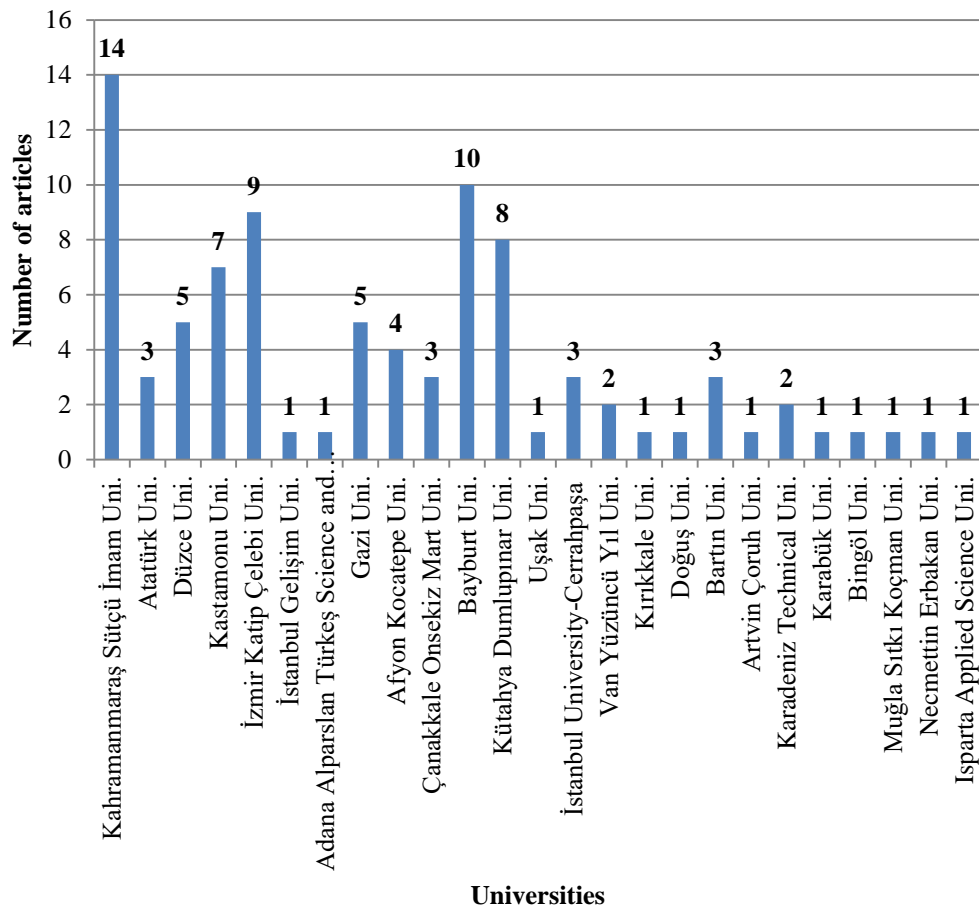
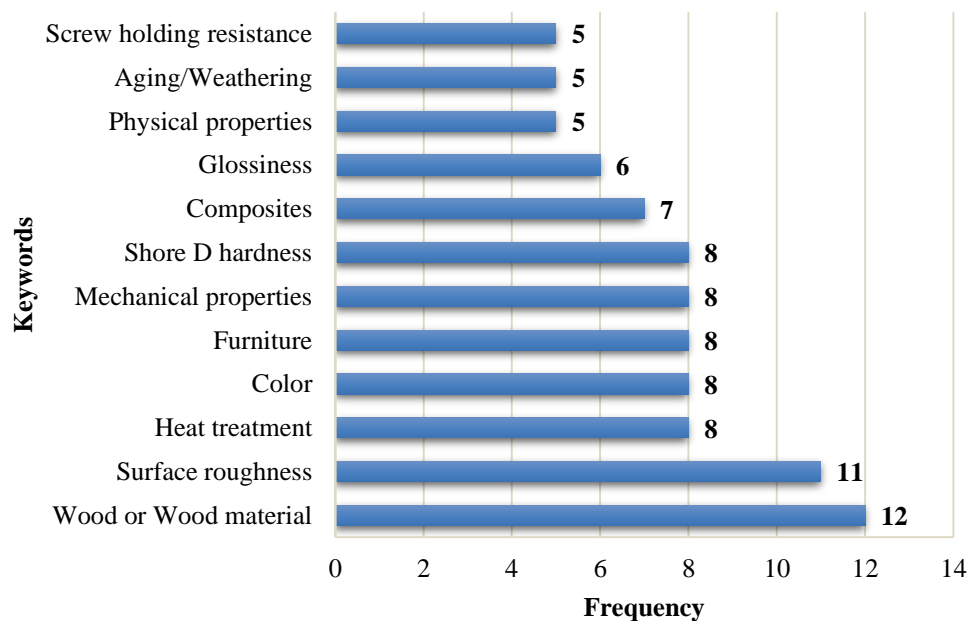


Fig. 4. Number of articles by universities

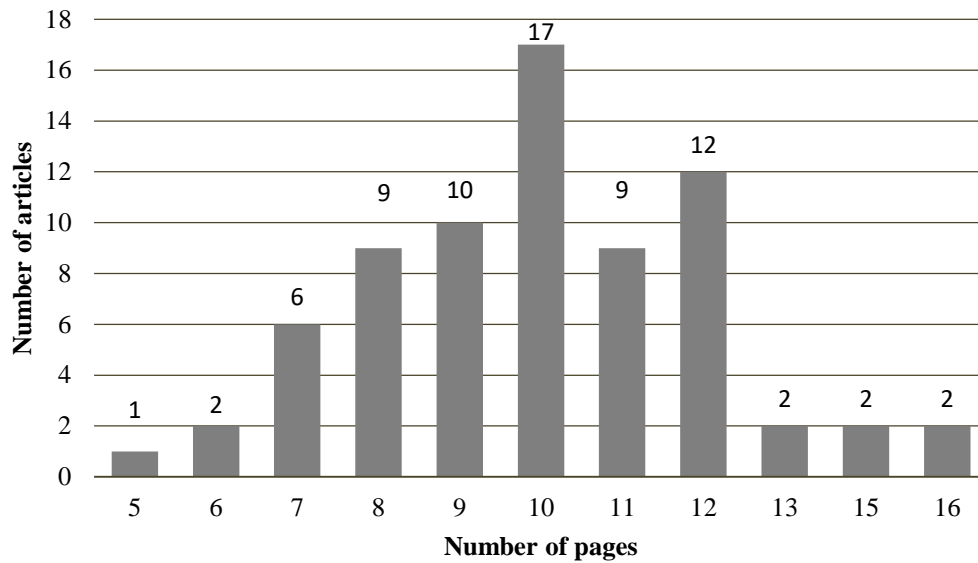
A total of 299 keywords were used for 72 articles published in the journal. There is an average of 4 keywords per article. While maximum 6 keywords were used in the articles, at least 3 keywords were used. The most frequently used keyword distribution in the articles was given in Figure 5. Keywords used less than 5 times in the creation of Figure 5 were not included. All keywords used in the articles were shown in the word cloud (Figure 6). This word cloud was created using Word Art software. In the word cloud, words that are used more frequently are shown in larger fonts. When Figure 5 and Figure 6 were examined, the most frequently used keywords in the articles are: “wood or wood material” (12 times), “surface roughness” (11 times), and “heat treatment (8 times), color (8 times), furniture (8 times), mechanical properties (8 times), and shore D hardness” (8 times). While 32 keywords were used 2 times or more, 152 keywords were used only once. In addition, in accordance with the publication policy of the journal, articles must have at least 3 and at most 5 keywords. However, it has been determined that a total of 4 articles published do not comply with the aforementioned publication rules.



*Fig. 5. The most frequent word/word groups in keywords of studies*

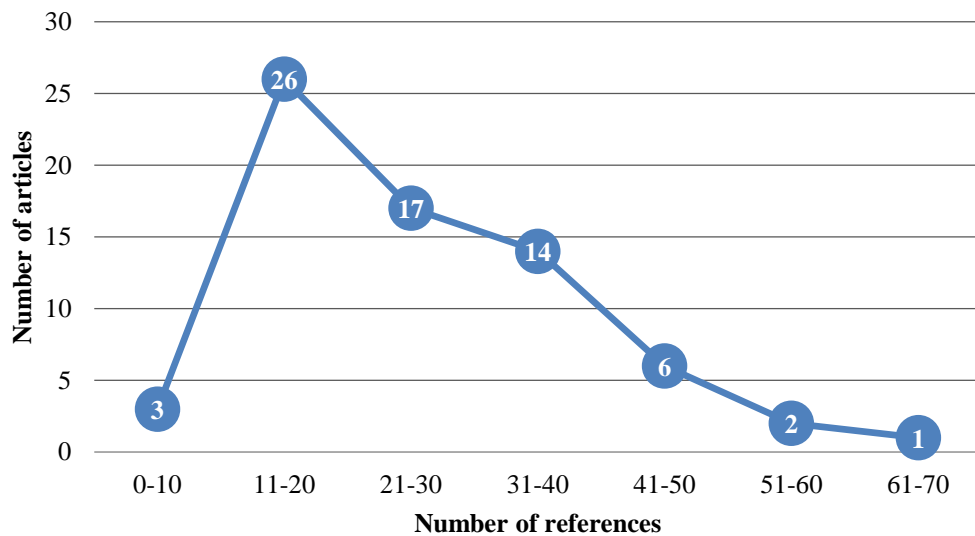






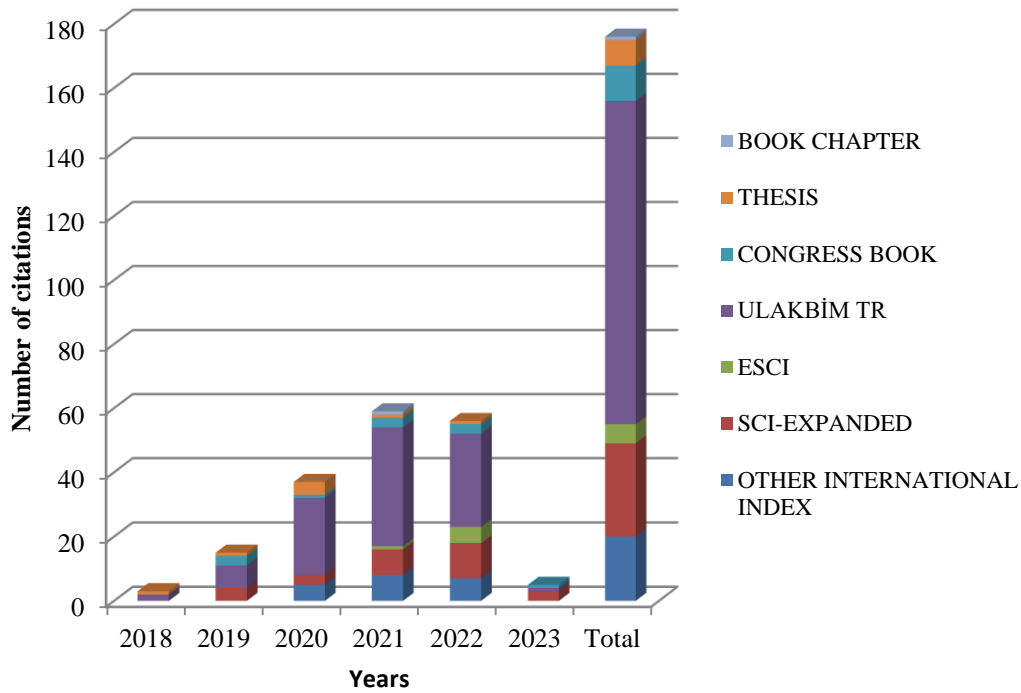
*Fig. 8. Distribution of page numbers of articles in the journal*

As shown in Figure 9, the number of references used by the authors is between 0-10 at least and 61-70 at most. 26 (37.68%) studies benefited from 11-20 sources. The number of publications that use less than 10 and more than 50 sources is very few. At least 6 references were used, whereas at most 61 references were used.



*Fig. 9. Distribution of references numbers of articles in the journal*

The number of citations to articles in the journal was obtained via Google Scholar. Examining Figure 10 and Table 1, 72 articles published between 2018 and 2023 (citations made until April 30, 2023 are included) received a total of 176 citations. There is an average of 2.43 citations per article. The highest number of citations to the journal was made in 2021. There were 59 citations to articles published this year. 51 of these citations are from articles published in the Furniture and Wooden Material Research Journal. 35 of the citations to the journal were made by the journals that were scanned by Web of Science. 121 citations were made by national and international journals (except SCI-Expanded and ESCI). Whereas 10 of the citations to the journal were made by international book of proceedings, 8 of the citations to the journal were made by national and international theses. No citations were made to 36 articles in the journal. The number of citations made by foreign authors to the journal is quite low.



*Fig. 10. Types of studies citing publications in the journal*  
**Table 1. Journal citing the furniture and wooden material research journal**

Journals	Index	Number of citations
Furniture and Wooden Material Research Journal	TR Index	51
Turkish Journal of Forestry	TR Index	13
Journal of Bartın Faculty of Forest	TR Index	9
Anatolian Journal of Forest Research	TR Index	1
Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University	SCI-Expanded	2
Bioresources	SCI-Expanded	16
Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences	TR Index	11
International Social Sciences Studies Journal	Other International Index	1
Düzce University Journal of Science and Technology	TR Index	1
Kastamonu University Journal of Forestry Faculty	ESCI	5
Journal of Apitherapy and Nature	Other International index	2
Drewno	SCI-Expanded	1
Eurasian Journal of Forest Science	TR Index	5
BSEU Journal of Science	TR Index	2
Journal of International Social Science Education	Other International Index	1
Journal of Architecture and Life	Other International Index	1
Wood Research	SCI-Expanded	1
International Journal of Lightweight Materials and	Other International	1

Manufacture	Index	
Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences	Other International Index	1
CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology	SCI-Expanded	1
Wood Material Science & Engineering	SCI-Expanded	3
Measurement	SCI-Expanded	1
Drvna Industrija	SCI-Expanded	1
Axioms	SCI-Expanded	1
Gazi Medical Journal	ESCI	1
Artvin Çoruh University Journal of Forestry Faculty	TR Index	1
Journal of Social and Humanities Sciences Research	Other International Index	1
Journal of Advanced Engineering Studies and Technologies	Other International Index	7
Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences	TR Index	2
Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts	Other International Index	1
ISPEC International Journal of Social Sciences & Humanities	Other International Index	1
Bitlis Eren University Journal of Science	TR Index	1
Gümüşhane University Journal of Science and Technology	TR Index	1
UMÜFED International Journal of Western Black Sea Engineering and Science	Other International Index	1
Journal of Business in The Digital Age	Other International Index	1
Journal of Cleaner Production	SCI-Expanded	1
Turkish Journal of Forestry Research	TR Index	3
Turkish Journal of Engineering Research and Education	Other International Index	1
Polymers	SCI-Expanded	1

There are various laws of bibliometric analysis. The compliance of the journal with the Pareto's Law, Price's Law and Lotka's Law was analyzed. The Pareto's Law refers to a method based on analyzing the productivity of writers writing in certain subject areas according to percentage rates. With the Pareto's Law, the writers who produce the most articles (who write 80% of the articles) can be identified and the productivity of writers in certain subject areas can be analyzed [9]. According to Pareto's Law, 80% of the total articles must be written by 20% of the authors [34]. In this context, 80% (58 articles) of 72 articles published in the Furniture and Wooden Material Journal should be written by 20% (15 authors) of 76 authors. As a result of the analysis, it is seen that 20% of the authors (15 authors) wrote 80% (58 articles) of the total articles. Therefore, it can be said that the published articles comply with the Pareto's Law. Price's Law is one of the widely used methods in the literature to measure the productivity of authors. According to Price's Law, the square root of the total number of authors should write half of the total number of articles [35]. According to this rule, 36 articles are expected to be written by 8.72 authors in the Furniture and Wooden Material Research Journal. It was concluded that 9 authors, who have the most studies, wrote 51 articles. According to the findings, it is seen that the results in accordance with the Price's Law have been reached. Lotka's law provides the opportunity for authors who have contributed to a certain literature to determine how many articles they have contributed to. In this way, it practically provides the opportunity to quantitatively estimate how much writing will be written by authors in that literature in the future [36]. According to Lotka's Law, 60% of the authors in a journal should contribute only one article, 15% with two articles and 7%

with three articles [37]. 73.3% of the authors in the Furniture and Wooden Material Research Journal wrote one article, 10.6% wrote two articles, 5.3% wrote three articles and 10.6% wrote more than three articles. It is seen that the Furniture and Wooden Material Research Journal does not comply with the Lotka's Law

## **IV. CONCLUSION**

This research was carried out in order to have information about the studies in the field of "Furniture and Wooden Material" by examining the articles published in the Furniture and Wooden Material Research Journal within a five-year period in terms of various criteria. For this purpose, 72 articles were examined. The vast majority of 72 articles were research papers and the most articles were published in 2021. Scanning the journal in TR index, academic incentives and academic promotion criteria may be effective in the increase in the number of articles in the journal since 2020. 72 articles in the journal were written by 76 authors and all contributors to the journal are Turkish authors. It is a remarkable result that there are no articles by foreign authors in the journal. Although research in the Furniture and Wooden Material Research Journal is predominantly team research, individual studies are available. Continuing this multi-authorship feature can contribute positively to the quality of the studies and therefore to the quality of the journal. 68% of the authors of the articles published in the journal are university researchers, 20% are postgraduate students, and 12% are employees of non-university institutions or organizations. The universities that sent the most articles to the journal are Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Bayburt University and İzmir Katip Çelebi University. The rate of articles in English was low (%12.5). Increasing the number of articles in English in the journal may contribute to increasing the national and international recognition of the journal and to the journal receiving more citations in foreign literature. A total of 299 keywords were used in the articles, and the average number of keywords per article is 4. The most frequently used keywords are "wood or wood material" and "surface roughness", respectively. The average number of pages and references per article is 10 and 27, respectively. It is a remarkable result that approximately half of the articles published in the journal do not receive any citations and the number of citations made by foreign researchers is low. Increasing citations to articles is a time-consuming process, and the fact that the journal's publication life covers a short period of six years may be a reason for the low citation rates. Increasing the number of articles written in English can also contribute significantly to increasing citation rates. One of the indicators of the awareness of scientific journals in their field is the citation made to the journal in which the article was published. 51 articles cited the journal in which the article was published. This may be a positive indicator for the journal to be indexed in an international index in the future. However, the self-citation of the journal and the self-citation of the authors can lead to a state of introversion. In addition, it was determined that the studies in the journal were in accordance with the Pareto's Law and the Price's Law and were not in accordance with the Lotka's Law. These Laws, which are used to measure scientific productivity and author productivity, examine the usage data of scientific publications and give the reader an idea about the quality of the relevant scientific work. The study is an original one as it is the first time that a journal publishing on furniture and wood materials has been analyzed in terms of its bibliometric features. This study may contribute to the literature by showing the position of relevant studies in the furniture and wood materials literature.

## **V. REFERENCES**

- [1] S. Bayraktaroğlu and Y. Özdemir, "Local entrepreneurship dynamics: understanding the furniture industry in Adapazarı with oral history method," *Journal of Administrative Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 51-79, 2010.
- [2] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2022). *Mobilya sektörü raporu 2021*, Available:: <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/MobilyaSektorRaporu2021.pdf>

- [3] Ö. Çetinkaya Bozkurt and C. Gürbüz, “Bibliometric analysis of journal of marketing and marketing research,” *Adnan Menderes University, Journal of Institute of Social Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 1-23, 2018.
- [4] Dergipark, 2022. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mamad>.
- [5] P. Ahmad, J. A. Asif, M. K. Alam and J. Slots, “A bibliometric analysis of Periodontology 2000,” *Periodontology 2000*, vol. 82, no. 1, pp. 286-297, 2020.
- [6] M. Yılmaz, “A critical view on bibliometrics,” *Turkish Librarianship*, vol. 33, no. 1, pp. 43-49, 2019.
- [7] S. Polat, “Bibliometric analysis of the articles published in journal of sosyoekonomi: the period of 2005-2019,” *Sosyoekonomi*, vol. 28, no. 45, pp. 281-300, 2020.
- [8] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey and W. M. Lim, “How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines,” *Journal of Business Research*, vol. 133, pp. 285-296, 2021.
- [9] Ç. Polat, M. Sağlam and T. Sarı, “Bibliometric analysis of Atatürk university journal of economics and administrative sciences,” *Atatürk University Journal of Economics and Administrative Sciences*, vol. 27, no. 2, pp. 273-288, 2013.
- [10] F. Beşel ve F. Yardımcıoğlu, “Bibliometric analysis of the finance journal: 2007-2016 period,” *Finance Journal*, no. 172, pp. 133-151, 2017.
- [11] T. Brown, A. Park and L. Pitt, “A 60-year bibliographic review of the journal of advertising research: perspectives on trends in authorship, influences, and research impact,” *Journal of Advertising Research*, vol. 60, no. 4, pp. 353-360, 2020.
- [12] C. Cancino, J. M. Merigo, F. Coronado, Y. Dessouky and M. Dessouky, “Forty years of computers & industrial engineering: a bibliometric analysis,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 113, pp. 614-629, 2017.
- [13] D. Zeleznik, H. B. Vosner and P. Kokol, P., “A bibliometric analysis of the journal of advanced nursing, 1976-2015,” *Leading Global Nursing Research*, vol. 73, no. 10, pp. 2407-2419, 2017.
- [14] A. Abdi, N. Idris, R. M. Alguliyev and R. M. Alguliyev, “Bibliometric analysis of IP&M journal (1980–2015),” *Journal of Scientometric Research*, vol. 7, no. 1, pp. 1-9, 2018.
- [15] Z. A. Polat, A. Saraçoğlu and H. Duman, “Bibliometric analysis of Harita journal,” *Harita Journal*, no. 161, pp. 46-56, 2019.
- [16] J. Uribe-Toril, J. L. Ruiz-Real, J. Haba-Osca and J. P. Valenciano, “Forests’ first decade: a bibliometric analysis overview,” *Forests*, vol. 10, no.1, pp. 1-17, 2019.
- [17] X. Wang, Z. Xu and M. Skare, “A bibliometric analysis of economic research-ekonomiska istraživanja (2007–2019),” *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, vol. 33, no.1, pp. 865-886, 2020.
- [18] E. Kırdar and A. Benli, “Bibliometric analysis of the articles published in journal of social security,” *Journal of Social Security*, vol. 10, no.1, pp. 197-216, 2020.

- [19] N. Donthu, S. Kumar and D. Pattnaik, "Forty-five years of journal of business research: a bibliometric analysis," *Journal of Business Research*, vol. 109, pp. 1-14, 2020.
- [20] T. Hazarika, K. Goswami and P. Das, "Bibliometric analysis of indian forester: 1991-2000," *IASLIC Bulletin*, vol. 48, no. 4, pp. 213-223, 2003.
- [21] M. Tang, H. Liao, Z. Wan, E. Herrera-Viedma and M. A. Rosen, "Ten years of sustainability (2009 to 2018): a bibliometric overview," *Sustainability*, vol. 10, no. 5, pp. 1-21, 2018.
- [22] F. Martinez-Lopez, J. M. Merigo, L. Valenzuela-Fernandez and C. Nicolas, "Fifty years of the European journal of marketing: a bibliometric analysis," *European Journal of Marketing*, vol. 52, no. 1/2, pp. 439-468, 2018.
- [23] R. Patel, "A bibliometric study: journal of management research and analysis," *Journal of Management Research and Analysis*, vol. 6, no. 2, pp. 93-97, 2019.
- [24] M. Farrukh, F. Meng, Y. Wu ve K. Nawaz, "Twenty-eight years of business strategy and the environment research: a bibliometric analysis," *Business Strategy and the Environment*, vol. 29, no. 6, pp. 2572-2582, 2020.
- [25] S. Kumar, J. J. Xiao, D. Pattnaik, V. M. Lim and T. Rasul, " Past, present and future of bank marketing: a bibliometric analysis of International journal of bank marketing (1983–2020)," *International Journal of Bank Marketing*, vol. 40, no. 2, pp. 341-383, 2022.
- [26] Ş. Üzüvar and M. Yurtlu, "Bibliometric analysis the journal of travel and hotel business articles," *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, vol. 5, no. 4, pp. 378-404, 2022.
- [27] M. Kahraman, " Bibliometric analysis of Istanbul university journal of geography," *Journal of Geography*, no. 44, pp. 207-218, 2022.
- [28] S. Sarıözkan, G. Güngör and M. Küçükoflaz, "Bibliometric analysis of journal of Erciyes university faculty of veterinary medicine," *Journal of Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University*, vol. 19, no. 2, pp. 136-144, 2022.
- [29] A. Fasal, "Bibliometric analysis of third sector social economic review," *Third Sector Social Economic Review*, vol. 58, no. 1, pp. 951-967, 2023.
- [30] M. Maggon, "A bibliometric analysis of the first 20 years of the journal of corporate real estate," *Journal of Corporate Real Estate*, vol. 25, no. 1, pp. 7-28, 2023.
- [31] M. A. Rojas-Sanchez, P. R. Palos-Sanchez and J. A. Folgado-Fernandez, "Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education," *Education and Information Technologies*, vol. 28, pp. 155-192, 2023.
- [32] S. Keçeli Erciyas, "The bibliometric analysis of journal of Kafkas university economics and administrative sciences faculty," *Kafkas University, Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal*, vol. 13, no. 25, pp. 497-523, 2022.
- [33] K. Subramanyam, " Bibliometric studies of research collaboration: a review," *Journal of Information Science*, vol. 6, no. 1, pp. 33-38, 1983.
- [34] L. Egghe, " On the 80/20 rule," *Scientometrics*, vol. 10, no. 1-2, pp. 55-68, 1986.
- [35] L. Egghe, and R. Rousseau, *Introduction to informetrics: quantitative methods in library, documentation and information science*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990, pp. 361-369.

[36] M. Yılmaz, "Lotka's law and the literature of library and information science in Turkey," *Turkish Librarianship*, vol. 16, no. 1, pp. 61-69, 2006.

[37] I. Rowlands, "Emerald authorship data, Lotka's law and research productivity," *Aslib Proceedings: New Information Perspectives*, vol. 57, no. 1, pp. 5-10, 2005.





# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Periods of Leonardo Sequences and Bivariate Gaussian Leonardo Polynomials

 Selime Beyza ÖZÇEVİK<sup>a,\*</sup>,  Abdullah DERTLİ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Mathematics, Faculty of Science, Ondokuz Mayıs University, Samsun, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Mathematics, Institute of Science, Ondokuz Mayıs University, Samsun, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [ozcevikbeyza8@gmail.com](mailto:ozcevikbeyza8@gmail.com)

DOI: 10.29130/dubited.1373596

### ABSTRACT

In this study, we investigate the periodic characteristics of Leonardo, Leonardo-Lucas, and Gaussian Leonardo sequences, presenting our findings through lemmas and theorems. Additionally, we introduce the concept of the power Leonardo like sequences and characterize the modules and integers within which these sequences exist. Furthermore, we conduct a comparative analysis between these power sequences and the power Fibonacci sequence under the same modulus. Lastly, we define a bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequence and obtain specific properties associated with it.

**Keywords:** Leonardo sequence, Period, Bivariate polynomials.

## Leonardo Dizisinin Periyotları ve İki Değişkenli Gauss Leonardo Polinomları

### Öz

Bu çalışmada, Leonardo, Leonardo-Lucas ve Gaussian Leonardo dizilerinin polinomları incelendi. Sonuçlar teoremler ve lemmalar yoluyla ifade edildi. Ayrıca, Leonardo kuvvet benzeri dizileri tanımlandı. Bu dizilerin var olduğu modüller ve sayıları karakterize edildi. Ek olarak, aynı modülde bu kuvvet dizilerinin periyotları ile Fibonacci kuvvet dizisinin periyotları karşılaştırıldı. Son olarak, iki değişkenli Gaussian Leonardo polinom dizisi tanımlandı ve belirli özellikleri elde edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Leonardo dizisi, periyot, iki değişkenli polinomlar.

# I. INTRODUCTION

The Fibonacci numbers were first described by Leonardo Fibonacci in 1202 and since then, these numbers have many applications areas such as number theory, algebra, cryptography and geometry. Fibonacci sequences which composed of these numbers are denoted by  $\{F_n\}_{n=0}^{\infty}$ , where  $F_n$  denotes the  $n$ th Fibonacci number. This sequence is defined by the recurrence relation

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$$

with initial conditions  $F_0 = 0, F_1 = 1, n \geq 2$ .

The first few terms of this sequence are

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \dots$$

Lucas sequence  $\{L_n\}_{n=0}^{\infty}$  has the same recurrence relation with the  $\{F_n\}_{n=0}^{\infty}$ . The first few Lucas numbers are

$$2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, \dots$$

The characteristic equation of sequences  $\{F_n\}$  and  $\{L_n\}$  is

$$x^2 - x - 1 = 0.$$

The Binet's formula of  $\{F_n\}$  and  $\{L_n\}$  are

$$F_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \text{ and } L_n = \alpha^n + \beta^n$$

where  $\alpha$  and  $\beta$  are roots of the characteristic equation of  $\{F_n\}$  and  $\{L_n\}$ .

Ide and Renault defined power Fibonacci sequences modulo  $m$ , [1]. Authors obtained some results about the existence, numbers and periods of these sequences in the same study.

**Definition 1.1.** Let  $G$  be an integer sequence satisfying the recurrence relation  $G_n = G_{n-1} + G_{n-2}$ . If  $G \equiv 1, \alpha, \alpha^2 \dots \pmod{m}$  for some modulus  $m$ , then  $\{G_n\}$  is called a power Fibonacci sequence modulo  $m$ , [1].

For  $m = 19$ , there are two power Fibonacci sequences

$$1, 5, 6, 11, 17, 9, \dots \text{ and } 1, 15, 16, 12, 9, \dots$$

**Theorem 1.2.** There is exactly one power Fibonacci sequence modulo 5. For  $m \neq 5$ , there exist power Fibonacci sequences modulo  $m$  precisely when  $m$  has prime factorization  $m = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$  or  $m = 5 \cdot p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$ , where each  $p_i \equiv \mp 1 \pmod{10}$ , in either case there are exactly  $2^k$  power Fibonacci sequences modulo  $m$ , [1].

Authors established a relationship between the periods of Fibonacci sequences and the periods of power Fibonacci sequences in the same modulo in the following lemma and theorem, recursively. Here,  $\pi(m)$  denotes the period of the Fibonacci sequence and  $|\alpha|, |\beta|$  the order of power Fibonacci sequences modulo  $m$ .

**Lemma 1.3.** Let  $p$  a prime of the form  $p \equiv \mp 1 \pmod{10}$ ,  $\alpha$  and  $\beta$  be two roots of  $f(x) = x^2 - x - 1 \pmod{p^e}$ . Without loss of generality, assume  $|\alpha| \geq |\beta|$ .

- If  $\pi(p^e) \equiv 2 \pmod{4}$ , then  $|\alpha| = 2|\beta| \equiv 2 \pmod{p^e}$ .
- If  $\pi(p^e) \equiv 0 \pmod{4}$ , then  $|\alpha| = |\beta| \equiv 0 \pmod{p^e}$ , [1].

**Theorem 1.4.** Let  $m = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$ , a product of primes of the form  $p_i \equiv \mp 1 \pmod{10}$ .

- If  $\pi(m) \equiv 0 \pmod{4}$ , then modulo  $m$ , every power Fibonacci sequence has a period  $\pi(m)$ .
- If  $\pi(m) \equiv 2 \pmod{4}$ , then modulo  $m$ , one power Fibonacci sequence has (odd) period  $\frac{1}{2}\pi(m)$  and all the others have period  $\pi(m)$ .
- If  $\pi(m) \equiv 0 \pmod{4}$ , then modulo  $5m$ , every power Fibonacci sequence have period  $\pi(m)$ .
- If  $\pi(m) \equiv 2 \pmod{4}$ , then modulo  $5m$ , every power Fibonacci sequence have period  $2\pi(m)$ , [1].

Catarino and Borges [1] defined the Leonardo sequences in 2013.

**Definition 1.5.** Leonardo sequence  $\{Le_n\}$  is defined by the recurrence relation  $Le_n = Le_{n-1} + Le_{n-2} + 1$  with initial conditions  $Le_0 = Le_1 = 1$  for  $n \geq 2$ , where  $Le_n$  denotes the  $n$ th Leonardo number. Also, the Leonardo sequence has homogenous recurrence relation

$$Le_{n+1} = 2Le_n - Le_{n-2}, \quad n \geq 2.$$

The first few terms of Leonardo sequence are

$$1, 1, 3, 5, 9, 15, 25, 41, \dots$$

The third-order characteristic equation of the recurrence relation of the Leonardo sequence is

$$x^3 - 2x^2 + 1 = 0.$$

Soykan defined the Leonardo matrix A as follows:

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

such that  $\det A = -1$ , [4]. He defined the Leonardo-Lucas sequence in the same study.

**Definition 1.6.** Leonardo-Lucas sequence is defined as  $H_n = H_{n-1} + H_{n-2} - 1$  with  $H_0 = 3, H_1 = 2$  for  $n \geq 2$ .

The first few terms of Leonardo-Lucas numbers are

$$3, 2, 4, 5, 8, 12, 19, 30, 48, 77, \dots$$

This sequence  $\{H_n\}$  satisfies the recurrence relation

$$H_n = 2H_{n-1} - H_{n-3}.$$

Mangueira etc. defined the Leonardo polynomials sequence in [5] as follows.

**Definition 1.7.** Leonardo polynomials  $l_n(x)$  are defined by the recurrence relation

$$l_n(x) = 2xl_{n-1}(x) - l_{n-3}(x)$$

with  $l_0(x) = l_1(x) = 1$  and  $l_2(x) = 3$ , for  $n \geq 3$ .

The first few terms of this sequence are

$$1, 1, 3, 6x - 1, 12x^2 - 2x - 1, 24x^3 - 4x^2 - 2x - 3, \dots$$

The authors introduced bivariate Leonardo polynomials and complex Leonardo polynomials in the same study.

**Definition 1.8.** Bivariate Leonardo polynomials  $l_n(x, y)$  satisfy the recurrence relation

$$l_n(x, y) = 2xl_{n-1}(x, y) - yl_{n-3}(x, y)$$

with initial conditions  $l_0(x, y) = l_1(x, y) = 1$  and  $l_2(x, y) = 3$ , for  $n \geq 3$ .

**Definition 1.9.** Bivariate Leonardo complex polynomials  $l_n(ix, y)$  are defined by the recurrence relation

$$l_n(ix, y) = 2xil_{n-1}(ix, y) - yl_{n-3}(ix, y)$$

with initial conditions  $l_0(ix, y) = l_1(ix, y) = 1$ ,  $l_2(ix, y) = 3$  and  $i^2 = -1$ , for  $n \geq 3$ .

## II. THE PERIODS OF LEONARDO SEQUENCES AND LEONARDO LUCAS SEQUENCES MODULO $k$

Wall D. D. examined the Fibonacci sequence modulo  $m$  and obtained some results in 1960, [6]. In this section, we examine periods of Leonardo and Leonardo-Lucas sequences in the same modulo. The periods of the Leonardo and Leonardo-Lucas sequence are denoted with  $l(k)$  and  $l^*(k)$  modulo  $k$ , respectively.

**Theorem 2.1.** Leonardo sequence is periodic for modulo  $k \geq 2$ .

**Proof.** We have  $Le_{n-2} = 2Le_n - Le_{n+1}$  from the recurrence relation of the Leonardo sequence. If  $Le_{m+1} \equiv Le_{r+1} \pmod{k}$  and  $Le_m \equiv Le_r \pmod{k}$ , then  $Le_{m-2} \equiv Le_{r-2}, \dots, Le_{m-r+1} \equiv Le_1$  and  $Le_{m-r} \equiv Le_0$ , so the sequence is periodic.

Similarly, we can see that the Leonardo-Lucas sequence is periodic because the recurrence relation of this sequence is the same as the Leonardo sequence.

**Example 2.2.** For modulo  $k = 5$ , Leonardo and Leonardo-Lucas sequences are as follows, recursively.

$$\begin{aligned} &1, 1, 3, 0, 4, 0, 0, 1, 2, 4, 2, \dots \\ &3, 2, 4, 0, 3, 2, 4, 0, 3, 2, \dots \end{aligned}$$

The following Theorems 2.3 and 2.4 can be proved as in [6].

**Theorem 2.3.** Let  $\gcd(k, t) = 1$ . Then,

- $l(kt) = \text{lcm}(l(k), l(t))$ ,
- $l^*(kt) = \text{lcm}(l^*(k), l^*(t))$ .

**Theorem 2.4.** Let  $k$  be a prime. Then, the following properties are satisfied.

- If  $k \equiv \mp 3 \pmod{10}$ , then  $l^*(k) = l(k) \mid 2 \cdot (k + 1)$ .
- If  $k \equiv \mp 1 \pmod{10}$ , then  $l^*(k) = l(k) \mid k - 1$ .

**Lemma 2.5.** For  $k \geq 2$ , we have

- $l(2^k) = 2l(2^{k-1})$ ,
- $l^*(2^k) = 2l^*(2^{k-1})$ .

**Theorem 2.6.** For  $k = 2^r, r \geq 2$ , we have  $l^*(k) = 2 \cdot l(k)$ .

**Proof.** We prove this theorem with mathematical induction on  $r$ . For  $r = 1$ , we have  $2 \cdot l(2^2) = l^*(2)$ , and this statement is true. Let us assume that is true for  $r = n$ . So, we have  $l^*(2^n) = 2 \cdot l(2^n)$ . We will

demonstrate that this is true for  $r = n + 1$ . We can write  $l^*(2^{n+1}) = 2 \cdot l^*(2^n)$  from previous Lemma. Since  $l^*(2^n) = 2 \cdot l(2^n)$ , then we get  $l^*(2^{n+1}) = 2 \cdot 2 \cdot l(2^n)$ .

Finally, we obtain  $l^*(2^{n+1}) = 2 \cdot l(2^{n+1})$  from previous Lemma.

We will give the relation between Leonardo matrix  $A$  and periods of Leonardo sequences with the following Lemma.

**Lemma 2.7.**  $A^{l(k)} \equiv I \pmod{k}$ , where  $I$  is an identity matrix. Then, we can obtain  $A^{l(k)} \equiv I + kC$ , where  $C = [c_{ij}]$  is a matrix such that  $0 \leq c_{ij} \leq k - 1$  and  $c_{ij}$  are non-negative integers.

**Example 2.8.** For  $k = 11$ , the period of Leonardo sequence  $l(k) = 10$ . Then,

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{10} = \begin{bmatrix} 232 & -88 & -143 \\ 143 & -54 & -88 \\ 88 & -33 & -54 \end{bmatrix}$$

and we can see

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{10} \equiv \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \pmod{11}.$$

**Theorem 2.9.** Let  $k$  be an arbitrary odd prime. Then  $l(k^r) = k^{r-1} \cdot l(k)$ , where  $r \in \mathbb{Z}^+$ .

For  $k = 2$ , we obtain the following Lemma.

**Lemma 2.10.**  $l(2^{r+1}) = 2 \cdot l(2^r)$ .

**Theorem 2.11.** Let  $k = 2^r, r > 1$ . Then,  $l(2) = 1$  and  $l(k) = 3 \cdot 2^{k-2}$ .

**Proof.** It can be proven easily by induction and using the previous Lemma.

### III. POWER LEONARDO LIKE SEQUENCES MODULO $k$

In this section, we describe power Leonardo like sequences. Moreover, we examine periods of these sequences and compare them to periods of power Fibonacci sequences in some modulo.

**Definition 3.1.** Let  $L_p$  be an infinite sequence of integers satisfy the recurrence relation

$$L_{p_{n+2}} = 2L_{p_{n+1}} - L_{p_{n-1}}.$$

If  $L_p \equiv 1, \theta, \theta^2, \theta^3, \dots \pmod{k}$ , then  $L_p$  is called power Leonardo like sequence modulo  $k$ .

**Example 3.2.** For modulo  $k = 55$ , there are six power Leonardo like sequences.

$$\begin{aligned} &1, 1, 1, 1, \dots, \\ &1, 8, 9, 17, 26, 43, \dots, \\ &1, 23, 34, 12, 1, 23, \dots, \\ &1, 26, 16, 31, 36, 1, \dots, \\ &1, 41, 31, 6, 26, 21, \dots, \\ &1, 48, 49, 42, 36, \dots \end{aligned}$$

**Theorem 3.3.** There are two power Leonardo like sequences for modulo 5. For  $k \neq 5$ , if  $k$  has prime factorization  $k = t_1^{\phi_1} t_2^{\phi_2} \dots t_s^{\phi_s}$ , then there are  $3^s$  power Leonardo like sequences modulo  $k$  and if  $k$  has prime factorization  $k = 5 \cdot t_1^{\phi_1} t_2^{\phi_2} \dots t_s^{\phi_s}$ , then there are  $2 \cdot 3^s$  power Leonardo like sequences modulo  $k$ , where  $t_j \equiv \mp 1 \pmod{10}$ ,  $j = 1, \dots, s$ .

**Proof.** Let  $d(x)$  be a characteristic equation of the Leonardo sequence. Hence, the discriminant of  $d(x)$  is 5 and  $d(x)$  has three distinct roots. There is an apparent solution for each modulo due to one of the roots of  $d(x)$  is 1. For other solutions,  $x^2 \equiv 5 \pmod{5^e}$  has one solution only when  $e = 1$  for modulo 5. Therefore, we can write two power Leonardo like sequences.

For  $k \neq 5$ , there are three solutions one of those solutions is 1. Also, 5 is a quadratic residue for modulo  $t_j \equiv \mp 1 \pmod{10}$ . Hence, by using Hensel's Lemma and Chinese Remainder Theorem, [8], it is seen that  $d(x)$  has  $3^s$  roots modulo  $k$ . Similarly, it can be seen that  $d(x)$  has  $2 \cdot 3^s$  roots modulo  $5k$ .

Gaussian Leonardo numbers are defined as in [7]. The Gaussian Leonardo sequence  $\{GLE_n\}_{n=0}^\infty$  is defined by the recurrence relation

$$GLE_n = GLE_{n-1} + GLE_{n-2} + (1 + i), \quad n \geq 2$$

with initial conditions  $GLE_0 = 1 - i, GLE_1 = 1 + i$ .

The homogenous form of this recurrence relation is

$$GLE_{n+1} = 2GLE_n - GLE_{n-2}, \quad n \geq 2.$$

We noticed that Gaussian Leonardo sequence is periodic. The periods of the Gaussian Leonardo sequence are denoted with  $\varphi_g(k)$  modulo  $k$  for the following numerical examples.

For  $k = 3$  and  $k = 3^2$ , then the Gaussian Leonardo sequences are as follows, respectively.

$$\begin{aligned} &1 - i, 1 + i, i, 2i, 0, 1, 2 + i, 1 + 2i, \dots, \\ &1 - i, 1 + i, 3 + i, 5 + 3i, 5i, 6, 7 + 6i, 5 + 7i, \dots \end{aligned}$$

Then, we get  $\varphi_g(9) = 3 \cdot \varphi_g(3)$ .

For  $k = 6$ , the Gaussian Leonardo sequence is

$$1 - i, 1 + i, 3 + i, 5 + 3i, 3 + 5i, 3 + 3i, \dots$$

and it is obtained  $\varphi_g(6) = 2 \cdot \varphi_g(3)$ .

When we examined periods of power Leonardo like sequences, we noticed a similarity with power Fibonacci sequences. Although there is a resemblance between these sequences, we also observed some differences as follows.

- i) There is no power Fibonacci sequence with the period of one.
- ii) There is a power Leonardo like sequence with the period of one. This number sequence is 1,1,1, ...

Furthermore, the period lengths of these sequences are equal in the same modulo.

We get the results in the following table with numerical examples (see Table 1). Here, the period lengths of the power Leonardo like sequence and the period lengths of the power Fibonacci sequence are denoted by  $\rho(k)$  and  $|k|$  modulo  $k$ , respectively.

**Table 1.** The period lengths of the power Leonardo like sequence and the period lengths of the power Fibonacci sequence

$k$	$p(k)$	$ k $
11	1,10,5	10,5
19	1,18,9	18,9
29	1,28,28	28,28
31	1,30,15	30,15
41	1,40,40	40,40
59	1,58,29	58,29
95	1,94,47	94,47
121	1,120,120	120,120

For  $k = 15$ , the Gaussian Leonardo sequence is

$$1 - i, 1 + i, 3 + i, 5 + 3i, 9 + 5i, 9i, 10, 11 + 10i, 7 + 11i, \dots$$

It can be seen that  $\varphi_g(15) = [\varphi_g(3), \varphi_g(5)]$ . Consequently, when the periods of Gaussian Leonardo sequences are examined, it is seen that these number sequences have some properties in terms of period lengths. Because; the coefficients of the Gaussian Leonardo numbers are the same as the Leonardo numbers.

## IV. BIVARIATE GAUSSIAN LEONARDO POLYNOMIALS

In 2023, Gaussian Leonardo polynomial sequence is defined as in [9]. The Gaussian Leonardo polynomial sequence  $\{GLE_n(x)\}_{n=1}^{\infty}$  is defined by

$$GLE_{n+1}(x) = 2xGLE_n(x) - GLE_n(x)$$

for  $n \geq 2$ , with initial conditions  $GLE_0(x) = 1 - i, GLE_1(x) = x + 1$ .

The first few terms of this sequence are as follows

$$1 - i, x + i, 3x + i, 6x^2 + 2xi - 1 + i, \dots$$

In this section, we define bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequences and explore some properties of this sequence.

**Definition 4.1.** The bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequence  $\{GLE_n(x, y)\}_{n=0}^{\infty}$  is defined by the recurrence relation

$$GLE_{n+1}(x, y) = 2xGLE_n(x, y) - yGLE_{n-2}(x, y)$$

for  $n \geq 2$ , with initial conditions  $GLE_0(x, y) = 1 - i, GLE_1(x, y) = x + i, GLE_2(x, y) = 3x + i$ .

The first few terms of this sequence as follows

$$1 - i, x + i, 3x + i, 6x^2 + 2xi + iy - y, 12x^3 + 4x^2i + 2xyi - 3xy - iy, \dots$$

**Theorem 4.2.** The generating function of bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequence is

$$gl(t) = \sum_{n=0}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n = \frac{-2x(xt + t - 2) + 1 + i}{1 - 2xt + yt^3}.$$

**Proof.** We can write

$$\sum_{n=0}^{\infty} GLe_{n+3}(x, y)t^n = 2x \sum_{n=0}^{\infty} GLe_{n+2}(x, y)t^n - y \sum_{n=0}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n$$

from recurrence relation.

Then, we get

$$\begin{aligned} \sum_{n=3}^{\infty} GLe_n(x, y)t^{n-3} &= 2x \sum_{n=2}^{\infty} GLe_n(x, y)t^{n-2} - y \sum_{n=0}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n \\ &= \frac{1}{t^3} \sum_{n=3}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n \\ &= 2x \frac{1}{t^2} \sum_{n=2}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n - y \sum_{n=0}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n. \end{aligned}$$

We have  $gl(t) = \sum_{n=0}^{\infty} GLe_n(x, y)t^n$ , so we obtain

$$gl(t)(1 - 2xt + yt^3) = -2x(xt + t - 2) + 1 + i$$

and the proof is completed with the help of necessary operations.

**Theorem 4.3.** Binet's formula for bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequence is

$$GLe_n(x, y) = \alpha t_1^n + \beta t_2^n + \gamma t_3^n$$

where

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{3 + (-t_2 - t_3) + t_2 t_3}{t_1^2 - t_1 t_2 - t_1 t_3 + t_2 t_3}, \\ \beta &= \frac{3 + (-t_1 - t_3) + t_1 t_3}{t_2^2 - t_2 t_3 - t_1 t_2 + t_1 t_3}, \\ \gamma &= \frac{3 + (-t_1 - t_2) + t_1 t_2}{t_3^2 - t_1 t_2 - t_1 t_3 - t_2 t_3} \end{aligned}$$

$t_1, t_2, t_3$  are the roots of characteristic equation

$$t^3 - 2xt^2 + yt = 0.$$

**Lemma 4.4.** For  $n \geq 2$ , the matrix form of the bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequence is as follows.

$$\begin{bmatrix} 2x & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -y & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Then,

$$[3x + i x + 1 \ 1 - i] \begin{bmatrix} 2x & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -y & 0 & 0 \end{bmatrix}^n = [GLe_n(x, y) \ GLe_{n-1}(x, y) \ GLe_{n-2}(x, y)].$$



**Theorem 4.5.** For  $k \geq 2$ , we have

$$GLE_n(x, y) = \begin{bmatrix} GLe_n(x, y) & GLe_{n-1}(x, y) & GLe_{n-2}(x, y) \\ GLe_{n+1}(x, y) & GLe_n(x, y) & GLe_{n-1}(x, y) \\ GLe_{n+2}(x, y) & GLe_{n+1}(x, y) & GLe_n(x, y) \end{bmatrix}.$$

**Proof.** The proof of this theorem can be obtained by using the previous Lemma and induction easily.

## V. CONCLUSION

In this paper, the periods of Leonardo and Leonardo-Lucas sequences are explored and established through the derivation of numerical values. Additionally, power Leonardo like sequences are defined, and certain properties of these sequences are derived. The periods of the Gaussian Leonardo sequence are also investigated. The results of these analyses reveal that the period properties of sequences based on the Leonardo sequence exhibit similarities. Finally, bivariate Gaussian Leonardo polynomial sequences are introduced. This study has the potential to extend into academic fields such as coding theory and cryptography, where the concept of period is frequently utilized.

## VI. REFERENCES

- [1] J. Ide, M.S. Renault, "Power Fibonacci sequences," *The Fibonacci Quarterly*, vol. 50, no. 2 pp. 175-180, 2012.
- [2] T. Koshy, "Fibonacci and Lucas Polynomials", *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*, John Wiley & Sons, New York, pp. 3-26, 2001.
- [3] Catarino, P. M., Borges, A., "On Leonardo numbers", *Acta Mathematica Universitatis Comenianae*, vol. 89, no. 1, pp. 75-86, 2019.
- [4] Soykan, Y., "Generalized Leonardo numbers", *Journal of Progressive Research in Mathematics*, vol. 18, no. 4, pp. 58-84, 2021.
- [5] dos Santos Manguiera, M. C., Vieira, R. P. M., Alves, F. R. V., Catarino, P. M. M. C., "Leonardo's bivariate and complex polynomials", *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, vol. 28, no. 1, pp. 115-123, 2022.
- [6] D.D. Wall, "Fibonacci series modulo  $m$ ," *The American Mathematical Monthly*, vol. 67, no. 6, pp. 525-532, 1960.
- [7] Çelemoğlu, Ç., "Gauss Leonardo number", *7<sup>th</sup> Aegean International Conference on Applied Sciences*, December, 2022, pp. 100-106.
- [8] Andrews, G. E., *Number theory*. Courier Corporation, New York, 1994, pp. 52-115.
- [9] Özçevik, S. B., Dertli, A., "Gaussian Leonardo polynomials and applications of Leonardo numbers to coding theory", *Journal of Science and Arts*, vol. 23, no.4, 2023.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## An Investigation of the Effect of Waste Glass Additive on Strength and Microstructure Properties of Mortars

 Kadir GÜÇLÜER <sup>a,\*</sup>,  İzzeddin DÖNMEZ <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Department of Construction, Vocational School of Technical Sciences, Adiyaman University, Adiyaman, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [kgucluer@adiyaman.edu.tr](mailto:kgucluer@adiyaman.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1415588

### ABSTRACT

The importance of recycling waste in terms of ecological efficiency becomes more evident every day. Cement based mortars are one of the building materials that are widely used in building production. Especially the energy and raw materials consumed in cement production are important in terms of ecological efficiency. Savings in the amount of cement in cement-based mortars will be beneficial in this sense. With this perspective, in this study, the usability of waste glass in mortar production was investigated experimentally. Following the production stage of the test specimens, workability measurements were made first. Compressive and flexural strength tests were performed on the produced mortar samples to determine their strength properties. Microstructural examinations were carried out using the SEM technique. Unlike other studies, morphological findings were detailed with the help of EDX analyses. As a result, with the addition of waste glass, a decrease in the strength values of the test specimens was determined. It was also found that glass wastes with 10% substitution rate improved the workability.

**Keywords:** Waste glass, Microstructure, Strength

## Cam Atıkların Harçların Dayanım ve Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması

### Öz

Ekolojik verimlilik açısından atıkların geri dönüştürülmesinin önemi her geçen gün daha da belirginleşmektedir. Çimento esaslı harçlar, yapı üretiminde yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Özellikle çimento üretiminde tüketilen enerji ve hammadde ekolojik verimlilik açısından önemlidir. Çimento esaslı harçlarda çimento miktarında yapılacak tasarruflar bu anlamda faydalı olacaktır. Bu bakış açısıyla, bu çalışmada atık camın harç üretiminde kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Test numunelerinin üretim aşamasını takiben öncelikle işlenebilirlik ölçümleri yapılmıştır. Üretilen harç numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımı testleri gerçekleştirilerek dayanım özellikleri belirlenmiştir. Mikroyapı incelemeleri SEM tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak EDX analizleri yardımıyla morfolojik bulgular detaylandırılmıştır. Sonuç olarak, atık cam ilavesi ile test numunelerinin dayanım değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Ayrıca %10 ikame oranına sahip cam atıklarının işlenebilirliği artırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık cam, Mikroyapı, Dayanım

# **I. INTRODUCTION**

Construction wastes that arise due to the increase in the world population, industrial progress and the changes in the construction sector create an ecological danger in general, but also an urgent need for recycling [1]. In this sense, the construction industry, together with its many production branches, can offer great advantages in terms of the use and production of recycled materials [2].

Sodium-calcium-based glass wastes from crushed glass waste or building debris can be recycled again in the construction industry. The point to be considered here is to pay attention to the situation that the glass can be recycled again in demolition techniques. Particular attention should be paid to this point in glass waste that can be recycled in the form of aggregates and additives [3-7].

Although the glass does not experience any quality loss after the recycling process, a large amount of glass waste remains unrecyclable [8]. In Turkey, 1,608,669 tons of glass were produced in 2019 and 871,426 tons were put on the market. The recycled amount is 276,037 tons and the recycling rate is approximately 32% [9].

Different materials are used as cement substitute materials in construction materials such as cement-binding based mortar and concrete. Glass waste can also be evaluated within the scope of these substitute materials. However, the most important point to be considered here is the expectation of alkali-silica reaction originating from waste glass and aggregate [10]. However, when the literature data is examined, it is stated that this issue does not occur if the waste glass is finely ground under 75 microns [11]. In addition, no adverse effects were observed in the strength and durability of the mortar samples with waste glass additive up to 20% compared to the samples without additives [12].

Experimental and literature reviews on the use of waste glass as a cement replacement material have been investigated by various studies [13-21]. Salim and Morpanah [22] focused on the curing regime at different temperature levels in their studies, in which they replaced waste glass with a maximum of 20% cement. They state that the 10% substitution rate is suitable for use. Pachideh et al. [23], on the other hand, determined that there was a positive increase in mechanical properties as a result of their experimental study with waste glass, which they replaced with a maximum of 28% cement. Younes et al. [24], on the other hand, stated that the mechanical properties of the waste glass additive mortars at 20% cement substitution rate improved positively.

In line with this information, the aim of this study is to focus on the morphology and strength analysis of mortars replaced with 10%, 20% and 30% waste glass. The microstructures of the samples were analyzed using SEM and EDX techniques. In addition, physical and mechanical property findings were tried to be explained in this context.

## **II. MATERIALS and METHODS**

### **A. MATERIALS**

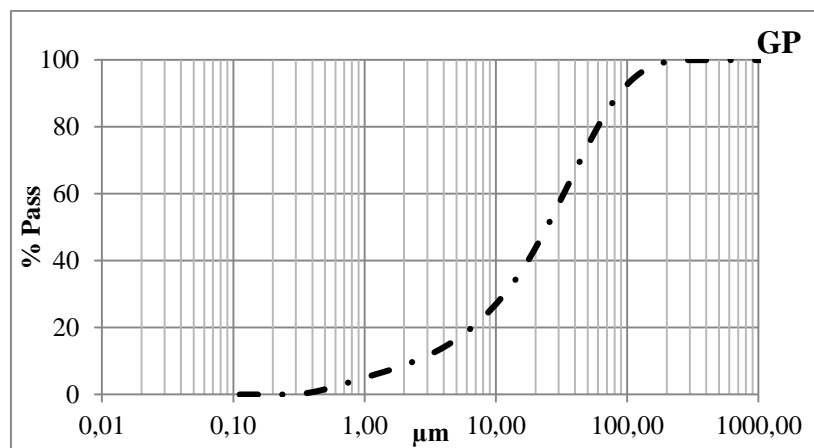
In this study, CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R type Portland cement conforming to EN 197-1 [25] was used. Chemical components of cement and waste glass are given in Table 1. For the preparation of mortar mixes, CEN standard sand in accordance with EN 196-1 [26] was used.

The waste glass used in this study was soda-lime based glass obtained from transparent glass bottles. The collected waste glass was first crushed coarsely, then the grinder was ground into powder (Figure 1).



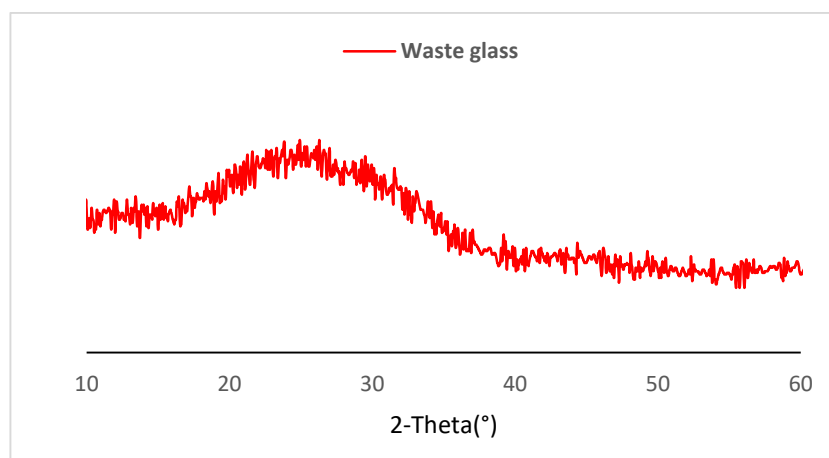
**Figure 1.** Glass waste powder

The graph of laser particle size analysis of the obtained waste glass is given in Figure 2. The laser grain size analysis values for the glass powder (GP) were determined as  $d_{10} = 2.504 \mu\text{m}$ ,  $d_{50} = 26.62 \mu\text{m}$ , and  $d_{90} = 98.54 \mu\text{m}$  with an average particle size of  $68 \mu\text{m}$ .

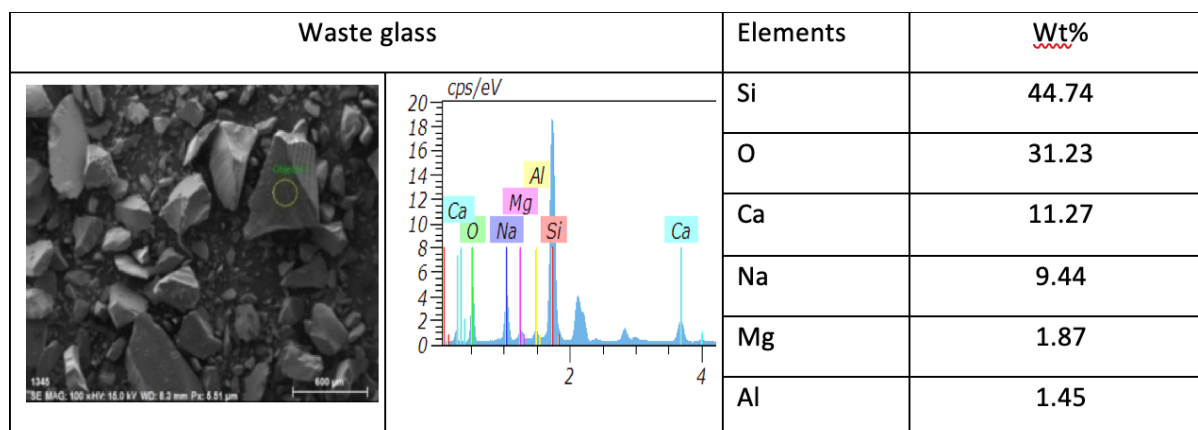


**Figure 2.** The particle size analysis of glass waste powder

The pozzolanic reactivity behavior of GP, which improves the mechanical and durability properties of concrete, is significantly influenced by the GP fineness [27]. XRD graph of the waste glass was examined, it was determined that the peak region between 20-30 Theta indicates that the waste glass powder has an amorphous structure. (Figure 3).



**Figure 3.** XRD graph of glass waste powder



*Figure 4. SEM-EDX analysis of GP*

In previous studies [28, 29], waste glass powder had a silica content of 59–75%, and it was similar in this study (Figure 4).

## B. METHODS

### B. 1. Sample Preparation

The EN 196-1 [26] standard was used in the preparation of the mortar. Mortars were then prepared in accordance with this standard using the following mixing procedure: firstly, for mortar production, water is first put into the mixer, which is then operated at low speed for 30 seconds while adding cement, then, CEN standard sand addition in the next 30 seconds is done, the mixer is run at high speed for 30 seconds, after 90 seconds, the device is stopped, the mortar adhering to the rim of the mixing bowl is mixed, and production is continued at high speed for another 60 seconds, and finally the production process is completed. The mix proportions of the studied mortars are summarized in Table 1.

*Table 1. Mixture proportions*

Mix	Binders		Binder/Aggregate	W/B	Water	Paste volume (%)
	Cement	GP				
<b>Control</b>	1		1/2.7	0.5	0.45	36.79
<b>GP5</b>	0.95	0.05	1/2.7	0.5	0.45	36.97
<b>GP10</b>	0.90	0.1	1/2.7	0.5	0.45	37.16
<b>GP15</b>	0.85	0.15	1/2.7	0.5	0.45	37.34

### B. 2. Flow Table Test

The flow indicates the workability of the sample. For this purpose, a flow test according to ASTM C1437 [30] was performed to evaluate how the substitution of waste glass powder in the mortars affected the flow. For this test, mortar samples were placed inside a truncated cone that was positioned in the middle

of the flow table. The flow table was dropped continuously for 25 times in 15 seconds after the mold had been slowly removed. The flowability index ( $\Gamma$ ) values, as described by Kim et al. [31], were calculated for each mortar mixture using the spread values measured after the test, using the following formula (1):

$$\Gamma = \frac{d_1 \cdot d_2 - d_0^2}{d_0^2} \quad (1)$$

where,  $d_0$  is the base internal diameter of the mold (100 mm),  $d_1$  is the largest spread diameter, and  $d_2$  is the diameter perpendicular to  $d_1$  (Figure 5).

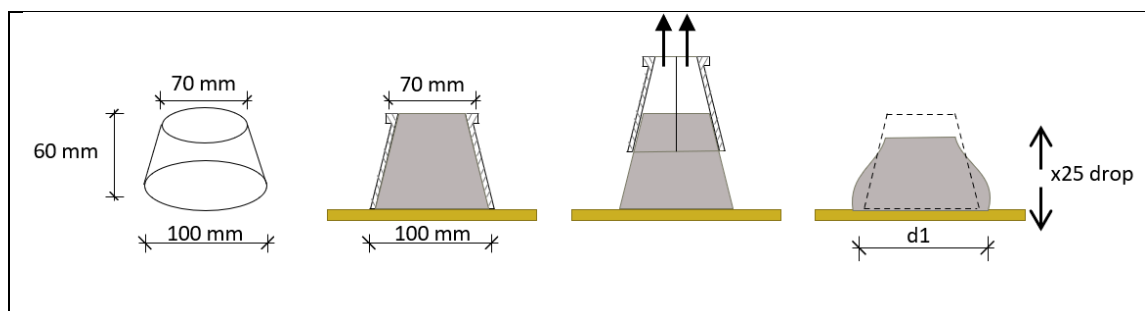


Figure 5. Flow table test

### B. 3. Compressive and Flexural Strength Tests

Using 7, 28, and 56 day samples of each mortar in accordance with EN 1015-11 [32], the compressive strength and flexural tensile tests were assessed in order to acquire and compare the mechanical properties. Prismatic samples ( $40 \times 40 \times 160$  mm) for each mortar were poured homogeneously and placed with a shaking table. The specimens were demolded approximately 24 hours after casting and then cured in the curing tank at  $20 \pm 2$  °C before being tested in lime-saturated water.

### B. 4. Microstructure Investigations

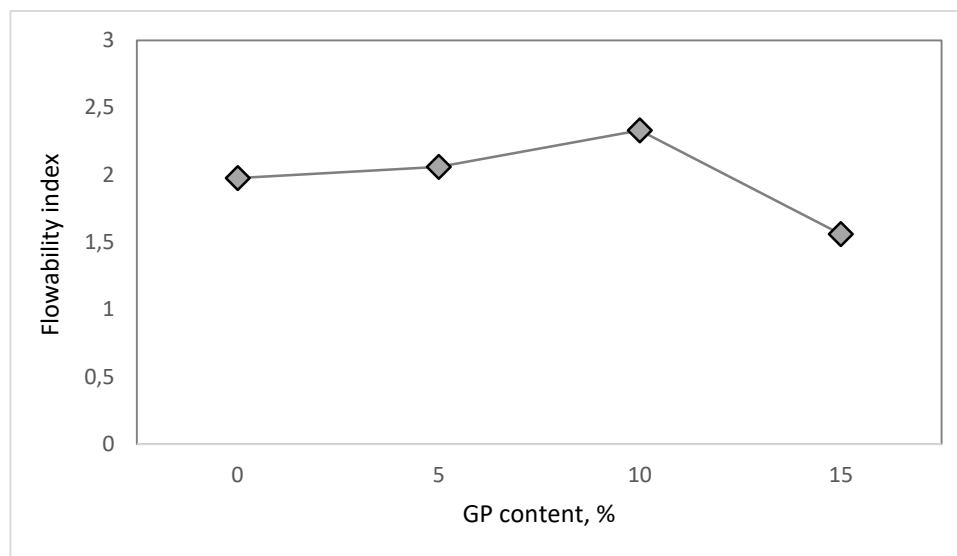
To evaluate the microstructure and surface morphology of hardened mortar samples, SEM and EDX analyses were performed using a scanning electron microscope (SEM). The samples were oven dried and coated with Au-Pd before imaging by the instrument supervisor. The samples were oven dried and coated with Au-Pd by the instrument supervisor, and images were taken using a Zeiss Evo10 device images were taken using a Zeiss Evo10 device at an EHT voltage of 15 kV with magnifications ranging from 7X to 100,000X

## III. RESULTS and DISCUSSION

### A. FLOW TABLE TEST RESULTS

Figure 6 presents the influence of waste glass powder on the workability of the mortar mixtures. It is noticed that the fresh Control mortar mixture presents a slump flow of 17.33 cm; when 5%, 10%, or 15% of the cement was replaced by waste glass powder, the slump flow was 17.50 cm, 18.33 cm, and 16 cm, respectively. As seen in Figure 6 an increase in spreading values was observed with a 5% and 10% substitution of waste glass powder in cement [33-35]. However, there was a decrease in workability with the 15% glass powder substitution to cement. Similar results were reported by Salim et al. [32]. The substitution of glass powder to cement above a certain ratio (15% for this study) reduced the rolling due to the angular shape of the glass powder particles compared to cement, and the cohesiveness of the

mixture decreased due to the decrease in the amount of cement. Accordingly, as a result of the decrease in the lubricating effect, the spread of the mixture remained low, while the material accumulation was higher.

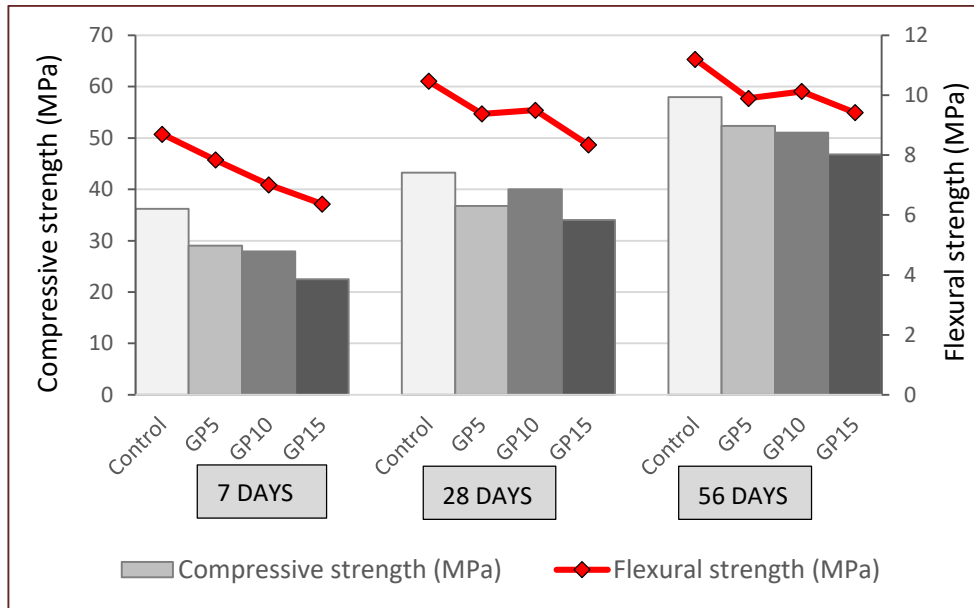


*Figure 6. Flowability index results*

## **B. COMPRESSIVE and FLEXURAL STRENGTH RESULTS**

Figure 7 shows the 7, 28 and 56-days compressive strengths of mortar samples. The use of waste glass powder replaced by cement led to a decrease in compressive strength at all curing ages and replacement ratios. This reduction in strength compared to the control mixture is more prominent at the 7-day samples than at the later ages (28- and 56-day). As seen in Figure 7, at 7 days, with the increase in GP content (5%–15%), the strength activity decreased (19.8%–39.8%). For 28 days, the reductions in strength activity index were 15%, 7.4%, and 21.2%, while for 56 days they were 9.7%, 12%, and 19.2% for using GP 5%, 10%, and 15%, respectively. This is due to increased C-S-H gels and enhanced Interfacial Transition Zone (ITZ) bond strength as a result of the pozzolanic reaction occurring at a later stage [36–40]. Table 8 shows that the porosity decreases with later ages (28 and 56 days). Among the mixtures containing waste glass powder, the GP5 mixtures had the highest compressive strength at the curing ages of 7 and 56 days, while it was the GP10 mixtures at 28 days. Figure 7 shows the flexural tensile strengths of mortars at 7, 28 and 56-days. The flexural tensile strengths of the samples varied from 6.37 to 11.2 MPa for all curing days. In general, with the increase in the waste glass powder substitution ratio, a decreasing trend was observed in the flexural tensile strengths. With %5, 10% and 15% glass powder substitution, there was a 9.9%, 19.4%, and 26.8% reduction in flexural tensile strengths compared to the control mixture for 7 days, respectively. For 28 days, there was a 10.4%, 9.3% and 20.3% reduction in flexural strengths. For 56 days, there was a 11.6%, 9.6% and 15.9% reduction in flexural strengths.

It can be concluded from these results that as the pozzolanic reactions developed, the flexural tensile strength reduction rates decreased compared to the control mixture. On the other hand, in the 7-day samples in which the pozzolanic reactions did not occur completely, the ratio of decrease in strength increased with the increase in the glass powder replacement rate. For the ultimate strength, the optimum waste glass powder substitution ratio in flexural tensile strength was determined to be 10%.



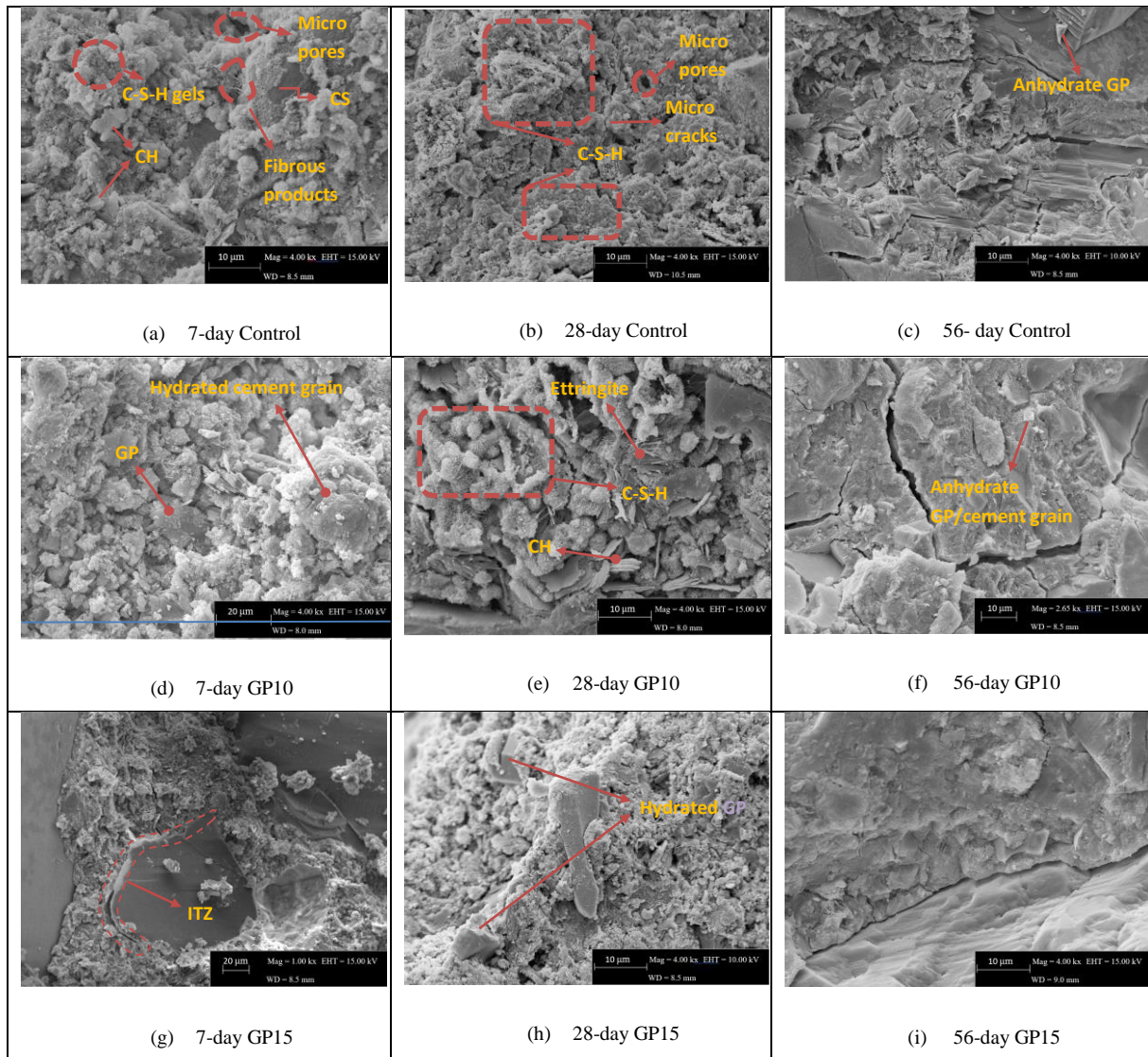
*Figure 7. Compressive and flexural test results*

## **B. MICROSTRUCTURE ANALYSIS RESULTS**

The scanning electron microscope (SEM) was performed to investigate the impact of glass powder substitution at various ratios on the microstructure of mortar samples. The SEM and EDX results are displayed in Figure 8 and 9 respectively. It has been reported that darker regions in SEM pictures contain more hydrated components than lighter regions [41]. Figure 8 shows that the 28- and 56-day samples are more densely structured than the 7-day samples.

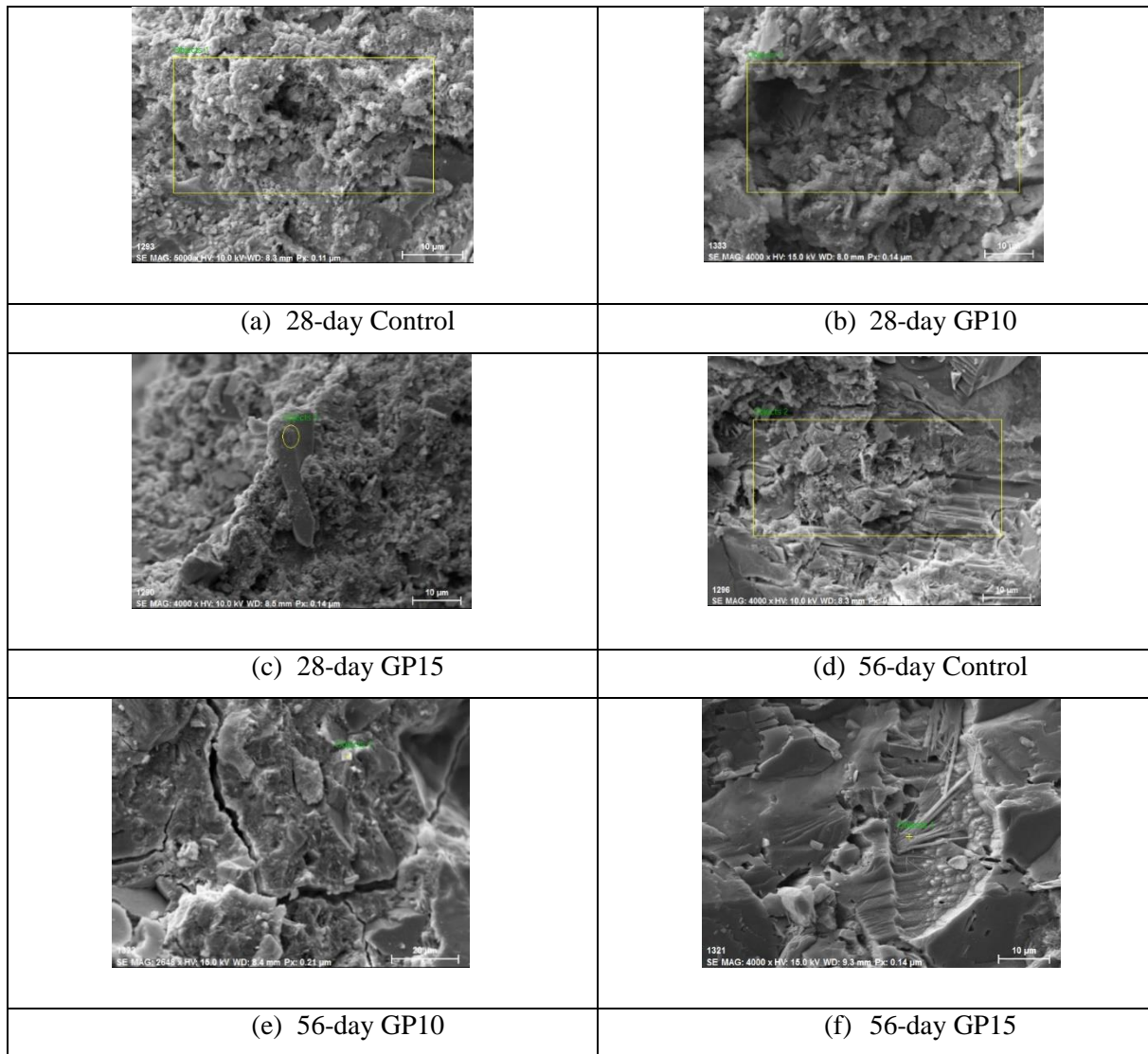
In the SEM images of the 7-day samples, fibrous products formed during the early hydration stage are seen, while in the 56-day samples, crumpled foils and dense inner products are dominant. Additionally, the samples' fibrillar morphology transformed into a crumpled morphology as the glass powder ratio grew. With the reaction of the pozzolanic material and the micro-filler effect of the glass powder additive, a dense structure is observed in the GP15 sample as shown in Figure 8 (i).





**Figure 8.** SEM analysis results

As seen in Figure 8 (f) and (i) that microcracks became more widespread as the percentage of glass powder in the 56-day samples increased. The negative effect of microcracks on the adherence between the matrix and aggregate phase was also reflected in the decrease of flexural strengths. The microstructures depicted in Figure 8 illustrate the internal composition of the incompletely hydrated paste. As the process of hydration advanced, the interior structure underwent gradual filling with hydration products. Concurrently, the occurrence of pozzolanic reactions led to the consumption of calcium hydroxides and the subsequent formation of a progressively denser texture.



**Figure 9.** SEM-EDX images of test samples

Energy-dispersive X-ray (EDX) analysis were used to examine the characteristics of the hydrated binder. 28 and 56 days of control, 10% and 15% glass powder containing samples are given Figure 9,10. EDX analyzed regions are marked on the SEM images. As the curing age of the specimens containing glass powder increased, there was a significant decrease in Ca/Si ratios compared to the control specimen. The reasons for this decrease are likely to be the high silica content of glass powder and the consumption of portlandite as a result of pozzolanic reactions. Some studies [42], [43] have reported an increase in C-S-H voids as well as high drying shrinkage with decreasing Ca/Si ratio. A similar finding was also observed in this study. The SEM image of the 56-day GP10 sample with the lowest Ca/Si ratio (0.97) shows an excess of cracks (Figure 10 (e)). Mg peaks in the EDX spectrum may be a marker of developing MgO. The internal stresses caused by the MgO component, which has a high expansion capacity, may have increased the crack formation. Additionally, Mg suggests the development of an alkali-activated gel. The low Ca/Si ratio generally favors the binding of alkalis by CSH and CASH gels [44]. In this study, as seen in the spectrum results of the samples containing glass powder, Na ions are observed which are not observed in the control mixtures. This may support the argument that C-S-H and C-A-S-H gels prevent ASR formation by binding alkali ions.

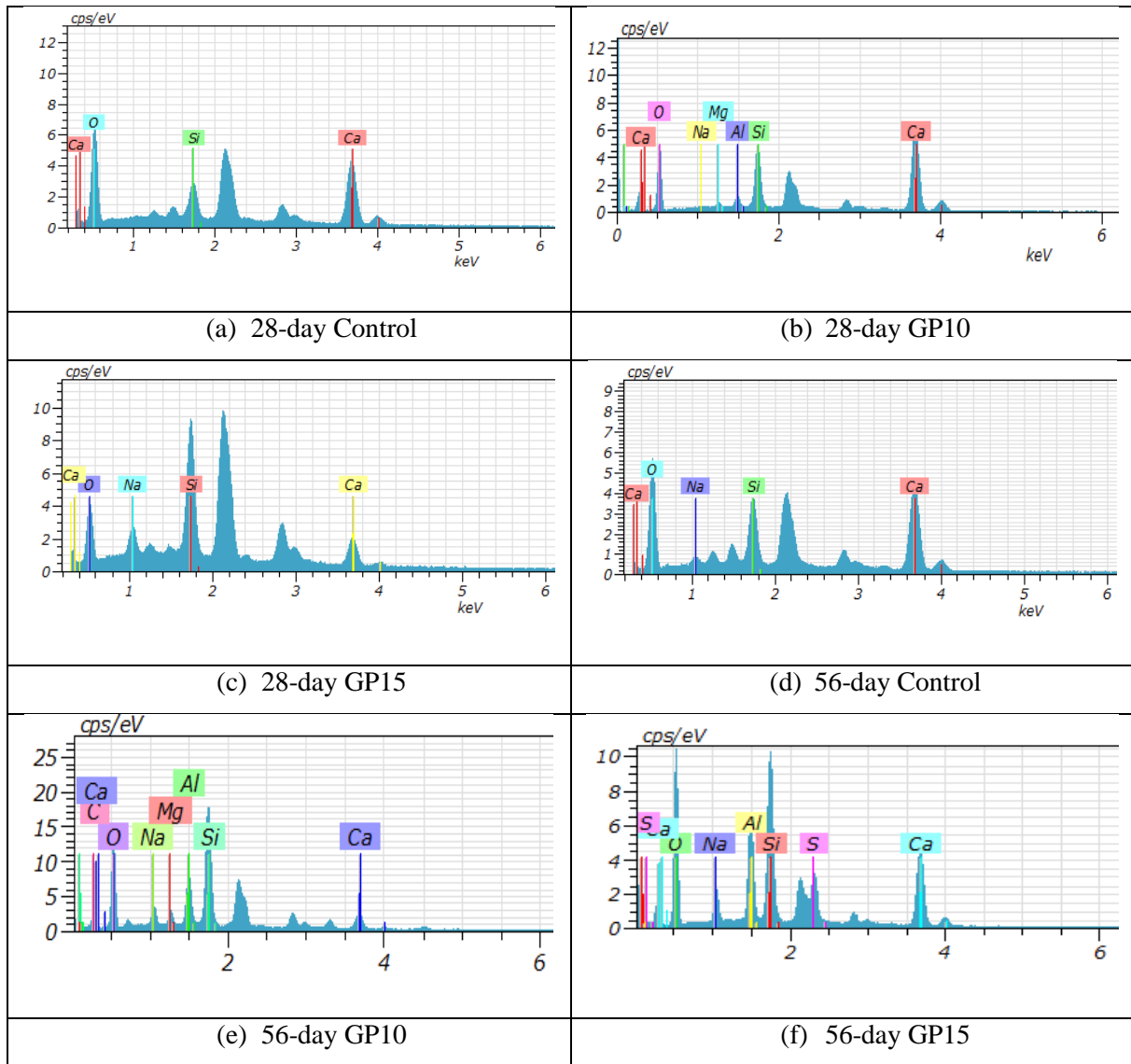


Figure 10. EDX results of test samples

## IV. CONCLUSION

By replacing waste glass with cement in mortar production, the following results were achieved;

- it was found that the compressive and flexural strength values of the mortar samples produced decreased compared to the control samples.
- In the fluidity values, which is an important property on fresh mortars and directly affects the workability, an increase in the fluidity index values was observed with the increase in the substitution rate of waste glass admixture. The highest viscosity values were obtained in the series where waste glass additive was used with 10% replacement rate.
- It has been observed that the development of micro cracks increases due to the increase in the amount of waste glass powder in the mortar, and therefore cement paste aggregate adherence is negatively affected by this situation.
- In the following hydration days, a significant decrease in Ca/Si ratios was detected depending on the silica content of the GP.
- It was observed that due to the increase in the waste glass additive ratio, the cement paste density existing in the microstructure was negatively affected and the cohesion in the cement paste-aggregate interface transition zone decreased.

- It is thought that the presence of C-A-S-H gels is important in the microstructure findings of the samples with waste glass additive.

In future studies, we think that detailed investigation of high temperature behavior or thermal properties in the production of cement-based building materials with waste glass additives is important in terms of recycling of wastes and ecological efficiency.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is supported by Adıyaman University Scientific Research Projects Coordination Office (Project no: TEBMYOMAP/2021-0003).

## **V. REFERENCES**

- [1] V. Letelier, B.I. Henriquez-Jara, M. Manosalva and G. Moriconi, “ Combined use of waste concrete and glass as a replacement for mortar raw materials,” *Waste Management*, vol. 94, July, pp. 107-119, 2019.
- [2] C. Shi, Y. Wu, C. Riefler and H. Wang, “ Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders,” *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 5, pp. 987-993, 2005.
- [3] V. Corinaldesi, G. Gnappi, G. Moriconi and A. Montenero, “Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars,” *Waste Management*, vol. 25, no. 2, pp. 197-201, 2005.
- [4] G. Dokuzlar, B. Dündar and Ü. Yurt, “ Effect of recycled asphalt waste on mechanical properties of alkali-activated mortars,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: *Journal of Process Mechanical Engineering*, 2023.
- [5] Ü. Yurt and F. Bekar, “ Comparative study of hazelnut-shell biomass ash and metakaolin to improve the performance of alkali-activated concrete: A sustainable greener alternative,” *Construction and Building Materials*, vol. 320, pp. 126230, 2022.
- [6] Ü. Yurt, “ High performance cementless composites from alkali activated GGBFS,” *Construction and Building Materials*, vol. 264, pp. 120222, 2020.
- [7] Ü. Yurt and M. Emiroğlu, “ Zeolit ikameli geopolimer betonlarda kür şartlarının etkileri,” *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol.8, no.2, pp.396-402, 2020.
- [8] G. Liu, M.V.A. Florea, H.J.H. Brouwers, “Characterization and performance of high volume recycled waste glass and ground granulated blast furnace slag or fly ash blended mortars,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 235, pp. 461-472, 2019.
- [9] Türkiye Cumhuriyeti Sayıştay Başkanlığı, “Plastik Atık Yönetimi Sayıştay Raporu,” Ocak 2022.
- [10] G. Chen, H. Lee, K.L. Young, P.L. Yue, A. Wong, T. Tao<sup>b</sup>, K.K. Choi, “Glass recycling in cement production—an innovative approach,” *Waste Management*, vol. 22, no.7, pp. 747-753, 2002.
- [11] Y. Shao, T. Lefort, S. Moras and D. Rodriguez, “Studies on concrete containing ground waste glass,” *Cement and Concrete Research* vol. 30, no. 1, pp. 91–100, 2000.
- [12] J. M. Ortega, V. Letelier, C. Solas, M. Miro, G. Moriconi, M.A. Climent and I. Snchez, “Influence of Waste Glass Powder Addition on the Pore Structure and Service Properties of Cement Mortars,” *Sustainability*, vol. 10, no. 3, 842, 2018.

- [13] M. Aly, M.S.J. Hashmia, A.G. Olabia, M. Messeiryb and A.I. Hussainc, “Effect of nano clay particles on mechanical, thermal and physical behaviours of waste-glass cement mortars,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 528, pp. 7991-7998, 2011.
- [14] L. Zhang and Y. Yue, “Influence of waste glass powder usage on the properties of alkali-activated slag mortars based on response surface methodology,” *Construction and Building Materials*, vol. 181, pp. 527-534, 2018.
- [15] G. Liu, M.V.A. Florea and H.J.H. Brouwers, “Performance evaluation of sustainable high strength mortars incorporating high volume waste glass as binder,” *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 574-588, 2019.
- [16] S. Hou, Z. Duan, Z. Mab and A. Singh, “Improvement on the properties of waste glass mortar with nanomaterials,” *Construction and Building Materials*, vol. 254, 118973, 2020.
- [17] C. B. Farinha, J. Brito and R. Veiga, “Incorporation of high contents of textile, acrylic and glass waste fibres in cement-based mortars. Influence on mortars’ fresh, mechanical and deformability behaviour,” *Construction and Building Materials*, vol. 303, 124424, 2021.
- [18] P. Penacho, J. Brito and M. R. Veiga, “Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate,” *Cement & Concrete Composites*, vol. 50, pp. 47-59, 2014.
- [19] J. Sun, L. Yue, K. Xu, R. He, X. Yao, M. Chen, T. Cai, X. Wang and Y. Wang, “Multi-objective optimisation for mortar containing activated waste glass powder,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 18, pp. 1391-1411, 2022.
- [20] M. Dayi, H.Y. Aruntaş, M. Çavuş, O. Şimşek, “Investigation of usability of zeolite, fly ash and waste glass materials in Portland composite cement production,” *Journal of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, vol. 28, no. 3, pp. 491-499, 2013.
- [21] B. Aktürk, M. Dayı, H.Y. Aruntaş, “Genleştirilmiş Cam Küre Agregası Katkılı Harçların Bazı Özelliklerinin İncelenmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 9, no. 1, 443-452, 2021.
- [22] M. Salim and M.A. Mosaberpanah, “Mechanical and durability properties of high-performance mortar containing binary mixes of cenosphere and waste glass powder under different curing regimes,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 602-617, 2021.
- [23] G. Pachideh, M. Gholhaki and H. Ketabdari, “Effect of pozzolanic wastes on mechanical properties, durability and microstructure of the cementitious mortars,” *Journal of Building Engineering*, vol. 29, 101178, 2020.
- [24] M.M. Younes, H.A. Abdel-Rahman and M. M. Khattab, “Utilization of rice husk ash and waste glass in the production of ternary blended cement mortar composites,” *Journal of Building Engineering*, vol. 20, no. November, pp. 42-50, 2018.
- [25] EN 197-1, “Cement Composition, specifications and conformity criteria for common cements,” 2011.
- [26] EN 196-1, “Methods of testing cement determination of strength,” 2016.
- [27] K. Afshinnia and P.R. Rangaraju, “Influence of fineness of ground recycled glass on mitigation of alkali-silica reaction in mortars,” *Construction and Building Materials*, vol. 81, pp. 257-267, 2015.
- [28] K. H. Tan and H. Du, “Use of waste glass as sand in mortar: Part I–Fresh, mechanical and durability properties,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 35, no. 1, pp. 109-117, 2013.

- [29] A. A. Aliabdo, M. E. Abd and A.Y. Aboshama, "Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 124, pp. 866-877, 2016.
- [30] ASTM, C 1437, "Standard test method for flow of hydraulic cement mortar," West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International, 2001.
- [31] Y. Y. Kim, H. J. Kong and V. C. Li, "Design of engineered cementitious composite suitable for wet-mixture shotcreting," *Materials Journal*, vol. 100, no. 6, pp. 511-518, 2003.
- [32] EN 1015-11, "Methods of test for mortar for masonry Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar," 2019.
- [33] T.C. Ling and C.S. Poon, "Properties of architectural mortar prepared with recycled glass with different particle sizes," *Materials & Design*, vol. 32, no. 5, pp. 2675-2684, 2011.
- [34] A.M. Rashad, "Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement," *Construction and Building Materials*, vol. 72, pp. 340-357, 2014.
- [35] T.C. Ling, C.S. Poon and S.C. Kou, "Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars," *Cement and Concrete Composites*, vol. 33, no. 8, pp. 848-854, 2011.
- [36] A. Shayanand A. Xu, "Value-added utilization of waste glass in concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 1, pp. 81-90, 2004.
- [37] Y. Shao, T. Lefort, S. Moras and D. Rodriguez, "Studies on concrete containing ground waste glass," *Cement and Concrete Research*, vol. 30, no. 1, pp. 91-100, 2000.
- [38] C. Shi, Y. Wu, C. Riefler and H. Wang, "Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders," *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 5, pp.987-93, 2005.
- [39] L.M. Federico and S.E. Chidiac, "Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete – critical review of treatment methods," *Cement and Concrete Composites*, vol. 31, no. 8, pp.606-610, 2009.
- [40] K.H. Tan and H. Du, "Use of waste glass as sand in mortar: Part I–Fresh, mechanical and durability properties," *Cement and Concrete Composites*, vol. 35, no. 1, pp. 109-117, 2013.
- [41] S. Diamond, "The microstructure of cement paste and concrete—a visual primer," *Cement and Concrete Composites*, vol. 26, no. 8, pp. 919-933, 2004.
- [42] X. Gao, Q.L. Yu and H.J.H. Brouwers, "Assessing the porosity and shrinkage of alkali activated slag-fly ash composites designed applying a packing model," *Construction and Building Materials*, vol. 119, pp. 175-184, 2016.
- [43] G. Liu, M.V.A. Florea and H.J.H. Brouwers, "Performance evaluation of sustainable high strength mortars incorporating high volume waste glass as binder," *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 574-588, 2019.
- [44] W. Chen and H.J.H. Brouwers, "Alkali binding in hydrated Portland cement paste," *Cement and Concrete Research*, vol. 40, no. 5, pp. 716-722, 2010.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## The Role and Functions of City Parks in the Adaptation Process of Refugees to the City: The Case of Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park

Seynan GÜLER <sup>a\*</sup>, Dicle OĞUZ <sup>b</sup>, Başak YURTSEVEN <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ankara University, Ankara, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ankara University, Ankara, TURKEY

<sup>c</sup> Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ankara University, Ankara, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: glrsynn@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1335785

### ABSTRACT

Today, migration mobility is experienced intensely all over the world. As refugees seek asylum in their countries of origin, the process of integration begins spontaneously, and urban parks, which are the most important part of the public space and provide the unity of the city dwellers, play an active role in this process. "How does the use of urban parks change with the unpredictable number of refugees all over the world and especially in Turkey and how does this situation find expression in Ankara?" is the starting point of the study, while "the fact that refugees are under difficult socio-cultural and economic conditions has led to the use of urban parks and negatively affected the use of parks by local people" is the hypothesis of the study. Within the scope of the study, Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park, located in Altındağ district of Ankara, which is one of the countries hosting the highest number of refugees in the world and has the highest Syrian population in Ankara, was selected as the sample area and the park usage tendencies of both refugees and local people, how they feel about using the park together and whether the park contributes to the adaptation process were examined through a face-to-face survey. According to the survey data; it has been determined that there is not a full harmonization between the refugees using Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park and the local people and refugee women have more difficulties in harmonization than refugee men. With this study, solution suggestions are presented to local governments at the point of planning and design of urban parks in countries hosting refugees.

**Keywords:** Urban park, Refugees, Integration to the city, Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park

## Mültecilerin Kente Uyum Sürecinde Kent Parklarının Rolü ve İşlevleri: Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park Örneği

### ÖZ

Günümüzde, göç hareketliliği tüm dünyada yoğun biçimde yaşanmaktadır. Mültecilerin, menşe ülkelere sığınması ile entegrasyon süreci kendiliğinden başlamakta, kamusal alanın en önemli parçası olan, kentlinin birlikteliğini sağlayan kent parkları bu süreçte etkin bir rol oynamaktadır. "Bugüne kadar tüm dünyada ve özellikle Türkiye'de mülteci sayısının öngörülmez rakamlara ulaşması ile kent parklarının kullanımı nasıl değişmekte ve Ankara'da bu durum nasıl ifade bulmaktadır?" çalışmanın çıkış noktası olurken, "mültecilerin zorlu sosyo kültürel ve ekonomik koşullar altında olması, kent parkı kullanımına yönelmiş, yerel halkın park kullanımını olumsuz yönde etkilemiştir" çalışmanın hipotezini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, dünyada en fazla mülteciye ev sahipliği yapan ülkelerin en başında yer alan, bununla birlikte Ankara'nın Suriyeli nüfusu en yüksek olan Altındağ ilçesinde bulunan Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park'ı örneklem alanı olarak seçilerek, hem mültecilerin hem de yerel halkın park kullanım eğilimleri, parkı birlikte kullanımına ilişkin ne hissettikleri ve uyum sürecinde parkın bir

katkısının bulunup bulunmadığı yüz yüze anket çalışması ile incelenmiştir. Anket verilerine göre; Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Parkı'nı kullanan mülteciler ile yerel halk arasında tam anlamıyla bir uyumun sağlanmadığı ve mülteci kadınların mülteci erkeklere göre uyum konusun da daha çok güçlük çektiği saptanmıştır. Bu çalışma ile mültecilere ev sahipliği yapan ülkelerde bulunan kent parklarının planlanma ve tasarım noktasında yerel yönetimlere çözüm önerileri sunulmaktadır.

*Anahtar Kelimeler: Kent parkı, Mülteci, Kente uyum, Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Parkı*

## **I. INTRODUCTION**

The real emergence of cities began with the Industrial Revolution. While the number of people living in cities in the 1900s was only 5-10% of the world's population, this rate increased to 50% in 2001 and is assumed to reach 2/3 of the entire population in 2025 [1]. Similar developments to those in the world are observed in Turkey. Especially after the 1950s, migration to cities accelerated. While the rate of people living in cities was 25% in 1950, this rate increased to 67.9% in 2022 [2]. As a result of rapid urbanization, a number of problems arise in cities. Among these, irregular construction comes first. Therefore, it is becoming increasingly difficult to create livable, sustainable, high-quality urban habitats/spaces in a certain order or plan. The change and development in settlements along with rapid urbanization has increased the population density, and this development process has led to the change of the ecological order and the deterioration of the balance between functional areas and nature. For this reason, the importance of city parks in urban areas has increased even more.

Urban parks are public spaces that symbolize urban culture, are seen as an expression of social change, and have a dynamic character as a result of political decisions. In addition to that, urban parks reflect the society and social behaviors of the society to which they belong, meeting the social needs of the society. From past to present, urban parks assume multiple functions like ecological, recreational, land organization, economy, health, aesthetics, education and socio-cultural functions [3]. At the same time, these parks are described as spaces where people from diverse classes, origins, and cultures can come together, create an environment of communication, share common experiences and build social cohesion [4]. Weber [5] describes urban parks as a place where refugees meet. Urban parks, where this relationship is best established, constitute the quality of both the social and physical environment [6]. In this context, it is important how the wants and needs of refugees are met and how these spaces are designed [6]. In addition to the many functions they have carried from the 21st century to the present day, urban parks have assumed a new mission that can be called "being a shelter", which can be evaluated in the context of social inclusion for many refugees. According to the United Nations Refugee Agency (UNCHR), which is one of the leading international aid organizations and transmits statistical data worldwide, there are 108.4 million forcibly displaced people worldwide as of the end of 2022. This is more than double the 42.7 million people forcibly displaced a decade ago and the highest number since World War II. Today, 35.3 million refugees, 62.5 million forcibly displaced persons from their countries of origin and residence, and 5.4 million asylum seekers are registered worldwide [7]. Turkey, which is at the top of the list according to the country's immigration data, hosts 3.6 million refugees [7].

Low et al. [8] emphasize that design methods and techniques in urban open green spaces, which have changed and are changing over time, cause access restrictions in public spaces, and that this restriction sometimes leads to problems such as social segregation or spatial segregation. Socio-spatial changes and transformations caused by migration increase these discriminations and segregations. However, as people transfer their identity and culture to different environments, loss of belonging may arise over time [9]. Place attachment causes the formation of emotional bonds depending on the depth of cultural, social and individual relationships that change throughout life. Shumaker and Taylor (1983) define place attachment as a positive emotional bond or relationship between individuals and the environment they live in [39]. On the other hand, the clustering tendency, which develops due to human action, is found in the majority of refugees [10]. In particular, refugees' insufficient opportunities for choice and the



conditions brought about by different social capital cause refugees to break away from the city as a whole and tend to cluster. At this point, what needs to be addressed is the coexistence of physical and social structures. Jane Jacobs, by introducing the policy of "spontaneous diversity" [11], aims to turn the diversity of public spaces into productive diversity [12].

While urban parks are a mirror of urban culture, the relationship between culture and urban parks is mutually reinforcing phenomenon. Urban culture is the process of formation of material or spiritual values produced by people living in the city by finding a common denominator [40]. The main thing is that a memory about the city is formed, and the cultural outputs produced become meaningful through people [40]. Urbanization, on the other hand, is largely accompanied by social change, but essentially the cultural change experienced by individuals in urban societies, and as a result, the society as a whole has an urban culture [40]. According to Erdönmez and Akı [13], this relationship is a product of social encounters and emerges depending on social formations. As the relationship between culture and public space strengthens, people adapt to the behaviors and values of different groups and begin to share public life [12]. In this respect, urban parks are important spaces for revealing both cultural and personal diversity. Changes in urban culture also affect the use of urban parks and people's perception [14]. One of the best examples of this is the "Chumleigh Gardens" in Burgess Park, London. In these gardens are used plants that are culturally associated with refugees, and in this context, refugees establish a direct relationship depending on the experiences they have lived in these areas [15]. In addition, "Garden 6-B" in New York, United States of America, is an urban open green space that reflects the cultural diversity of refugees and is mostly shaped by Polish immigrants [15]. By helping to reflect each culture, the garden both strengthens communication and helps to increase social diversity. In this context, it is important to evaluate the interaction between refugees and urban parks.

## **II. INTERACTION AND COHESION BETWEEN URBAN PARKS AND REFUGEES**

Urban parks play an important role in ensuring social peace and harmony, bringing together people from different social structures and cultures. According to Rishbeth et al. [16], public spaces conduce to reveal refugees' political claims and determine their citizenship regimes. Similarly, for Thompson [17], urban parks are places where refugees and locals coexist and integrate with natural life. Social structures are described as practices that can reproduce, change and adapt depending on collective experiences [18]. According to Gürkaş [18], these practices are a form of placemaking and are shaped by both mental and bodily relations that build on old habits and communicate with new places. This is because, after displacement, refugees engage in a process of recognition-employment and practices of placemaking emerge. Placemaking practices show how the relationships or ties and behavioral networks developed in a new environment are shaped [18]. In establishing these behavioral networks, perception comes to the fore. For example, according to a study conducted in Austria, it was found that refugees have a symbol in the places where they live, and that they use the urban open green spaces around them in ways very different from those designed by planners [19]. Urban parks are physical spaces that reflect the identity of people, strengthen the urban space, and enable people to establish a relationship with history and culture [12]. Spatial and social formations coexist in urban parks, which determines the interaction between people of different social structures. Ulrich [20] emphasizes that in studies conducted on urban parks, people with different social structures and cultures mostly prefer natural or natural-looking areas. In particular, users' perceptions of aesthetics and safety, the spatial qualities of urban parks, their experiences, symbolic interactions and cultural background determine these choices [6].

Certain spatial characteristics of urban parks such as their form, texture, and plants have a great influence on refugees' preferences and behaviors in using the space. Thus, while refugees communicate with the space, they both create sense of place and shape their daily life routines with the physical environment [22]. For example, the "Maximilian City Park", located in the city center of Brussels, close to the immigration office, serves as a shelter for refugees (Figure 1). For this reason, many of its functions are used by refugee groups outside of their characteristics. The fountain located in the park serves as a

shower for the refugees, while the children's playground with its wide file has become a bed for refugee children. The fence, which was also used as a boundary element in the parks, has become an element where refugees hang their clothes or use it as a shelf [29]. Thus, while the park was a green spot in the city until a few years ago, it has become a shelter for many refugees as a result of the migration phenomenon. In addition, refugees give importance to the natural appearance of urban parks.



*Figure 1. Maximilian City Park, Brussels [22].*

In studies conducted in the U.S.A., the fact that houses close to urban parks are more valuable and preferable for refugees and that refugees living in places where there are no urban open green areas do not like these areas express the significance of natural landscapes for refugees [6]. Zube and Pitt [26] found that Yugoslavs prefer natural landscapes more. However, it has been observed that the water scene is also important for refugees, and they use urban parks close to the water more [29] (Figure 2). For example, "Lincoln Park" in Chicago was found to be preferred by refugees because it is close to the lake and has lots of pools [29]. In addition, it has been stated that refugees have a multi-sensory experience in the "Park of Nations" located on the edge of the Tagus River in Lisbon, where they spend time away from the built environment [30].



*Figure 2. Park of Nations, Lisbon Expo 98 [29].*

According to Özgüner [6], refugees attach more importance to places with symbolic and cultural meaning due to their different social structures. Refugees' values, religious beliefs and rules affect their spatial perceptions. Urban parks are also spaces that shape the daily lifestyles of users. In this respect, the fact that refugees maintain the values of their lifestyles and have symbols of their own culture. This leads refugees to feel connected to and adapt to their places of origin. Also, according to Temel and Kahraman [33], this process in which refugees try to perceive public spaces can be described as a process in which they carry their habits and daily life routines to the areas they migrate to and want to create a habitual social space or gain a place. Thus, cultural integration is created. One of the best examples of this is the "National Historical Park" in Philadelphia. In a study by Low et al [8], it was found that the reason why refugees use the urban park is the presence of symbols of their own culture. Furthermore, according to a study by Mazumdar and Mazumdar [34], refugees grow plants of their own culture in the areas they live and use. In this way, a sense of belonging is developed, and cultural diversity is created (Figure 3).



**Figure 3.** *Some symbolic elements used by immigrants in their gardens [34].*

When the studies on the behavioral patterns of refugees are examined, it is seen that recreational activities and usage preferences created in urban open green spaces greatly affect the behavioral patterns of refugees, in this context social integration is provided [21]. Herein, where refugees belong and how they should behave towards other groups in the social structure emerges [22]. In this context, it seems that some regional studies have been carried out. For example, the city of Sheffield in the UK became the first "City of Sanctuary" for asylum seekers and refugees in 2007 with the support of the city council. The "Viewfinder Project" was realized in the city of Sheffield, in the UK and Germany to comprehend the personal ideas and reactions of refugees in nature and to facilitate adaptation with the urbanites of that region [16]. Within this scope, both educational opportunities and social activities were organized for refugees in urban parks. Refugees have stepped into their geography by participating in language courses, running, walking and cycling groups, sports events, gardening projects, outdoor organizations, picnics and excursions, and meditation. Such organizations were able to support not only the language and physical needs of refugees but also their mental health. Refugees felt most comfortable in activities such as football matches, gardening and photography and learned new things depending on these activities. For refugees, seeing a growing seed was a motivation to connect to life [16].

In addition, some implementation projects have also been carried out to help refugees interact with each other. "Superkilen Public Park", designed in the Norrebro district of Copenhagen, is considered as an urban marketplace that helps the social participation of refugees by including different recreational activities, allowing local groups and refugees to spend time together [24] (Figure 4). Superkilen, a park mostly used by immigrants from Switzerland, Belgium, Morocco, Indonesia, Romania and Morocco, is a meeting point and includes various playgrounds and equipment that define the refugees' own cultures [24]. In addition, three different zones have been identified within the park and designs have been made for the cultural and sports activities of refugees, thus aiming to provide a three-dimensional experience [24].



**Figure 4.** *Black Market Area-Meeting points of immigrants, Superkilen Public Park [24].*

Gobster [25] conducted a study on "Lincoln Park" in Chicago and found that refugees generally use the urban park for walking, picnicking and barbecuing, while Latino groups prefer this park for barbecuing and Black refugees for socializing (Figure 5). These studies on the recreational relations of refugees in urban parks show that refugees shape their behavior according to their cultural structures, wants and needs.



*Figure 5. Recreational activities held in Lincoln Park [25].*

At the same time, urban parks improve refugees' social interactions with other people through recreational activities. Seeland et al. [26], in their study on the social interaction between Swedish people and refugee students in Zurich, it was determined that refugees made friends more easily in urban parks and that urban parks improved the communication environment. Moreover, refugees' easy access to urban parks is also a substantial factor affecting their behavior. Especially close transportation distances and the observance of universal design principles change the use of urban parks. For example, "Superkilen Public Park" connects the surrounding neighborhoods on the east-west axis to ensure easy accessibility of refugees to the park, and aims to make it easier for refugees to reach the area.

When looked at the usage patterns of urban parks, the issue of personal safety also comes to the fore. The issue of security becomes important in shaping the feelings and thoughts of refugees, the spatial quality and environmental conditions of urban parks affect the sense of security, and this situation reveals the fear of crime [31]. According to some research, urban parks sometimes create social segregation in societies that include groups with different socio-cultural backgrounds, thus the usage patterns of urban parks vary. Park users feel uncomfortable due to this situation and the recreational experiences of users decrease [25]. In a study conducted in the UK, it was observed that the issue of personal safety restricts the use of parks and sometimes poses a threat to people. For example, Superkilen Public Park is one of the designs that draw attention to the personal safety of refugees and has some decisions regarding this issue. To ensure the safety of refugees in the urban park, an open view was created, and large plants and shrubs were not included [32]. Plants such as thuja and shrubs were arranged correctly, and seating elements were mostly placed in the central part of the park [32]. Thus, the creation of enclosed spaces was prevented (Figure 6).



*Figure 6. The design of Superkilen Public Park [32].*

As seen in the examples analyzed, urban parks are seen as places that aim to sustain refugees' friends and family relationships, build strong social and emotional bonds, reflect their religious beliefs, traditions and cultures, and evoke memories. On the other hand, Turkey has been experiencing a high level of migration since 2011 with the "open door" policy it has adopted, resulting in changes in economic, social and cultural life. Multicultural life, which is a natural consequence of migration movements, brings new interactions (communication, acceptance, adaptation, etc.) between the newly

migrated population and the city and its people, and the solution of the problems arising in this context is of great importance [35].

Emphasizing the value of city parks, one of the most important parts of public spaces, for both cities and individuals; examining parks as one of the public spaces that refugees frequently use in the city; Drawing attention to parks as one of the places where the foundations of social unity and the interaction of individuals occur are the starting points of this study. The importance of city parks in the world and in Turkey has increased with migration mobility, their role has changed, and they have become important public spaces where social unity takes place. It is thought that forced migration movements negatively affect the use of city parks by both refugees and local people living in the host country. In this context, the general problems of the research are the dramatic increase in the number of refugees in the world and in Turkey, the inability of refugees to easily adapt to the country and social life in which they take refuge, and the local people's inability to easily accept language, culture and lifestyle differences as well as economic reasons. In this context, the aim of the study is to determine the use of city parks by refugees, who attract attention in the world and in our country with their intense migration movements, and the features of the city parks, as well as the existing functions they have added or lost. The hypothesis of the research is stated as "the fact that refugees are under difficult economic conditions causes refugees to shelter in city parks and interact with other people in city parks, while this negatively affects the park usage habits of local people." Within the scope of the relevant hypothesis, "How does this situation find expression in the Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park located in Ankara, the capital of Turkey, during the adaptation process?" and "What kind of harmony is achieved between both groups using the park?" constitute the questions of the research. The scope of the research is the political decisions of the countries, their approaches to refugee movements, the services they offer, and most importantly, how the harmony between local people and refugees can be achieved, and what kind of activities and projects should be developed in city parks, which are one of the grounds where this harmony can be established most easily.

### **III. MATERIAL VE METHODS**

In this study, Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park located in Altındağ district of Ankara is examined. The park, which is located close to the center of Ankara, has changed its user profile and has become a park where many refugees, especially Syrians, spend a lot of time. In order to determine the opinions of park users, a face-to-face survey was conducted with 103 people who constituted the material of the study, statistical analyzes were made and original findings were obtained.

The participants to whom the survey was applied were determined as refugees and local people living in Ulubey District, and the sample size was determined according to 2022 population data. According to 2022 data received from TÜİK, the total population of Altındağ consists of 413,994 people (208,653 men, 205,341 women), and the total population of Ulubey District in 2022 consists of 4544 people (2,336 men, 2,208 women). Based on this, in the survey study to be conducted in the sample area, the population size (N) in the sample group including "refugees and local people" was determined as 4544 people, and the number of participants was calculated using the following formula [38]:

$$\text{Formula: } n = \frac{N \cdot t^2 \cdot p \cdot q}{(d^2 \cdot (N-1) + t^2 \cdot p \cdot q)}$$

**N:** Population size (number of universe units)

**n:** Sample size (number of individuals to be sampled)

**p:** Probability of the event of interest occurring

**q:** 1-p (or the probability of not seeing the event of interest)

**d:** sampling error rate

**t:** 95% confidence level (z test value 1.96)

**ta, sd:** Critical value of t table according to degrees of freedom at  $\alpha$  significance level

$$n = \frac{(4544 \cdot 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5)}{(0,1^2 \cdot 4544 + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5)}$$

**n=94,05**

In the study, the total number of individuals (n) to be sampled was determined to be at least 94.05 (refugees and local people), approximately 94 people. In the study, the margin of error was taken as 0.1 (10%) and the reliability was taken as 95%. In the study, p and q values (0.5) were taken as equal to each other. Sample sizes to be drawn from different universe sizes were calculated. In the calculations made according to the formula, it was found that at least 94 surveys were sufficient. However, in order to increase the validity and reliability of the survey, it was decided to direct the survey questions randomly and face to face to "103 people" who could be reached in the field. In the survey conducted in Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park, which constitutes the sample area of the research, it was observed that the number of refugees using the area was more than the local population, and it was decided that refugees would be the predominant factor in determining the participants who were surveyed.

The prepared questionnaire form consists of 31 questions in total, including optional and open-ended questions. In the first part of the questionnaire form, there are 10 questions about the profiles and demographic structures of park users. The other 21 questions in the other part of the questionnaire form are questions about the interaction and adaptation of both groups using the park; local people and refugees with each other in order to achieve the purpose of the study. The survey was conducted at different time intervals on weekdays (46%) and weekends (54%), including September and December. The survey was decided to be carried out at specified time intervals and did not require repetition in this respect. Each survey lasted approximately 15 minutes. The survey data were evaluated using IBM SPSS (Statistical Package Program for Social Sciences) 23.0 package program. While evaluating the study data, frequency distribution (number, percentage) was given for categorical variables. Chi-square test was used to examine the relationship between categorical variables. With the answers given between the questions;  $p < 0.05$  value was accepted for significance.

## A. FIELD OF STUDY

Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park is located in Altındağ district in the northwest of Ankara. Altındağ district is located close to Ankara's major urban centers and Ulus, Sıhhiye, Cebeci and Sıtelер districts, which are generally densely populated and frequented by people to meet their needs (Figure 7). The Altındağ district of Ankara, which today serves 26 neighborhoods, has a total area of 157.47 km<sup>2</sup>, a total population of 413,994 people and includes a significant part of the historical city center of Ankara [47].

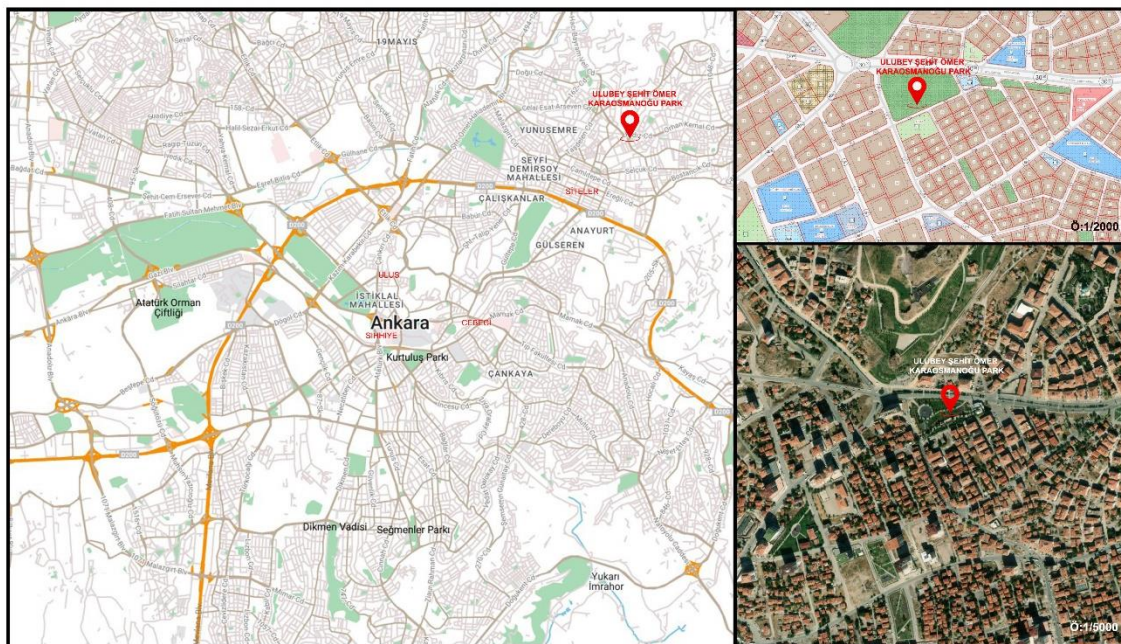


Figure 7. Location of the Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park [48].

Three neighborhoods in Altındağ district; Alemdağ, Önder and Ulubey neighborhoods are the neighborhoods with the highest refugee population in Ankara [41]. Especially in the Alemdağ and Ulubey neighborhoods, where Syrians have taken up residence, approximately 62.8% of the population is Syrian. This neighborhood is referred to as the 'Aleppo of Ankara'. There are several reasons for the dense refugee population in these neighborhoods. The physical location of the region is linked to the job opportunities created by the industrial area and its urban and economic level [42]. The fact that refugees go to their relatives who migrated before them and the desire to be together with relatives also makes the region a center of attraction [43]. According to the Grand National Assembly of Turkey (TBMM) Migration and Harmonization Report; around 9-10 thousand Syrians lived in the Ulubey neighborhood until June 2017 [44]. In order to survive, more than 80% of this population works in various businesses in the Siteler region, which is very close to their neighborhood. These numbers exceed the number of the local population. The number of Syrian shopkeepers has increased, especially in the neighborhoods, and workplaces with Arabic signs have appeared on the streets. Here, Syrians make up two-thirds of the local population [45].

Ulubey Şehit Ömer Karaoşmanoğlu Park is one of the 28 park projects implemented by Altındağ Municipality to green Altındağ. The park was built on an area of 23,000 m<sup>2</sup> and was opened to visitors in 2013 after its construction was completed in about three months by demolishing the slums in the area [46]. Ulubey Şehit Ömer Karaoşmanoğlu Park is intended to be functional in terms of aesthetics and health. There is approximately 8000 m<sup>2</sup> of green space within the park area. In the park area, 1 children's playground (900 m<sup>2</sup>) is located in the center of the main axis, while 1 each of 9 sets of outdoor exercise elements (100 m<sup>2</sup> and 200 m<sup>2</sup>) and various urban equipment elements are located in the entrance areas of the park. The security unit located in the eastern part of the project has not yet been realized. There is a jogging track (375 m) and a recreation area (1300 m<sup>2</sup>) along the park boundary. In the vegetative landscaping project of the park, 43 coniferous trees (*Picea excelsa*, *Picea pungens* 'glauca' and *Cupressus arizonica* 'glauca'), 185 leafy trees (*Betula alba*, *Tilia tomentosa*, *Platanus orientalis*, *Prunus cerasifera* 'pissardii nigra', *Robinia pseudoacacia* 'umbraculifera') and 4697 shrubs and vines (*Juniperus sabina*, *Euonymus* 'old gold', *Berberis thunbergii* 'atropurpurea nana', *Berberis thunbergii* 'red rocket', *Rosa* spp, *Lavandula officinalis*, *Ampelopsis quinquefolia* and seasonal flowers) was used [36]. There is 1 place of worship right next to the park area, and a commercial building, cafe and restaurant located right across it (Figure 8).

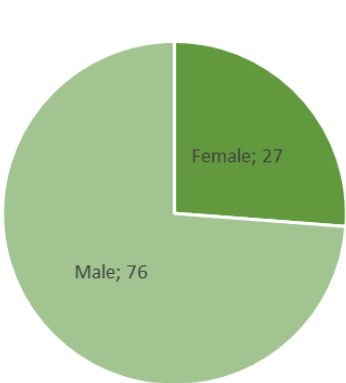


**Figure 8.** Master Plan of Ulubey Şehit Ömer Karaoşmanoğlu Park [36].

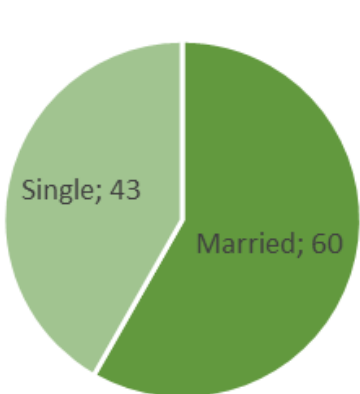
## **IV. FINDINGS**

A survey was conducted in Ulubey Şehit Ömer Karaoşmanoğlu Park with 103 people to determine the opinions of people who use the park. The graphs shown below shows the questions at the beginning of the questionnaire related to the profile and demographic characteristics of the park users.

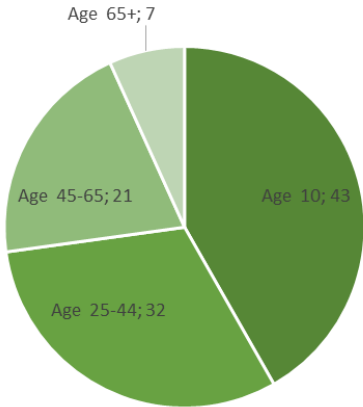
People who use the park are 76 male and 27 are female (Figure 9). 60 park users are married and 43 are single (Figure 10). Looking at the age range of males and females using the park, the most common age group is between 10 and 24 years old (Figure 11).



**Figure 9.** Gender of the park users.

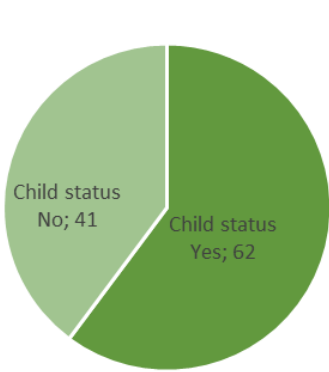


**Figure 10.** Marital status of the park users.

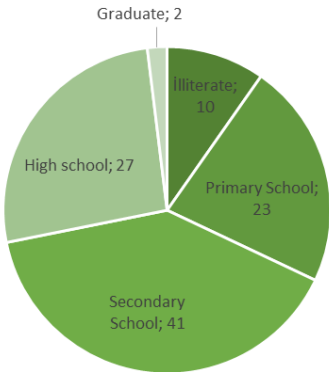


**Figure 11.** Age of the park users.

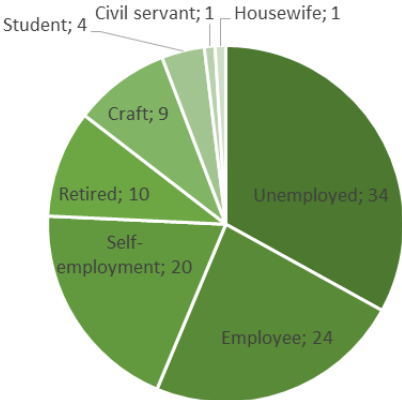
While 62 park users have children, 41 have no children (Figure 12). Considering the educational level of park users, the number of people with secondary education is higher than the number of people with other educational levels (Figure 13). When we look at the working life of people who use the park; 34 people are unemployed, 10 people are retired, 4 people are students, 1 person is a housewife, while the rest of the people stated that they can find a job (Figure 14). Furthermore, when we look at the income status of people who use the park; the number of people working below the minimum wage is 53, the number of people earning minimum wage is 22, the number of people working between 3 thousand TL and 5 thousand TL is 26, and the number of people who earn between 5000 TL and maximum 8000 TL is only 2.



**Figure 12.** Child status of the park users.



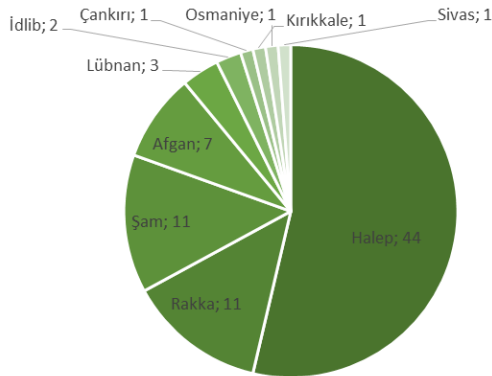
**Figure 13.** Education level of the park users.



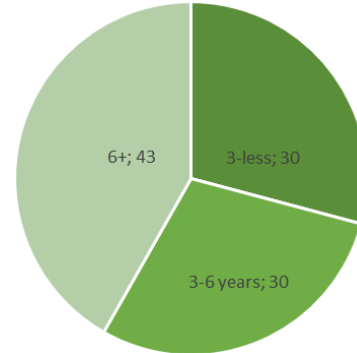
**Figure 14.** Occupations of the park users.



When we look at the data on the identities of all respondents, locals and refugees, and their lives in Ankara, 82 people using the park have a different nationality, while 21 people are locals. The refugees using the park came from various cities in Syria. Accordingly, 43 people in total Syrian refugees; come from Halep, Rakka, Şam and İdlib (Figure 15). 43 park users have lived in Ankara for more than 6 years (Figure 16).

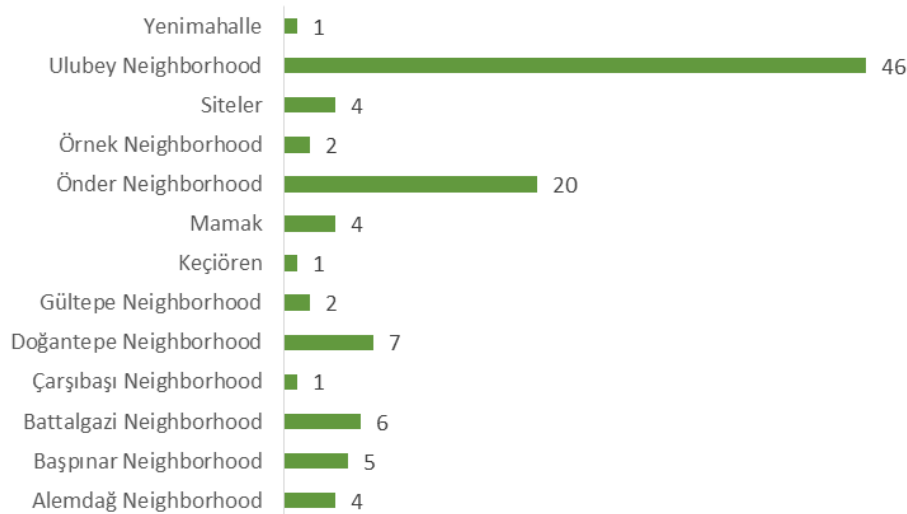


**Figure 15.** Identities of the park users.



**Figure 16.** Length of stay in Ankara of the park users.

The highest number of people using the park is 46, residing in Ulubey Neighborhood. The second neighborhood following this figure is Önder Neighborhood (Figure 17).

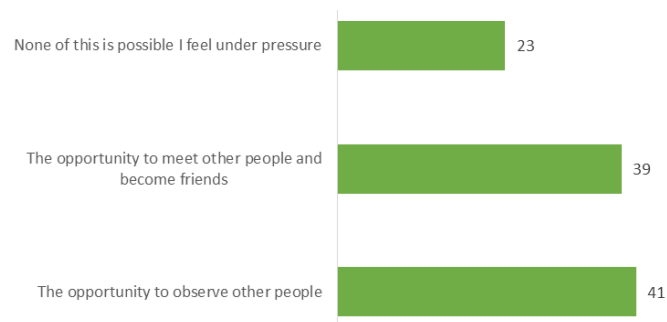


**Figure 17.** Information on where the park users reside.

When we look at the data on park use of the people who use the park, 37 people come to the park with their families, while 30 people prefer to come to the park with their friends. Most of the people who come to the park (84 people) prefer to walk. 11 people use public transportation, 7 people come by bicycle and 1 person comes by car. 38 people stated that they spend time in the park at all times of the day. 9 people prefer to use the park in the morning, 35 people prefer to use the park at noon, 9 people prefer to use the park in the evening and 10 people prefer to use the park at night. Users mostly use the park for recreation (47 people), followed by 23 people who mostly use the children's playground. The main reasons why people come to the park are shown in the figure below (Figure 18). 19 people use this park because it is the closest park to their home. This figure is followed by reasons such as sitting, watching the environment, finding friends, playing with their children and getting fresh air. While 42 park users stated that they observed other people in the park, 39 stated that they met other people and became friends, 23 stated that they felt under pressure while using the park (Figure 19).

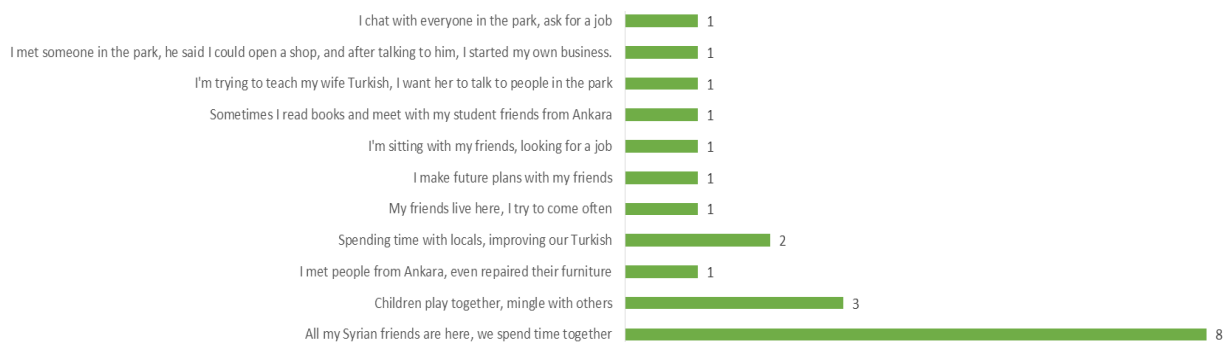


**Figure 18.** Reasons why people come to the park.

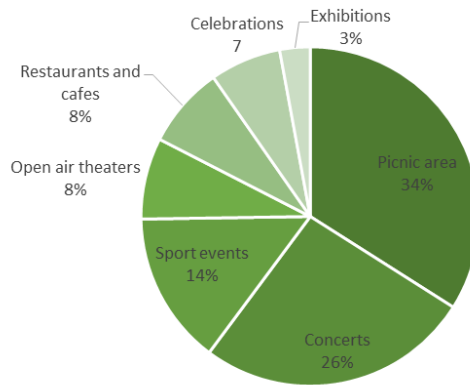


**Figure 19.** Things to do while spending time in the park.

The answers to the questions about satisfaction with using the park, sociability and whether the park contributed to the adaptation process are shown in the figures below. 93 people out of 103 people who use the park are happy to use the park, while 10 people are not satisfied with using the park. 4 people who are not satisfied with using the park do not find the park safe, 3 people stated that they are uncomfortable with the fact that Syrians use the park more. 8 of the refugees who use the park state that they meet their Syrian friends here and spend time together, 3 of them want their children to mingle with other children by asking their own children to the park, 5 of them state that they go out to look for a job so that they can meet others and even find a job, 2 of them state that they often come to the park to learn Turkish better (Figure 20). Among the most desired activities while using park, 35 people stated that there should be picnic areas, 27 people stated that there should be a concert area, 8 people stated that there should be open air theatres, 8 people stated that there should be restaurants and cafes, and 10 people stated that there should be celebrations and exhibitions (Figure 21).

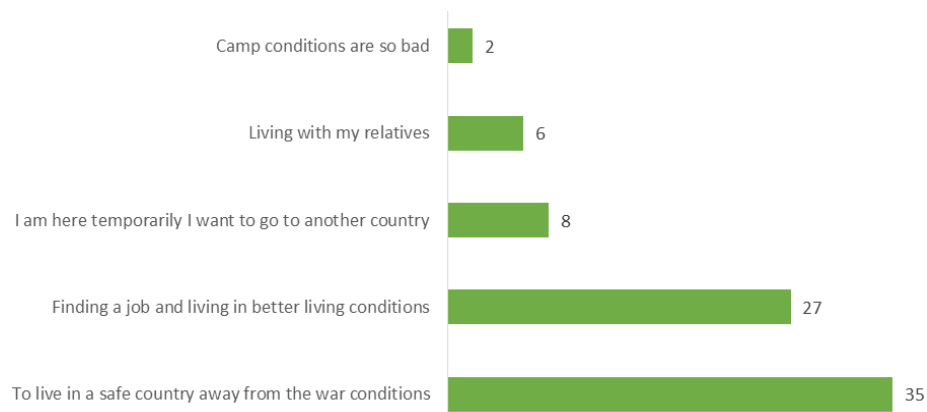


**Figure 20.** Contribution to acclimatization in Ankara through the eyes of refugees.



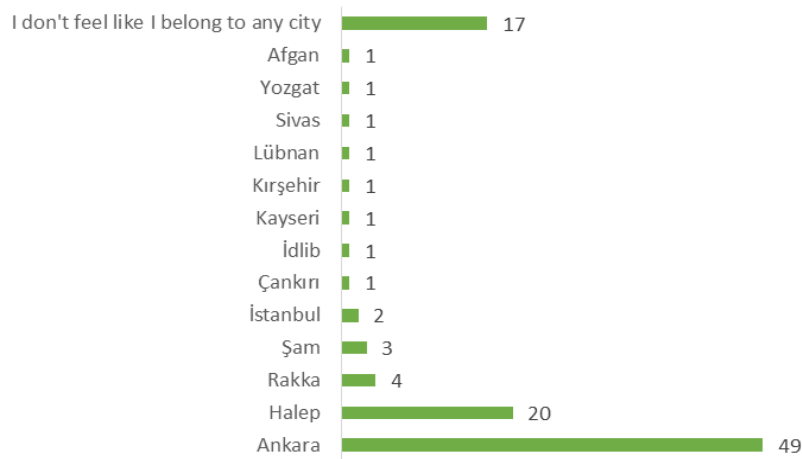
**Figure 21.** *Desired place/activities in the park refugees.*

Data on the future plans of the people who use the park, whether they are happy to live together with other individuals, and their sense of belonging to the place are shown in the figures below. Of the 103 people who used the park, 75 of them migrated from another country and 3 of them migrated from another city. The main reason why refugees come to Turkey and Ankara is the war conditions. 33 people stated that they came to Turkey to escape from the war, 27 people stated that they came to Turkey to live in better conditions and to find a job in Ankara. 2 people stated that the camp conditions are bad, 6 people stated that their relatives live here, 8 people stated that they want to stay here temporarily and go to other countries; Germany, France, Belgium etc. (Figure 22).



**Figure 22.** *Reason for coming to Turkey and Ankara / refugees.*

25 of the refugees applied for Turkish citizenship and 53 did not apply. While 16 of the refugees want to return to their own countries, 62 people want to return. Among the local people who use the park, 5 people state that they do not find the park safe anymore, 1 person states that refugees do not use the park cleanly, 2 people state that it is easy for them to go to their countries during the holidays and come back here again and that the war is over, 1 person states that refugees have a negative impact on our economy and 1 person states that they only use the park early in the morning and are afraid. The responses to the question of where do you feel you belong to are as follows: 17 people who no longer feel they belong to any city, and 49 people who feel they are from Ankara (Figure 23).



**Figure 23.** Data on park users' Sense of Belonging.

The chi-square test was used in the survey data to obtain meaningful data. According to survey data; there is a statistically significant relationship ( $p < 0.05$ ) between the gender of the people visiting the park and their civilization and child status, the status of using the park alone, the people who come to the park together, which functions they use the most in the park and the desire to use the park with other people. According to the survey data, the rate of women who are married and have children, the rate of using the park with at least one person, the rate of feeling lonely while using the park and the rate of expressing that there are picnic areas in the park are higher than the rate of male individuals using the park. On the other hand, the rate of single male park users who use the park alone, the rate of having a working life, the rate of visiting the park alone, the rate of using the park with friends, the rate of using the park more as a recreation area, and the rate of wanting to communicate and meet other people in the park are higher than female users. Among the female refugees using the park, 70.4% do not want to communicate and interact with other individuals using the park and 66.7% stated that the park did not contribute to their acclimatization process in Ankara.

Another data shows that there is a significant relationship between going to the park as a single person and expressing the facilities and functions that should be in the park and age ( $p < 0.05$ ). 57.1% of park users over 45 years of age visit the park as a single person. Again, the rate of park users aged 45 and over (35.7%) expressing that the functions in the park are inadequate is higher than the rate of park users aged 10-24 (9.3%). Also, there is a statistically significant relationship between the education level of the park users and other variables ( $p < 0.05$ ). The rate of use of the café-restaurant in the north of the park and the mosque adjacent to the park by the people with high school and above education level (31%) is higher than the people with primary education (8.1%). In addition, there is a statistically significant relationship between the frequency of park use and the economic status of park users ( $p < 0.05$ ). The rate of park users who do not have any income and who work below the minimum wage rate, coming to the park more than one day a week (58.5%) is higher than the rate of people earning 3000 TL and above (25%) coming to the park a few days a week.

Table 1 shows the data on the use of the park with each other and the satisfaction of the local people and refugees who participated in the survey study. The rate of refugees (90.8%) who are happy and satisfied with using the park with local people is higher than the rate of local people (88.2%) who use the park with male and female refugees (Table 1).

**Table 1.** Percentage (%) distribution of respondents' (refugees and locals) satisfaction with using the park with each other (Number of Participants (N)=103)

	Refugee				Local People/Residents			
	Satisfied to use the park		Dissatisfied with using the park		Satisfied to use the park		Dissatisfied with using the park	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<b>Satisfaction with using the park with new migrants/ locals</b>	69	90,8	1	50	15	88,2	0	0,0
	7	9,2	1	50	2	11,8	8	100

According to another survey data; there is a statistically significant correlation between the length of stay in Ankara, being from Ankara and being satisfied with using the park with new refugees ( $p < 0.05$ ). 89% of non-Ankara residents are satisfied with using the park with locals. The rate of satisfaction of people from Ankara with using the park with refugees who recently migrated to the city is 57.1%. Also, there is a statistically significant relationship between satisfaction with the park and length of stay in Ankara ( $p < 0.05$ ). Park users who have lived in Ankara for 3 years or less (100%) are more likely to be satisfied with the park than park users who have lived in Ankara for 6 years or more (81.4%).

## **V. CONCLUSION AND SUGGESTIONS**

This research reveals that urban parks, which are the focal points of the city, are the most suitable grounds for carrying out recreational activities. Recreational areas are extremely important in terms of maintaining public and social relations, the formation of a sense of belonging that develops through relationships with society rather than individualism, and the emergence of friendship phenomena, ensuring the sustainability of society. Generally, local people are concerned about preserving their unique social lifestyle and having limited economic resources, etc. Citing these reasons, it does not want refugees to benefit from these areas easily and wants them to return to their own countries or settle in camps prepared for them. Such thoughts and actions prolong the adaptation process of refugees and reveal the feeling of exclusion [49].

With this research, the harmony and social interaction of refugees and local people could not be completed. While local people spent more time in the park in the past, they stated that they did not want to spend more time in the park with the arrival of refugees, especially Syrians. On the contrary, local people do not want to use the park with refugees, but refugees want to establish unity more. Many of the refugees feel that they belong to Ankara and want their children to receive education in Ankara. On the other hand, another striking result regarding the use of city parks emerged among refugee groups. It is an important data that, compared to male refugees, female refugees directly reject integration with society, have difficulties and want to use the park with their husbands when they come from work. Action should be taken as soon as possible to ensure the future lifestyle and harmony of child and female refugees, especially those who emerge as disadvantaged groups, with society. In this context, the hypothesis of the research, "The fact that refugees are under difficult economic conditions causes refugees to shelter in city parks and interact with other people in city parks, while this negatively affects the park usage habits of local people" has been proven. This study proves that while there are already race, nationality, religion, sect, social position, education, culture and economic differences between the local people and the migrating society as a result of migration mobility, the areas where such distinctions can be most easily dissolved are urban parks. This study revealed how important the roles of local governments are in the urban adaptation process.

It is necessary to consider not only the basic needs of refugees, but also their psychological and cultural needs, and to develop a comprehensive approach to the adaptation of disadvantaged groups, especially women. The harmonization process should not only be achieved through individual and civic initiatives, but it is of utmost importance that local governments are productive and efficient in the harmonization process. In managing this complicated process, city parks, which play a key role in easily creating cohesion, and providing various functions for city parks are extremely important reasons to ensure the unity of locals and refugees. City parks should be central places of harmonization efforts. They should be places where intercultural diversity can be ensured, and various activities can be organized.

It is possible to say that in the study, objectives such as the development of social culture, ensuring social integration, and increasing the quality of life stand out and that this integration should be achieved through urban open green areas. First of all, cultural identity must be taken into account in order to further strengthen and sustain this interaction. It is seen that cultural planning studies are carried out in countries such as Australia, Canada and America. The general strategy adopted in the examples of cultural plans made around the world is the preparation of "cultural planning for physical and social purposes" as a part of urban development along with economic and physical development [37]. The aim of the search for planning public space with culture is to create a space and environment suitable for cultural uses and to create a cultural and artistic environment where city residents can develop their interests and talents in their daily lives [37]. In this context, various events that emphasize cultural diversity and increase intercultural interaction should be organized in Ulubey Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park, and the adaptation process should be facilitated by including refugees and asylum seekers in the activities for local people. Events, concerts, exhibitions, open-air shows, etc. in city parks, which are one of the largest parts of the open green space system, are activities that can maximize cohesion between locals and refugees. Interaction of diverse cultural groups with each other, cultural transfers and the presence of common cultural practices support the integration process. City parks should be one of the places where cultural groups can present their traditions and customs, cuisine and dance cultures. The presence of programs that can promote social cohesion of foreign refugee women, who should be included in the study, where they can exhibit their own handicrafts and present their food and drink culture, will accelerate the adaptation process.

In this process, urban cultural policies need to be redefined in order to create a permanent socio-spatial structure in the area, improve the cultural and artistic environment of the area, ensure local cultural organization, participation in cultural events and cultural continuity. Another important issue in making cultural planning studies, which are developed with a participatory approach and propose a strategic road map, effective is their integration with the physical plans of the city. However, in cases where cultural planning studies are not carried out, acting sensitively to the spatial accumulation, collective memory and urban identity of the city within the framework of a holistic planning approach and including analyzes in this direction in the planning process should be seen as one of the effective ways in cultural planning of the city.

In addition, public space, as an environment of freedom, creativity and fair sharing, should be able to host productive and sharing communication. It is also possible with a strong public image that creates communication, requires mutual respect, and requires both parties to see each other as equals. In this context, developing policies that are inclusive and open to cultural diversity and establishing coexistence and solidarity practices will help increase the public image and contribute to social peace.

The issue of the dynamics and change processes of cities, that is, the balance of global interaction, with the traces of the city remaining in the mind, which constitute the identity of the cities, has been and continues to be the main problem and subject of discussion of both cities and urban planning. In this respect, ensuring their sustainability without losing the cultural values that form urban identity can be achieved with holistic planning. In this context, it is necessary to identify the wishes and needs of the area users and make plans/designs accordingly, to investigate the previous living spaces of the refugees, their living habits including their cultural and social lives, and to develop spatial strategies accordingly. In particular, it should not be forgotten that immigrants should be seen as producing and contributing groups, rather than being perceived only as demanding users, and this should be emphasized in the

regulations to be organized by local governments, and that the removal of previous user groups from the area will create chaos. In this respect, it is important for planners and decision makers to take this issue into consideration.

In order not to become a city disconnected from its historical, social and cultural past, standardized and subject to identity erosion, original urban values and the historical, natural and cultural accumulation of cities should be protected. In addition, the urban belonging of the urban people should be strengthened, and they should be enabled to embrace the place they live in. Understanding how different cultural groups use urban parks is important for designing and managing urban green spaces. In particular, open public spaces created between buildings should be designed to include the collective activities necessary for the life of the users, and a harmonious relationship should be created between different social structures and public spaces without ignoring social diversity. In urban green areas, importance should be given to water elements that will attract the attention of immigrants, and areas that are open to everyone to socialize and carry out recreational activities should be designed in landscape designs.

The functions of city parks, one of the most important systems of public spaces, and their contributions to the life of the city and its citizens have been examined in many literatures to date. However, this research examines the importance of the article as to what new functions city parks have added to themselves as well as their existing functions as a result of the migration mobility that has resonated all over the world in recent years, how the functions they have used so far have transformed, and how the roles of local governments affect the use of city parks or the process of adaptation to the city. emphasizes. With this research, the changes in the functions of the city parks in the world, which attract the attention of the whole world and are the subject of the news, were examined, and Şehit Ömer Karaosmanoğlu Park, located in Ankara, which constitutes the main material of the research, was examined based on the survey study. This research determines that the functions of city parks and the park usage habits of city park users have changed negatively in the world and in Turkey, which is at the top of the list of countries hosting refugees. The research emphasizes how important the perspective and decisions of the countries of origin are, and it is thought that it will contribute to the literature by showing that the importance of urban open green areas has increased in order to fully establish harmony between both groups.

## **VI. REFERENCES**

- [1] C. Acar and D. Sarı, Kentsel Biyoçeşitlilik ve Peyzaj Planlama, [Online]. Available: <http://sura.cevreorman.gov.tr>, 2005.
- [2] Türkiye İstatistik Yıllığı, Ankara, Türkiye: Devlet İstatistik Yayımları, 2000.
- [3] E. Boyacı, “Ülkemizde Kent Parkı İşlevlerini Belirleyen Etmenler”, Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [4] A. Madanipour, “*Social Exclusion and Space*”, The City Reader, 4th ed., London: Routledge, 2007, pp.158-165.
- [5] M. Weber, “*Şehir Modern Kentin Oluşumu* (M. Ceylan, Çev.)”, İstanbul, Türkiye: Bakış Yayınları, 2000, s. 173.
- [6] H. Özgüner, “Cultural Differences in Attitude towards Urban Parks and Green Spaces”, *Landscape Research*, vol. 36, no. 5, pp. 599-620, 2011.
- [7] The UN Refugee Agency (UNHCR) (2023, April 01). *Data and Statistics Global Trends* [Online]. Available: <https://www.unhcr.org/global-trends-report-2022>

- [8] S. Low, D. Taplin and S. Scheld, “*Rethinking Urban Parks: Public Space and Cultural Diversity*”, University of Texas Press, 2005, pp. 226.
- [9] J. Logan, W. Zhang and R. Alba, “Immigrant Enclaves and Ethnic Communities in New York and Los Angeles”, *American Sociological Review*, vol. 67, no. 2, pp. 199-322, 2002.
- [10] S. Savran ve N. A. Sat, “Ankara’da Suriyeli Göçmenlerin Yer Seçimi Tercihlerinin İncelenmesi ve Bir Etnik Kentsel Adacık Örneği Olarak Önder, Ulubey, Alemdağ Mahalleleri”, *Ankara Araştırmaları Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 283-302, 2019.
- [11] A. Jacobs, and D. Appleyard, “Toward an Urban Design Manifesto”, *Journal of the American Planning Association*, vol. 53, no. 1, pp. 112-120, 1987.
- [12] B. Yurtseven ve D. Oğuz, “Kentsel Yeşil Alanlarda Göçmenlerin Mekân Algısı ve Davranış Biçimlerindeki Değişimlerinin Değerlendirilmesi”, *Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, c.14, s.4, ss. 1251-1269, 2021.
- [13] E. Erdönmez ve A. Akı, “Açık Kamusal Kent Mekânlarının Toplum İlişkilerindeki Etkileri”, *Megaron*, c. 1, s. 1, ss. 67-87, 2005.
- [14] A. Özdemir, “Katılımcı Kent Kimliğinin Oluşumunda Kamusal Yeşil Alanların Rolü”, *Planlama*, s.1, ss. 37-43, 2007.
- [15] A. Lanfer and M. Taylor. (2023, June 20). *Immigrant Engagement in Public Open Space: Strategies for the New Boston* [Online]. Available: <https://barrfdn.issuelab.org/resources/35867/35867.pdf>.
- [16] C. Rishbeth, D. Blachnickiacek, R. Bynon and T. Stapf (2023, June 15). *Refugees Welcome in Parks: A Resource Book* [Online]. Available: <https://tudastar.menedek.hu/sites/default/files/refugeeswelcome-in-parks-resource-book.pdf>.
- [17] C. Thompson, “Urban Open Spaces in the 21st Century”, *Landscape and Urban Planning*, vol. 68, no. 2, pp. 59-72, 2002.
- [18] E. Gürkaş, “Yer” Üzerine Bir Okuma Denemesi: Samatya’da Yer-Kurma Pratikleri”, Doktora Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [19] S. Graham and J. Cornell, “Nurturing Relationships: The Gardens of Greek and Vietnamese Migrants in Marrickwille, Sydney”, *Australian Geographer*, vol. 37, no. 3, pp. 375-393, 2006.
- [20] R. S. Ulrich, “Biophilia, Biophobia, & Natural Landscapes” in *The Biophilia Hypothesis*, (Kellert, S.R. and Wilson, E.O., Eds), Washington DC: Island Press, 1993, pp. 73-137.
- [21] J. Gehl, “*Life Between Buildings. Using Public Space*”, 1st ed., Copenhagen, Denmark: Van Nostrand Reinhold, 1996, p. 563.
- [22] Y. Özservet, “Modern Göçebeler Olarak Göçmenler, Mekân ve Şehre Uyum”, *Sosyoloji Divanı*, c. 3, s. 6, ss. 41-54, 2015.
- [23] J. Darling, “A city of Sanctuary: The Relational Re-imagining of Sheffield’s Asylum Politics”, *Transactions of The Institute of British Geographers*, vol, 35, no. 1, pp. 125-140, 2010.
- [24] R. Faragallah, “The impact of productive open spaces on urban sustainability: The Case of El Mansheya Square-Alexandria”, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 4, pp. 3969-3976, 2018.



- [25] P. Gobster, "Managing Urban Parks for a Racially and Ethnically Diverse Clientele", *Leisure Sciences*, vol. 24, no. 2, pp. 143-159, 2002.
- [26] K. Seeland, S. Dübendorfer and R. Hansmann, "Making Friends in Zurich's Urban Forests and Parks: The Role of Public Green Space for Social Inclusion of Youth from Different Cultures", *Forest Policy and Economics*, vol.11, no. 1, pp. 10-17, 2009.
- [27] C. Bosmans, R. Daher and V. D'Auria, "Recording Permanence and Ephemerality in the North Quarter of Brussels: Drawing at the Intersection of Time, Space, and People", *Urban Planning*, vol. 5, no. 2, pp. 249-261, 2020.
- [28] E. Zube and D. Pitt, "Cross-Cultural Perceptions of Scenic and Heritage Landscapes", *Landscape Planning*, vol. 8, no. 1, pp. 69-87, 1981.
- [29] B. Yang and R. Kaplan, "The Perception of Landscape Style: a Cross-cultural Comparison", *Landscape and Urban Planning*, vol. 19, no. 3, pp. 251-262, 1990.
- [30] E.S. Oliveira, "Immigrants and Public Open Spaces", Doctorate Thesis, The University of Edinburgh, 2011.
- [31] F. Çelik, "Kentsel Yeşil Alanlarda Güvenlik", *İdealkent*, c. 9, s. 23, ss. 58-94, 2018.
- [32] İ. Gündüzöz, "Türkiye ve Dünyada Güvenli Kent Yaklaşımı: Kentsel Güvenlik mi? Güvenli Kent mi?", *Türk İdare Dergisi*, s.483, ss. 335-368, 2016.
- [33] D. Temel ve Z. Kahraman, "Göçmen Mahallelerde Konut Dış Mekânında Uyarılma: "Küçük Halep", Önder Mahallesi, Ankara Örneği", *Ankara Araştırmaları Dergisi*, c. 7, s.2, ss. 415-431, 2019.
- [34] S. Mazumdar and S. Mazumdar, "Immigrant Home Gardens: Places of Religion, Culture, Ecology, and Family", *Landscape and Urban Planning*, vol.105, no. 3, pp. 258-265, 2012.
- [35] Köse, S. "Çok Kültürcülük Politikalarından Entegrasyon Politikalarına Geçiş: Hollanda'daki Türkiye Kökenli Göçmenler Üzerine Bir İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Siyaset Bilimi Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2012.
- [36] Altındağ Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü, Ankara, 2021.
- [37] F. Bianchini, "Cultural Planning: An Innovative Approach to Urban Development" in *Managing Urban Change*, (der.), J. Verwijnen ve P. Lehtovuori, Helsinki, 1996.
- [38] K. Özdamar, "Modern Bilimsel Araştırma Yöntemleri", Eskişehir, Türkiye: Kaan Kitabevi Yayınları, 2003.
- [39] S. De Dominicis, F. Fornara, U. G. Cancellieri, C. Twigger-Ross ve M. Bonaiuto, "We are at risk, and so what? Place attachment, environmental risk perceptions and preventive coping behaviors," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 43, pp. 66-78, 2015.
- [40] Y. Hayta, "Kent Kültürü ve Kent Kavramı", Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, c.5, s.2, ss. 165-184, 2016.
- [41] S. Savran ve A. Sat, "Ankara'da Suriyeli Göçmenlerin Yer Seçimi Tercihlerinin İncelenmesi ve Bir Etnik Kentsel Adacık Örneği Olarak Önder, Ulubey, Alemdağ Mahalleleri", *Ankara Araştırmaları Dergisi*, c.7,s.2,ss. 283-302,2019.

[42] A. Bakioğlu, F. Artar ve H. İzmir, “Ankara’daki Suriyelilerin Mültecilik Deneyimleri, Göç, Gündelik Yaşam, Geçim Deneyimleri ve Sosyal Dışlanma”, Sosyoloji Derneği Yayını, y. 25,ss.72, 2018.

[43] B. Sarıoğlu. (2018, January 21). Bu mahallede Türkler azınlık: Ulubey [Online]. Available: <https://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/ankara/bu-mahallede-turkler-azinlik-ulubey-40717196>

[44] Anonim. (2018, March). Türkiye Büyük Millet Meclisi İnsan Haklarını İnceleme Komisyonu Mülteci Hakları Alt Komisyonu; Göç Ve Uyum Raporu [Online]. Available: [https://asylumineurope.org/wp-content/uploads/2018/04/resources\\_goc\\_ve\\_uyum\\_raporu.pdf](https://asylumineurope.org/wp-content/uploads/2018/04/resources_goc_ve_uyum_raporu.pdf)

[45] H. Karaslan (2019, January 29). 8 Bin Nüfuslu Mahallenin Üçte İki Suriyeli [Online]. Available: <https://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/ankara/8-bin-nufuslu-mahallenin-ucte-ikisi-suriyeli-41098453>

[46] Altındağ Büyükşehir Belediyesi (2020) [Online]. Available: <https://www.altindag.bel.tr/#!/haberler/2020-altindaga-yeni-parklar->

[47] Altındağ Büyükşehir Belediyesi (2020) [Online]. Available: <https://www.altindag.bel.tr/#!/ilcemiz>

[48] Altındağ Büyükşehir Belediyesi (2023) [Online]. Available: <https://cbs.altindag.bel.tr/>

[49] H. Ekici, “Türk Toplumunda Suriyelilere Yönelik Algılanan Tehditler ve Çözüm Önerileri”, Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi, s.44,ss.695-730, 2019.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Green Preparation of *Stachys Eudenia*-Derived Carbon Quantum Dots and Their Photocatalytic Applications

Canan BAŞLAK <sup>a,\*</sup>, Gülşah ÖZTÜRK <sup>b</sup>, Merve TURĞUT <sup>b</sup>, Teoman ÖZTÜRK <sup>c</sup>, Murat YILDIRIM <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Selcuk University, Konya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selcuk University, Konya, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Department of Physics, Faculty of Science, Selcuk University, Konya, TÜRKİYE

\* Corresponding author's e-mail address: cbaslak@selcuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1258057

### ABSTRACT

In this present work, the composites were obtained from carbon quantum dots and TiO<sub>2</sub> via green synthesis and the photoactivities of these composite structures were investigated under ultraviolet light. Carbon quantum dot was obtained from *Stachys eudenia* which is an endemic plant found only in southern Türkiye. Carbon quantum dot-TiO<sub>2</sub> nanocomposites were fabricated via facile hydrothermal approach which is an easy and effectual method to obtaining of environmentally friendly, low cost and well crystallized nanoparticles. The structural and morphological characteristics of these nanocomposites were investigated by X-ray diffraction, tunneling electron microscopy and scanning electron microscopy. Also, optical analyses of carbon quantum dots were carried out by absorbance and fluorescence spectroscopy. Photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> and carbon quantum dot-TiO<sub>2</sub> nanocomposites were investigated under ultraviolet light illumination with the decomposition of methylene blue dye. Carbon quantum dot-TiO<sub>2</sub> nanocomposites show a better activity than TiO<sub>2</sub>.

**Keywords:** Green synthesis, Carbon Quantum Dots, Photocatalysis

## Stachys Eudenia'dan Türetilmiş Karbon Kuantum Noktalarının Yeşil Sentezi ve Fotokatalitik Uygulamaları

### ÖZ

Bu çalışmada, karbon kuantum noktaları ve TiO<sub>2</sub> kombinasyonu elde edilmiştir ve bu kompozit yapıların ultraviyole ışık altındaki fotoaktiviteleri rapor edilmiştir. Karbon kuantum noktası, sadece Türkiye'nin güneyinde bulunan endemik bir bitki olan *Stachys eudenia*'dan elde edilmiştir. Karbon kuantum nokta-TiO<sub>2</sub> nanokompozitleri, çevre dostu, düşük maliyetli ve iyi kristalleşmiş nanoparçacıkların elde edilmesinde basit ve etkili bir yöntem olan kolay hidrotermal yaklaşımla üretilmiştir. Bu nanokompozitlerin yapısal ve morfolojik özellikleri; X-ışını kırınımı, tünelleme elektron mikroskopisi ve taramalı elektron mikroskopisi analizleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca, karbon kuantum noktalarının optiksel analizleri soğurma ve floresans spektroskopisi ile gerçekleştirilmiştir. TiO<sub>2</sub> ve karbon kuantum nokta-TiO<sub>2</sub> nanokompozitlerinin fotokatalitik aktivitesi ultraviyole ışık aydınlatması altında metilen mavisi boyasının bozulmasıyla incelenmiştir. Karbon kuantum nokta-TiO<sub>2</sub> nanokompozitleri, TiO<sub>2</sub>'den daha iyi bir aktivite göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil sentez, Karbon kuantum noktalar, fotokataliz

Received: 01/03/2023, Revised: 10/04/2023, Accepted: 08/02/2024

# **I. INTRODUCTION**

Water pollution, which causes irreparable harm to human health and nature, is one of the major problems in the world today. The effluents of textile plants contain toxic and carcinogenic dyes that are dangerous for humans and the aquatic ecosystem. Many techniques likely ozonation, flocculation, adsorption on activated carbon, reverse osmosis, biosorption and nanofiltration are used to remove these dyes from wastewater [1]–[3]. Unlike these conventional methods, photocatalysis as a low-cost, environmentally friendly method for the water purification has recently attracted great attention. The term photocatalysis is a phenomenal process, in which materials that are exposed to light and change the reaction rate are used as photocatalysts. Since the first report work on the photocatalytic water splitting on titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) by Fujishima and Honda in 1972 which was a groundbreaking study [4], great endeavors have been made to develop novel and efficient photocatalysts. In this context, many materials from semiconductors to carbonaceous materials and their composites have been employed as photocatalysts.

Among new photocatalysts, carbon quantum dots (CQDs) are a rising star in the carbon family due to their attractive properties such as abundance, low cost, low toxicity, chemical inertness, excellent aqueous solubility [5]. CQDs have a great potential in photocatalytic applications due to their electron transfer and efficient light harvesting properties [6]. CQDs were coincidentally discovered during the isolation of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) from the crude soot and this isolated component was defined a mixture of fluorescent nanoparticles by Xu et al. in 2004 [7]. Sun et al. denominated these fluorescent carbon nanoparticles as “carbon quantum dots” in a groundbreaking study where these nanoparticles were produced by laser ablation [8]. CQDs have great potentials in many application areas of nanotechnology since their discoveries. For instances, CQDs obtained from polymer/silica nanocomposites was used as bioimaging agents [9]. CQDs-gold nanoparticles were used as a biosensor for glucose in a study reported in 2019 [10]. N-doped carbon quantum dots combined with TiO<sub>2</sub> were applied as metal-free sensitizers in dye-sensitized solar cells [11]. Li et al. reported a CQD-TiO<sub>2</sub> combination which was used as an electron transfer layer in perovskite solar cells and achieved 19% efficiency [12]. Baslak et al. used the N containing CQDs obtained from kombucha fungus via green synthesis and applied them as electrode materials for supercapacitor structure [13]. In another report by Baslak et al., N doped CQDs fabricated from fermented kombucha tea were used an additive in perovskite solar cells and passivated the trap states decreasing the nonradiative charge recombination in the perovskite layer [14]. There are studies in the literature that CQDs are also used for drug delivery systems [15], [16]. Among the many nanotechnological applications of CQDs, photocatalytic studies also draw attention [16]. The basis of photocatalytic process is the photogeneration of electrons and holes. However, many semiconductor photocatalysts suffer from high recombination rate of electron and hole pairs. In addition, ultraviolet (UV) light is required to excite ground state electrons to the conduction band as a consequence of their wide band gaps. Carbon quantum dots can improve the photoactivity of photocatalysts due to their ability to transfer electrons quickly.

In order to produce CQDs, many routes have been developed including electrochemical oxidation [17], combustion [18], plasma induced [19], sonochemical [20], hydrothermal [21], arc-discharge [22], microwave assisted [23] and laser ablation methods [8]. Among these methods, hydrothermal is a functional process for the synthesis of CQDs due to its affordability and suitability for green synthesis which is an environmentally friendly and low-cost method, has attracted a lot of attention recently.

Many natural resources were used to obtain the CQDs in the literature. For instances, Zhou et al. produced the high quality fluorescent CQDs using watermelon peel waste as a novel carbon source [24]. Tyagi et al. produced CQDs from lemon peel waste and developed composites of CQDs and TiO<sub>2</sub> nanofibers [25]. Ramezani et al. synthesized CQDs from quince via microwave irradiation and used these CQDs as fluorescence probe for arsenic detection [26]. Also, when the photocatalytic activities of these nanofibers were examined, it was seen that the composites provided a better degradation. Li et al. prepared fluorescent carbon nanodots from ginger and these CQDs were used to hinder the growth of carcinoma cells [27]. Alam et al. synthesized CQDs with down and up conversion photoluminescence properties via a green low-temperature hydrothermal method from cabbage and investigated the

photostability and low cytotoxicity of CQDs [28]. In another interesting study, N and S co-doped carbon dots were prepared by hydrothermally where orange peel was used as the carbon resource by Karaman [29]. Anchoring these co-doped carbon dots to 3D graphene networks the electrocatalytic activity of the CDs were improved. Ramar et al. combined undoped CQDs and nitrogen doped CQDs from citrus grandis (pomelo fruit) via hydrothermal method and investigated photocatalytic degradation of methylene blue (MB) using these CQDs as photocatalysts [30]. In another interesting study, CQDs were synthesized from grass via hydrothermal method for removing pollutions using photocatalysis [31]. Tamarind was used in the synthesis of CQDs using one pot hydrothermal method by Asha Jhonsi and Thulasi [32]. Tamarind carbon dots were characterized by some structural, morphological and optical analyses. Also, fluorescence quenching measurements were performed and it was explained that the fluorescent quenching mechanism was because of the delay of the electron-hole recombination. In another notable study, cobalt ferrite (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)-CQD magnetic nanocomposites were synthesized using turmeric in the production of CQDs [33]. Besides, photocatalytic activities of the magnetic nanocomposites were appraised by the photodegradation of azo dyes under UV light. Li et al. prepared photoluminescent carbon nanodots (C-dots) using soya bean grounds via a facile and green technique [34]. These carbon nanodots were characterized by optical, structural and morphological analyses. Heng et al. prepared nitrogen doped CQDs using green oil palm frond [35]. By combining nitrogen-doped CQDs with TiO<sub>2</sub>, the photocatalytic activities of these composites were investigated by reducing MB under visible light radiation. In one of the most recent studies, Shafique et al. developed a facile synthesis method of CQD/TiO<sub>2</sub> nanocomposites and the degradation of methyl orange (MO) under direct and indirect sun illuminations [36].

In this present study, we synthesized CQDs and CQD-TiO<sub>2</sub> composites from *stachys euadenia* which is an endemic plant via a facile hydrothermal treatment. Structural and morphological properties of the nanoparticles were investigated with X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and tunneling electron microscopy (TEM) analyses. Besides, absorbance and fluorescence spectra of CQDs were obtained. Comparing the photocatalytic activities of CQDs and CQD-TiO<sub>2</sub> composites, it was seen that the composites degraded MB solution better under UV irradiation.

## **II. MATERIAL AND METHOD**

### **A. MATERIAL**

*S. euadenia* P.H. Davis is a locally endemic plant species belonging to the Lamiaceae family and found in Southern Anatolia Region of Turkey [37]. The green leaves of *S. euadenia* was used in the experiment. TiO<sub>2</sub> nanopowder and MB solution were purchased from Sigma-Aldrich.

### **B. METHOD**

#### **A. 1. Solution Preparation**

Dry *Stachys euadenia* leaves were grinded with grinder. 0.5 g was weighed from the ground leaves. 0.5 g leaf was taken into 60 ml pure water. It was made homogeneous in a 400-rpm magnetic mixer at 60 °C at 1 hour. 1 ml Ethylenediamine (EDA) was added to the homogeneous solution.

#### **A. 2. Hydrothermal Synthesis**

The solution was placed to the stainless-steel autoclave. The temperature of the oven was set 140 °C. The autoclave was placed in the oven which reaches to 140 °C and kept in the oven for 4 hours. After 24 hours, the autoclave was taken out the oven and opened.

#### **A. 3. CQD Purification**

The solution removed from the autoclave was applied a coarse centrifugation within 3 minutes at 4000 rpm. Ultracentrifuge was applied to the separated liquid sample at 15,000 rpm for 10 minutes. In order to make it purer and finer, large particles were removed by ultracentrifugation, and it was passed through a syringe filter. The purified sample was dried in a glass petri dish at room temperature for 48 hours.

#### A. 4. CQD-TiO<sub>2</sub> Synthesis

0.2 g of TiO<sub>2</sub> was added to a solution of 10 ml of distilled water and 3 ml of ethanol. The obtained solution was mixed in a magnetic stirrer. It was stirred at 400 rpm at 25°C for 1 hour. When a homogeneous solution was formed, 7 ml of CQD solution at a concentration of 4 mg/ml was added into it. It was stirred at room temperature for another 1 hour. After 1 hour, the thoroughly dissolved sample was taken into the Teflon of the stainless-steel autoclave and the hydrothermal process was performed at 140°C for 4 hours. Purification and drying processes were applied. The production scheme of the whole study is shown in Figure 1.

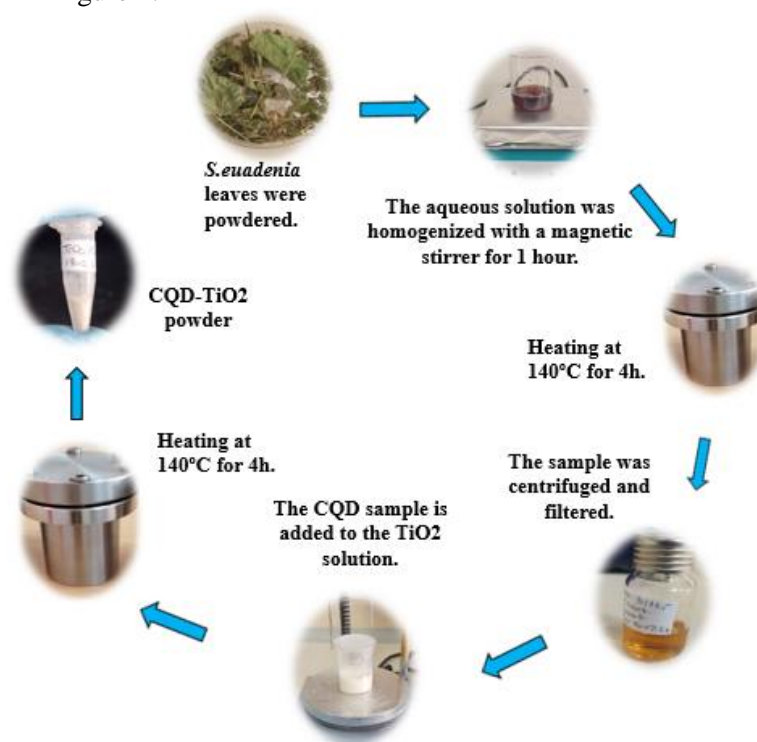


Figure 1. Synthesis of CQD-TiO<sub>2</sub>

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Structural Analysis

Figure 2a, b and c represent the XRD patterns of pure TiO<sub>2</sub>, CQD and CQD-TiO<sub>2</sub> composites. As seen in Figure 2a, the diffraction peaks of pure TiO<sub>2</sub> confirm the mixed phases of both anatase and rutile. While the diffraction peaks observed at 25.6, 38.1, 48.3, 54.2, 55.4, 62.8 and 75.3 correspond to anatase phase, 27.7, 36.3, 41.5, 56.8, 69.1 and 70.5 correspond to rutile phase of TiO<sub>2</sub>. In Figure 2b, there is a broad peak at the vicinity of 2θ=21° which is associated with the amorphous nature of CQDs. Figure 2c shows the diffraction peaks of the composite structure.

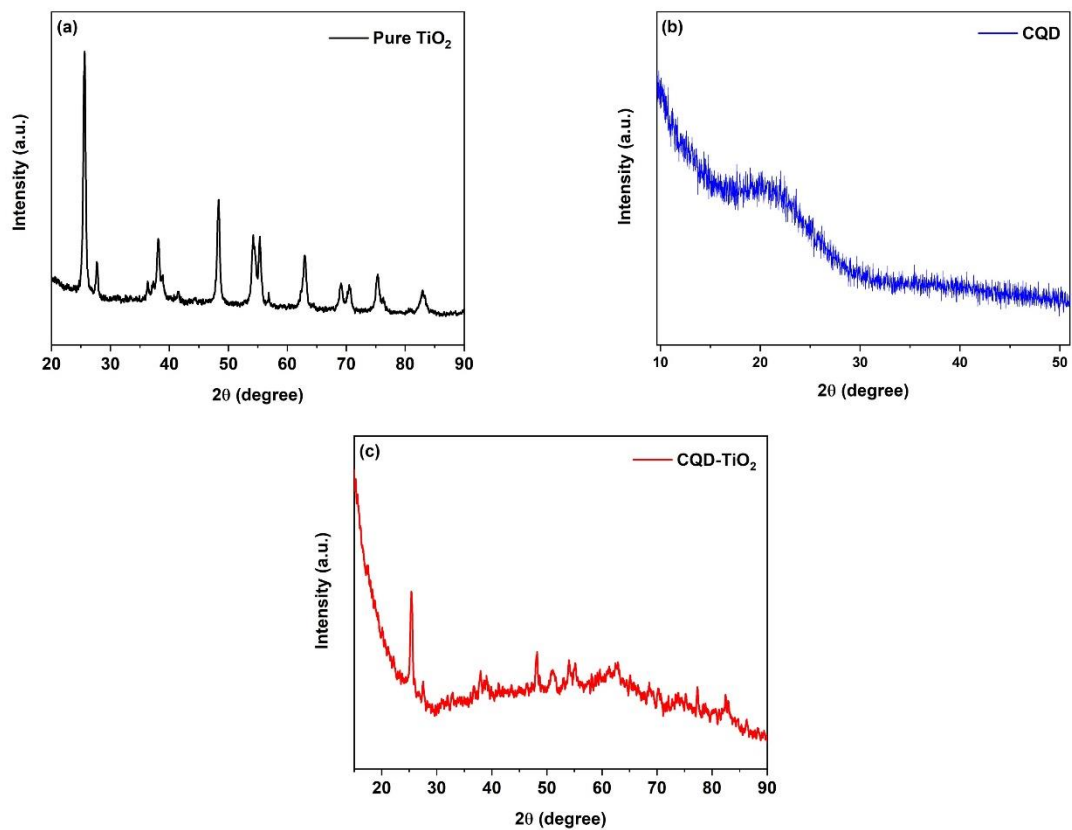


Figure 2. XRD patterns of (a) pure TiO<sub>2</sub> (b) CQD and (c) CQD-TiO<sub>2</sub> powders

## B. Optical Analysis

Figure 3 shows absorbance and fluorescence spectroscopy of CQD from derived *Stachys Euadenia*. The absorption curve of the obtained carbon dots in the UV-visible region appears as a very wide peak, which is assigned to the  $\pi$ - $\pi^*$  transition bands in this region. Wide absorption bands can also be explained by the fact that they have complex band structures and random energy levels. When excited at 360 nm, CQDs show a broad emission peak that is blue-green and falls in the range of about 400-550 nm [38], [39].

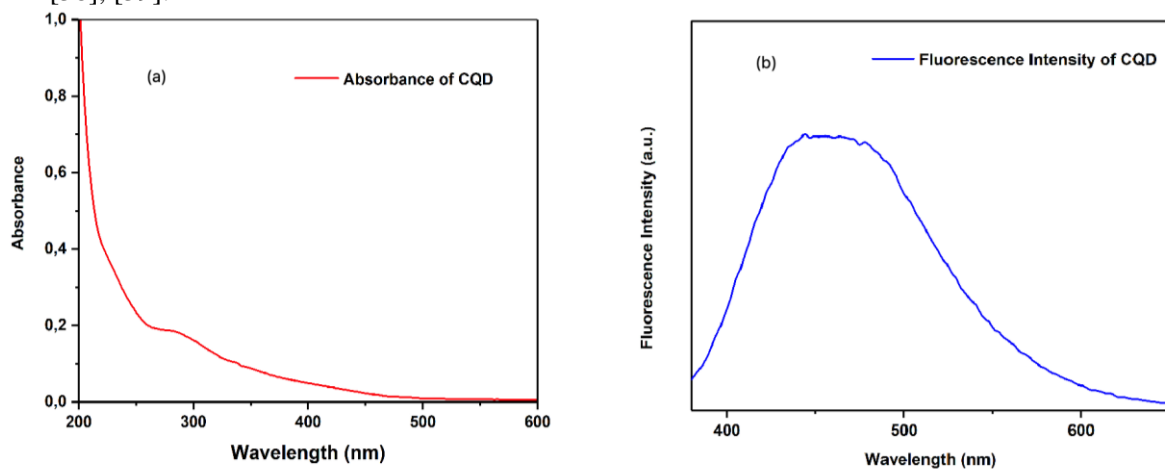
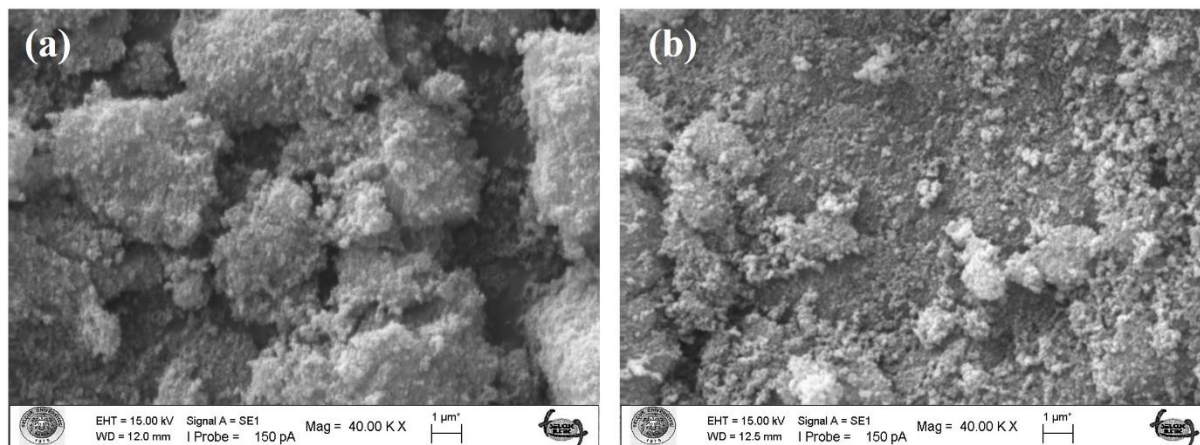


Figure 3. (a) Absorbance and (b) fluorescence intensity of CQD derived from *Stachys Euadenia*.

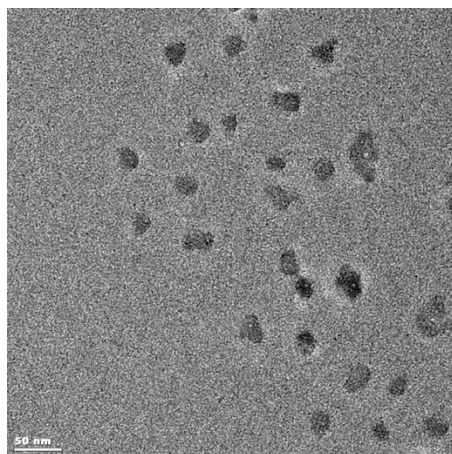
### C. Morphological analysis

The morphologies of the pure  $\text{TiO}_2$  and CQD- $\text{TiO}_2$  nanocomposites were investigated by using SEM and TEM given in Figure 4 and Figure 5, respectively. SEM images were obtained at 40000 magnifications. Compared to  $\text{TiO}_2$ , particulate structure of the composite will increase the porosity. A porous structure provides a higher surface area which is a sign of the adsorption property of the materials.



*Figure 4. SEM pictures of a) the pure  $\text{TiO}_2$  and b) CQD- $\text{TiO}_2$  nanopowders*

Figure 5 shows the TEM image of CQD derived from *Stachys Euadenia*. As can be clearly seen from the figure, the particle shapes do not show a complete sphericity and it is seen that they have an average size of about 5-20 nm, also particle distribution is identified as homogeneous.



*Figure 5. TEM image of CQD from *Stachys Euadenia**

### D. Photocatalytic Activity

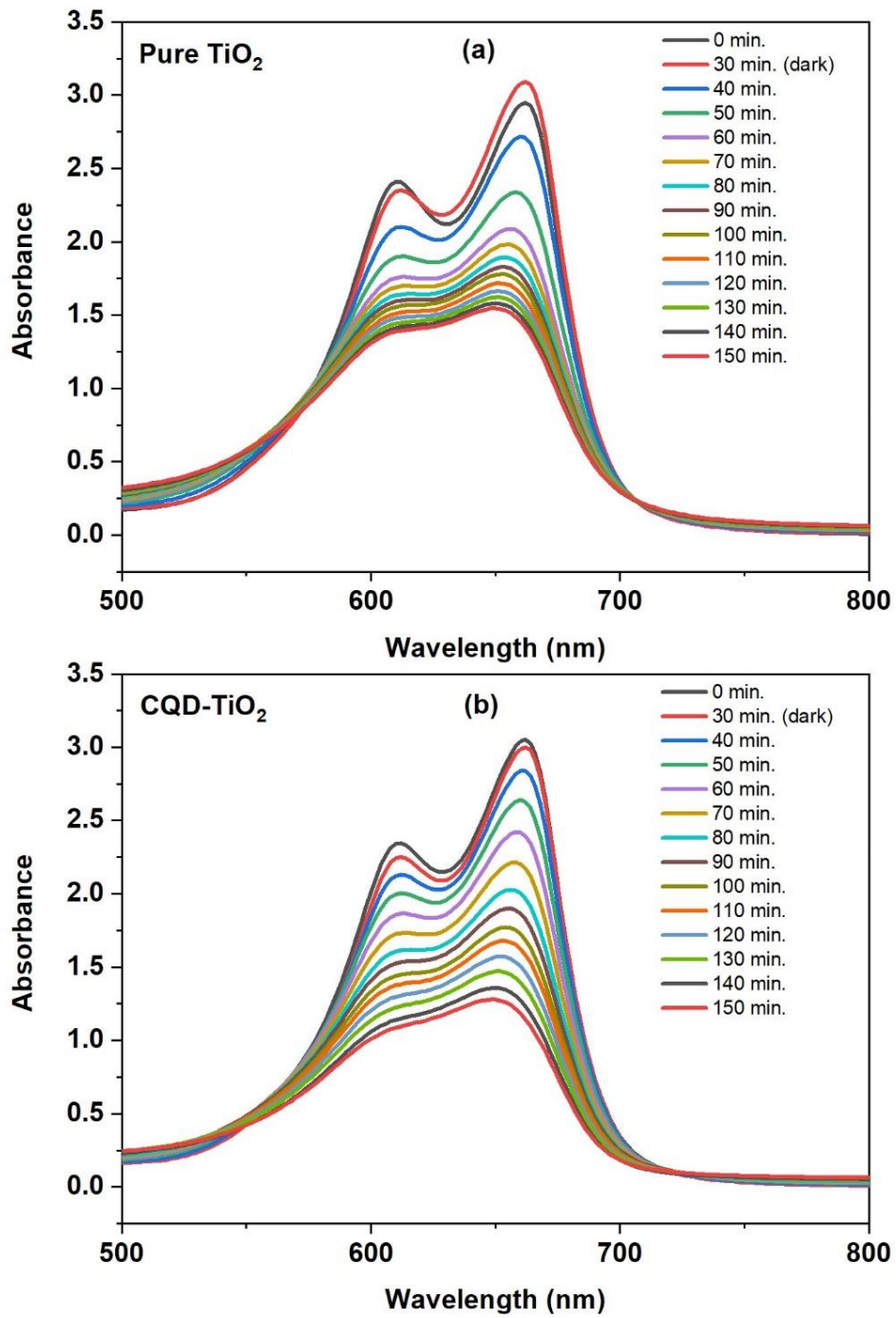
The appraisal of photocatalytic activity of the pure  $\text{TiO}_2$  and CQD- $\text{TiO}_2$  nanoparticles was demonstrated by monitoring the MB solution under UV light irradiation. MB solution with a concentration of 12 ppm was prepared with 50 ml of deionized water. After adding 10 mg of photocatalyst to the dye solution, it was kept in the constant stirring for 30 minutes in the dark to establish adsorption-desorption equilibrium. The dye solution was exposed to UV light for a total of 130 minutes in the photocatalytic reactor and absorbance measurements were performed by taking samples at 10-minute intervals. These absorbance spectra were showed in Figure 6 for both photocatalysts. Main peak was observed in the vicinity of 664 nm. As it seen in Figure 6, CQD- $\text{TiO}_2$  composites showed better degradation than the



pure TiO<sub>2</sub> nanoparticles. This increase in the degradation is also depicted in the degradation rate graph over time in Figure 7. Degradation rate can be acquired using the expression  $(C_0 - C_t)/C_0 \times 100$ . Where  $C_0$  and  $C_t$  are obtained from the absorbance spectrum and correspond the initial and any time concentrations, respectively. When TiO<sub>2</sub> is stimulated by UV light, electrons located in the valence band are excited and move to the conduction band. In the meantime, they leave holes behind. While the electrons interact with the water in the dye solution to form hydroxyl radicals, the holes interact with the water to form superoxide radicals. However, the recombination rate of photogenerated electrons and holes is high in TiO<sub>2</sub>. CQDs enable electrons to reach the surface quickly and decrease the recombination of charge carriers due to their extraordinary conductivity properties. This induces an increase in the degradation of the dye. Photocatalytic degradation kinetics is generally modeled by the Langmuir-Hinshelwood equation [40] which is given in equation 1:

$$-\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = k_{app}t \quad (1)$$

Here,  $k_{app}$  is apparent kinetic rate constant and calculated using  $\ln(C_t/C_0)$  according to the irradiance time which is given in Figure 8. Kinetic rate constants were found 0.00515 min<sup>-1</sup> and 0.07722 min<sup>-1</sup> for the pure TiO<sub>2</sub> nanoparticles and CQD-TiO<sub>2</sub> composites, respectively. So that,  $k_{app}$  value of the composites is 28.7% higher than pure TiO<sub>2</sub> nanoparticles.



*Figure 6. Absorption spectra of UV light degradation of MB solutions containing (a) pure  $\text{TiO}_2$  and (b) CQD- $\text{TiO}_2$  nanopowders*

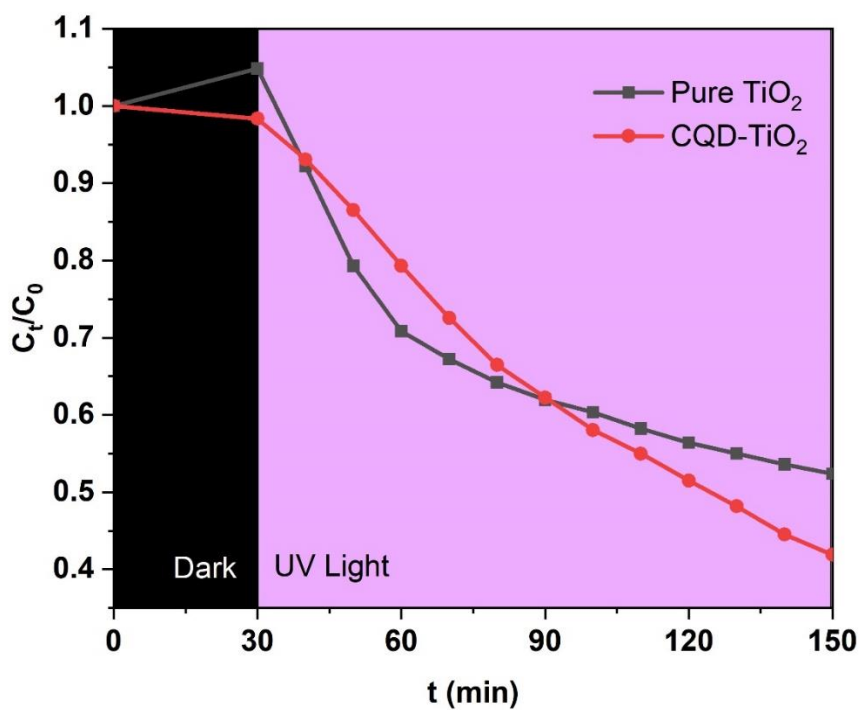


Figure 7. Concentration ratio of the pure TiO<sub>2</sub> and CQD-TiO<sub>2</sub> nanopowders

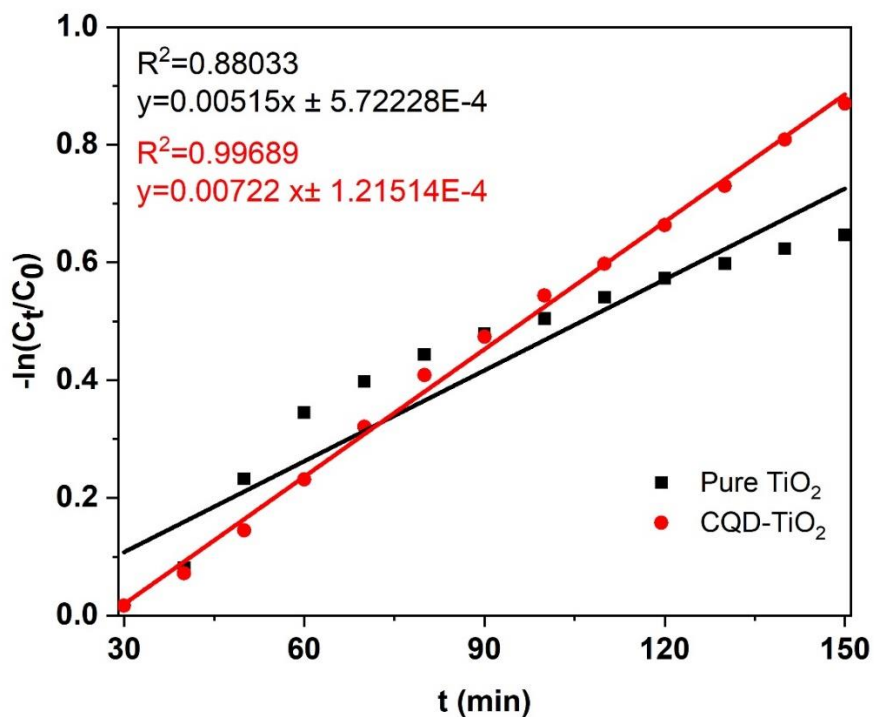


Figure 8. The pseudo first-order kinetic model of photocatalytic performance of the pure TiO<sub>2</sub> and CQD-TiO<sub>2</sub> nanopowders under UV light irradiation.

## **IV. CONCLUSION**

In this study, pure and CQD-TiO<sub>2</sub> nanoparticles were synthesized by a facile and green hydrothermal method. The XRD results of TiO<sub>2</sub> show that rutile and anatase mixed phases due to inner temperature of autoclave during the hydrothermal process. SEM image of CQD-TiO<sub>2</sub> depict a more porous structure than the pure TiO<sub>2</sub>. The photocatalytic activities of the nanocomposites were appraised by the photodegradation of MB under UV light irradiation. CQD-TiO<sub>2</sub> nanocomposites exhibited a better performance than the pure one due to fast electron transfer ability of CQDs.

## **REFERENCES**

- [1] G. Ciardelli and N. Ranieri, "The treatment and reuse of wastewater in the textile industry by means of ozonation and electroflocculation," *Water Res.*, vol. 35, no. 2, pp. 567–572, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(00)00286-4.
- [2] V. Meshko, L. Markovska, M. Mincheva, and A. . Rodrigues, "Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite," *Water Res.*, vol. 35, no. 14, pp. 3357–3366, Oct. 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(01)00056-2.
- [3] M. F. Abid, M. A. Zablouk, and A. M. Abid-Alameer, "Experimental study of dye removal from industrial wastewater by membrane technologies of reverse osmosis and nanofiltration," *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2012.
- [4] A. FUJISHIMA and K. HONDA, "Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode," *Nature*, vol. 238, no. 5358, pp. 37–38, Jul. 1972, doi: 10.1038/238037a0.
- [5] Z. Zhang, T. Zheng, X. Li, J. Xu, and H. Zeng, "Progress of Carbon Quantum Dots in Photocatalysis Applications," *Part. Part. Syst. Charact.*, vol. 33, no. 8, pp. 457–472, 2016, doi: 10.1002/ppsc.201500243.
- [6] Z. W. Heng, W. C. Chong, Y. L. Pang, and C. H. Koo, "An overview of the recent advances of carbon quantum dots/metal oxides in the application of heterogeneous photocatalysis in photodegradation of pollutants towards visible-light and solar energy exploitation," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 3, p. 105199, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105199.
- [7] X. Xu et al., "Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 126, no. 40, pp. 12736–12737, Oct. 2004, doi: 10.1021/ja040082h.
- [8] Y.-P. Sun et al., "Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 128, no. 24, pp. 7756–7757, Jun. 2006, doi: 10.1021/ja062677d.
- [9] R. Liu, D. Wu, S. Liu, K. Koynov, W. Knoll, and Q. Li, "An Aqueous Route to Multicolor Photoluminescent Carbon Dots Using Silica Spheres as Carriers," *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 48, no. 25, pp. 4598–4601, Jun. 2009, doi: 10.1002/anie.200900652.
- [10] V. Buk and M. E. Pemble, "A highly sensitive glucose biosensor based on a micro disk array electrode design modified with carbon quantum dots and gold nanoparticles," *Electrochim. Acta*, vol. 298, pp. 97–105, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.electacta.2018.12.068.

- [11] Y.-Q. Zhang, D.-K. Ma, Y.-G. Zhang, W. Chen, and S.-M. Huang, "N-doped carbon quantum dots for TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts and dye-sensitized solar cells," *Nano Energy*, vol. 2, no. 5, pp. 545–552, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.nanoen.2013.07.010.
- [12] H. Li et al., "Carbon Quantum Dots/TiO<sub>2</sub> Electron Transport Layer Boosts Efficiency of Planar Heterojunction Perovskite Solar Cells to 19%," *Nano Lett.*, vol. 17, no. 4, pp. 2328–2335, Apr. 2017, doi: 10.1021/acs.nanolett.6b05177.
- [13] C. Baslak, S. Demirel, A. Kocyigit, H. Alatli, and M. Yildirim, "Supercapacitor behaviors of carbon quantum dots by green synthesis method from tea fermented with kombucha," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 147, p. 106738, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.mssp.2022.106738.
- [14] Ç. Kırbıyık, A. Toprak, C. Başlak, M. Kuş, and M. Ersöz, "Nitrogen-doped CQDs to enhance the power conversion efficiency of perovskite solar cells via surface passivation," *J. Alloys Compd.*, vol. 832, p. 154897, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jallcom.2020.154897.
- [15] J. Tang et al., "Carbon Nanodots Featuring Efficient FRET for Real-Time Monitoring of Drug Delivery and Two-Photon Imaging," *Adv. Mater.*, vol. 25, no. 45, pp. 6569–6574, Dec. 2013, doi: 10.1002/adma.201303124.
- [16] R. Wang, K. Q. Lu, Z. R. Tang, and Y. J. Xu, "Recent progress in carbon quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalysis," *J. Mater. Chem. A*, vol. 5, no. 8, pp. 3717–3734, 2017, doi: 10.1039/c6ta08660h.
- [17] M. Liu, Y. Xu, F. Niu, J. J. Gooding, and J. Liu, "Carbon quantum dots directly generated from electrochemical oxidation of graphite electrodes in alkaline alcohols and the applications for specific ferric ion detection and cell imaging," *Analyst*, vol. 141, no. 9, pp. 2657–2664, 2016, doi: 10.1039/C5AN02231B.
- [18] L. Tian, D. Ghosh, W. Chen, S. Pradhan, X. Chang, and S. Chen, "Nanosized Carbon Particles From Natural Gas Soot," *Chem. Mater.*, vol. 21, no. 13, pp. 2803–2809, Jul. 2009, doi: 10.1021/cm900709w.
- [19] C.-X. Li, C. Yu, C.-F. Wang, and S. Chen, "Facile plasma-induced fabrication of fluorescent carbon dots toward high-performance white LEDs," *J. Mater. Sci.*, vol. 48, no. 18, pp. 6307–6311, Sep. 2013, doi: 10.1007/s10853-013-7430-6.
- [20] V. B. Kumar, J. Tang, K. J. Lee, V. G. Pol, and A. Gedanken, "In situ sonochemical synthesis of luminescent Sn@C-dots and a hybrid Sn@C-dots@Sn anode for lithium-ion batteries," *RSC Adv.*, vol. 6, no. 70, pp. 66256–66265, 2016, doi: 10.1039/C6RA09926B.
- [21] Z.-C. Yang et al., "Intrinsically fluorescent carbon dots with tunable emission derived from hydrothermal treatment of glucose in the presence of monopotassium phosphate," *Chem. Commun.*, vol. 47, no. 42, p. 11615, 2011, doi: 10.1039/c1cc14860e.
- [22] S. Dey, A. Govindaraj, K. Biswas, and C. N. R. Rao, "Luminescence properties of boron and nitrogen doped graphene quantum dots prepared from arc-discharge-generated doped graphene samples," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 595–596, pp. 203–208, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.cplett.2014.02.012.
- [23] J. Jiang, Y. He, S. Li, and H. Cui, "Amino acids as the source for producing carbon nanodots: microwave assisted one-step synthesis, intrinsic photoluminescence property and intense

chemiluminescence enhancement,” *Chem. Commun.*, vol. 48, no. 77, p. 9634, 2012, doi: 10.1039/c2cc34612e.

[24] J. Zhou, Z. Sheng, H. Han, M. Zou, and C. Li, “Facile synthesis of fluorescent carbon dots using watermelon peel as a carbon source,” *Mater. Lett.*, vol. 66, no. 1, pp. 222–224, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.matlet.2011.08.081.

[25] A. Tyagi, K. M. Tripathi, N. Singh, S. Choudhary, and R. K. Gupta, “Green synthesis of carbon quantum dots from lemon peel waste: applications in sensing and photocatalysis,” *RSC Adv.*, vol. 6, no. 76, pp. 72423–72432, 2016, doi: 10.1039/C6RA10488F.

[26] Z. Ramezani, M. Qorbanpour, and N. Rahbar, “Green synthesis of carbon quantum dots using quince fruit (*Cydonia oblonga*) powder as carbon precursor: Application in cell imaging and As<sup>3+</sup> determination,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 549, pp. 58–66, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.04.006.

[27] C.-L. Li et al., “Carbon dots prepared from ginger exhibiting efficient inhibition of human hepatocellular carcinoma cells,” *J. Mater. Chem. B*, vol. 2, no. 28, p. 4564, 2014, doi: 10.1039/c4tb00216d.

[28] A.-M. Alam, B.-Y. Park, Z. K. Ghouri, M. Park, and H.-Y. Kim, “Synthesis of carbon quantum dots from cabbage with down- and up-conversion photoluminescence properties: excellent imaging agent for biomedical applications,” *Green Chem.*, vol. 17, no. 7, pp. 3791–3797, 2015, doi: 10.1039/C5GC00686D.

[29] C. Karaman, “Orange Peel Derived-Nitrogen and Sulfur Co-doped Carbon Dots: a Nano-booster for Enhancing ORR Electrocatalytic Performance of 3D Graphene Networks,” *Electroanalysis*, vol. 33, no. 5, pp. 1356–1369, May 2021, doi: 10.1002/elan.202100018.

[30] V. Ramar, S. Moothattu, and K. Balasubramanian, “Metal free, sunlight and white light based photocatalysis using carbon quantum dots from *Citrus grandis*: A green way to remove pollution,” *Sol. Energy*, vol. 169, pp. 120–127, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.04.040.

[31] M. Sabet and K. Mahdavi, “Green synthesis of high photoluminescence nitrogen-doped carbon quantum dots from grass via a simple hydrothermal method for removing organic and inorganic water pollutions,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 463, no. June 2018, pp. 283–291, 2019, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.08.223.

[32] M. Asha Jhonsi and S. Thulasi, “A novel fluorescent carbon dots derived from tamarind,” *Chem. Phys. Lett.*, vol. 661, pp. 179–184, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.cplett.2016.08.081.

[33] S. Ahmadian-Fard-Fini, M. Salavati-Niasari, and H. Safardoust-Hojaghan, “Hydrothermal green synthesis and photocatalytic activity of magnetic CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>–carbon quantum dots nanocomposite by turmeric precursor,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 21, pp. 16205–16214, Nov. 2017, doi: 10.1007/s10854-017-7522-1.

[34] W. Li, Z. Yue, C. Wang, W. Zhang, and G. Liu, “An absolutely green approach to fabricate carbon nanodots from soya bean grounds,” *RSC Adv.*, vol. 3, no. 43, p. 20662, 2013, doi: 10.1039/c3ra43330g.

- [35] Z. W. Heng, W. C. Chong, Y. L. Pang, L. C. Sim, and C. H. Koo, "Photocatalytic degradation of organic pollutants using green oil palm frond-derived carbon quantum dots/titanium dioxide as multifunctional photocatalysts under visible light radiation," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 51, pp. 21–34, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.cjche.2021.10.021.
- [36] M. Shafique, M. S. Mahr, M. Yaseen, and H. N. Bhatti, "CQD/TiO<sub>2</sub> nanocomposite photocatalyst for efficient visible light-driven purification of wastewater containing methyl orange dye," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 278, p. 125583, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.matchemphys.2021.125583.
- [37] P. H. Davis, "Additamenta ad floram anatoliae: II," *Kew Bull.*, vol. 6, no. 1, p. 63, 1951, doi: 10.2307/4120290.
- [38] H. Ding, L.-W. Cheng, Y.-Y. Ma, J.-L. Kong, and H.-M. Xiong, "Luminescent carbon quantum dots and their application in cell imaging," *New J. Chem.*, vol. 37, no. 8, p. 2515, 2013, doi: 10.1039/c3nj00366c.
- [39] S. F. Lim et al., "In Vivo and Scanning Electron Microscopy Imaging of Upconverting Nanophosphors in *Caenorhabditis elegans*," *Nano Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 169–174, Feb. 2006, doi: 10.1021/nl0519175.
- [40] E. Karacaoglu, O. A. Yildirim, T. Ozturk, and M. Gul, "Effect of lanthanum doping on structural, optical, and photocatalytic properties of YVO<sub>4</sub>," *J. Mater. Res.*, vol. 38, no. 14, pp. 3536–3547, 2023, doi: 10.1557/s43578-023-01077-8.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Fruit Sorting Automation; Cartesian Robot and Conveyor Design

Mustafa Ayyıldız<sup>a\*</sup>, Yusuf Kenan Çiftçi<sup>a</sup>, Kubilay Kilecioğlu<sup>a</sup>, Ömer Faruk Arslan

<sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: mustafaayyildiz@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1400615

### ABSTRACT

The quality control process, the process of sorting the products in the conveyor belt into intact, bruised, rotten, and raw types, is carried out by people. However, due to the human factor in the sorting process, achieving a certain standard and working consistently at the same efficiency is difficult. Therefore, performing this process autonomously using image processing, cartesian robots, and conveyor belt technologies is essential in terms of both accelerating the process and reducing its cost.

In this study, pick and place cartesian robot and conveyor belt are designed to be integrated for fruit sorting automation. The fruits whose image processing is completed are positioned in the conveyor belt. By adding partitions in the conveyor belt, the fruits falling from the image processing mechanism are ensured to reach the cartesian robot without changing their position. The cartesian robot starts moving according to the position of the fruit on the conveyor. When it reaches the location of the fruit, it holds it with the help of a vacuum generator and leaves it in the storage areas separated according to the condition of the fruit (color, damaged, undamaged). Thanks to the designed cartesian robot, it aims to minimize the error rate by sorting faster, less costly, and more reliable way. The study aims to provide physical separation. Using the prepared system in the industry aims to minimize labor costs and errors that may occur in the human factor.

**Keywords:** Cartesian robot, Conveyor Belt, Automation.

## Meyve Ayırıştırma Otomasyonu; Kartezyen Robot ve Konveyör Tasarımı

### ÖZET

Kalite kontrol işlemi, konveyör banttaki ürünleri sağlam, ezik, çürük ve ham şeklinde ayıklama prosesi insanlar tarafından yapılmaktadır. Fakat ayıklama işleminde insan faktöründen dolayı belli bir standart yakalayabilmek ve istikrarlı şekilde aynı verimde çalışmak zordur. Bu nedenle bu işlemin görüntü işleme, kartezyen robot ve konveyör bant teknolojileri kullanılarak otonom şekilde yapılması hem işlemin hızlanması hem de maliyetinin azalması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, meyve ayırıştırma otomasyonu için al ve yerleştir kartezyen robot ve konveyör bant sistemi birbirine entegre olacak şekilde tasarlanmıştır. Görüntü işleme tamamlandıktan sonra meyveler konveyör bantın üzerine konumlandırılmaktadır. Konveyör bant üzerine bölmeler ekleyip görüntü işleme mekanizmasından düşen meyvelerin konumunu değiştirmeden kartezyen robota ulaşması sağlanmaktadır. Kartezyen robot, konveyörün üzerinde bulunan meyvenin konumuna göre harekete



başlamaktadır. Meyvenin konumuna ulaştığında bir vakum jeneratörü yardımıyla tutma işlemi yaparak, meyvenin durumuna göre (renk, hasarlı, hasarsız) ayrılan depolama alanlarına bırakma işlemini yapmaktadır. Tasarlanan kartezyen robot sayesinde daha hızlı, daha az maliyetli ve güvenilir bir şekilde ayırıştırma yaparak hata oranı minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada hedeflenen fiziki olarak ayırıştırma sağlamaktır. Hazırlanan sistemin endüstride kullanılacak olması ile işçilik maliyetini en aza indirmesi ve insan faktöründe oluşabilecek hataları minimize etmek hedeflenmektedir.

*Anahtar Kelimeler: Kartezyen robot, Konveyör Bant, Otomasyon.*

## **I. INTRODUCTION**

According to the research titled "Global Food Losses and Food Waste" prepared by the UN Food and Agriculture Organization, 95% of food losses in developing countries occur "unintentionally" in the early stages of the supply chain (until it reaches the facility to be processed). These losses are caused by financial, administrative, and technical disruptions or inadequacies in production and harvesting techniques, transportation, storage and cooling, public infrastructure, transportation vehicles, packaging, and distribution systems. Loss rates can be up to 15% of the total production in grains and legumes and 35% in fruits and vegetables [1]. This situation reduces the consumer's trust in the manufacturer and causes the brand value to decrease.

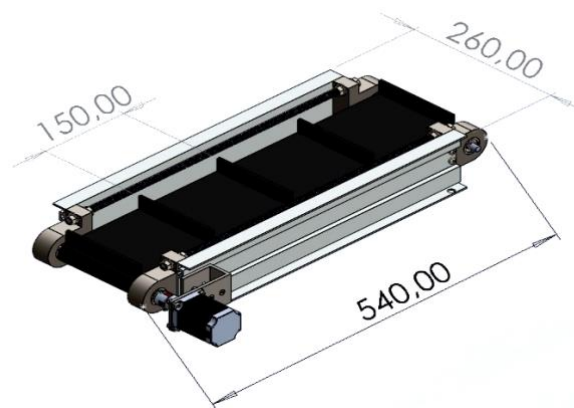
Humans carry out the quality control process on conveyor belts by sorting them into solid, crushed, rotten, and raw [2]. However, due to the human factor in the sorting process, achieving an exact standard and working consistently at the same efficiency is difficult. Therefore, performing this process autonomously using robots and image processing technology is vital in terms of both speeding up the process and reducing its cost. In the literature, Zhang et al. (2021) used image processing and parsing systems on the screw conveyor [3]. Erdoğan (2012) designed a system based on faulty product detection and classification in the processes that the product goes through in the conveyor belt until packaging [4]. Parlar et al. (2021) made a product placement system with robot guidance by performing image processing-based position analysis of the products coming in the conveyor belt [5]. Patil et al. (2016) conducted a study classifying fruit as defective, unripe, underripe, and overripe. They conducted the classification process using three paths and three separate pistons on the conveyor [6]. Kulaksız (2010) provided image processing support for parallel robot control. Thanks to the camera, the image is processed, and the position information is accurately transmitted to the parallel robot, which enables it to hold and stack the product, whose position is changing, from different positions with the vacuum gripper [7]. Dragusu et al. (2012) designed a 4-wheeled robotic arm for the pick-and-place robotic system. The process of picking up and placing objects was carried out with the gripper mechanism placed at the end of the robot arm [8]. Sarıyıldız and Demirhan (2021) detected red, blue, and green objects coming from the conveyor with a camera and sorted them according to the object's color with the help of a robotic arm. They managed to separate 150 objects, consisting of five blue, five red, and five green objects, with a success rate of 100% [9]. Arikapudi and Vougioukas (2023) aimed to guide the design of harvesting robots utilizing arrays of three degrees of freedom cartesian arms [10]. Altawil and Can (2023) provided a new methodology for multitasking in agricultural operations by designing a four-degrees-of-freedom robotic arm with different configurations and two grippers. They controlled the robotic arm with the Robot Operating System (ROS). [11]. Şenel and Çetişli (2015) identified the faulty products coming on the conveyor belt and sorted them with a robotic arm [12].

This study covers the design of the cartesian robot and the conveyor belt, which is the transport part of the fruit sorting automation. In automation, the products coming in the conveyor belt will be stored in the desired areas with the help of the cartesian robot. For the purpose of the conveyor belt, the fruit whose image processing is completed will be supported with a rubber sponge in the conveyor belt in case of damage when falling in the conveyor belt. This is to prevent the fruit from being damaged. The Raspberry Pi 4 control card provided control of the automation.

## **II. MATERIAL METHOD**

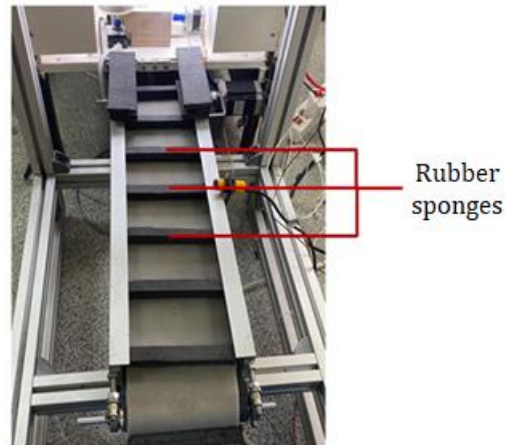
### **A. CONVEYOR BELT**

Conveyor belts are widely used in various industries, such as automotive, food, logistics, mining, packaging, and material handling. They are used in production lines to move materials from one workstation to another, carry out packaging, or organize materials in storage areas. Conveyor belts are faster and more efficient than manually moving materials. Thanks to the automatic working principle, manpower is saved, and production speed is increased. In this study, a special conveyor belt was designed and manufactured to regularly transport the fruits, whose image processing process was completed, to the area where the cartesian robot will carry out physical sorting without any damage. Figure 1 shows a model image of the conveyor belt system.



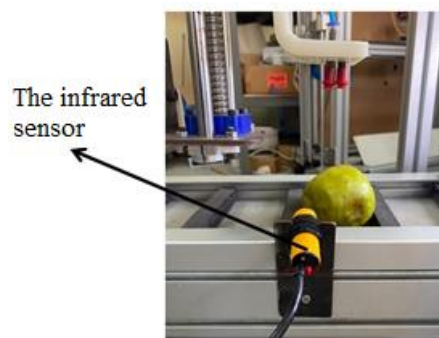
*Figure 1. Model image of the conveyor belt system.*

The side chassis of the conveyor belt system was selected from aluminum material and was determined to be a conveyor profile with dimensions of 25x105x530 mm. Tension and drive drums were made of aluminum material with a diameter of 30 mm and a length of 240 mm. The transmission band was made of blue tarpaulin, and its dimensions are 140x1320 mm. To prevent damage to the fruit, a flooring sponge measuring 5x140x1320 mm was fixed in the conveyor belt. In Figure 2, the conveyor belt system aims to ensure that the fruit (apple) falling from the image processing mechanism is transmitted to the cartesian robot without changing its position. To prevent the apple from changing its position, partitions measuring 70x140 mm were added to the conveyor belt. Nema 23, 2 Nm stepper motor was chosen for the movement of the conveyor belt. Python programming language was used with the Raspberry Pi 4 control card to control the Nema 23 stepper motor. With this programming language, parameters such as the number of steps, rotation speed and acceleration of the motor can be adjusted. TB6600 Motor driver was used to control the stepper motor and determine the desired speed.



*Figure 2. Conveyor belt application.*

The movement of the conveyor belt was stopped using an infrared sensor. The infrared sensor was positioned in the conveyor belt, parallel to the belt. The conveyor belt is programmed to stop when the infrared sensor detects fruits moving on the belt. In this way, the position of the fruit was determined so that the cartesian robot could perform holding and placing operations. Figure 3 shows the installation of the infrared sensor in the conveyor belt.



*Figure 3. The infrared sensor installation in the conveyor belt.*

## **B. CARTESIAN ROBOT**

A cartesian robot was designed and integrated into the system to ensure the physical separation of fruits, which is the last step of fruit sorting automation. The cartesian robot was preferred in the physical sorting part of fruit sorting automation, minimizing the margin of error by eliminating human hand touch, thanks to its fast and efficient transportation processes and safe and controlled release processes. A 40x40 mm aluminum profile was used to create the skeleton of the cartesian robot system. Figure 4 shows the model image of the cartesian robot and the coordinates of the joints.

The Denavit-Hartenberg (DH) method is mostly used to create the kinematic model of robots in space. In this study, robot kinematics were derived using four main variables, as in the DH method. These variables are the bond length  $a_{i-1}$  between the two axes,  $\alpha_{i-1}$ , the bond angle between (i-1) and i, the joint misalignment  $d_i$  between the overlapping bonds, and the joint angle  $\theta_i$  between the two bonds. These four variables are referred to as the DH variable [13]. In the figure 4,  $d_1$ ,  $d_2$  and  $d_3$  are joint variables, respectively. DH variables were obtained as in Table 1 using the cartesian robot coordinate system.

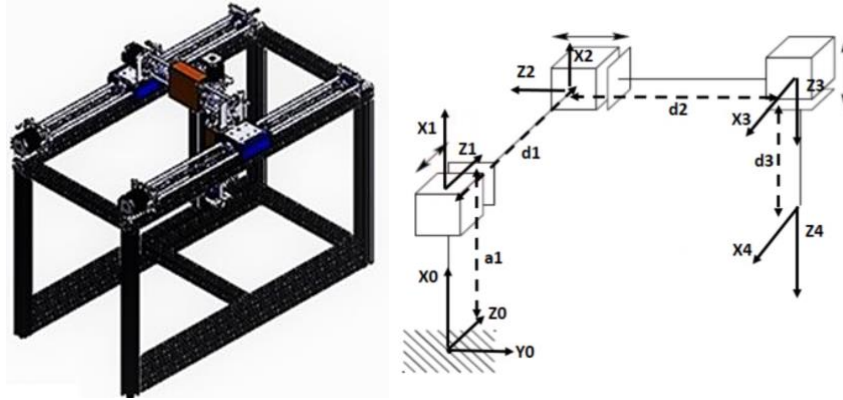


Figure 4. Model view and coordinates of the cartesian robot.

Table 1. DH variables.

DH variables				
$i$	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	a1	0	0
2	90	0	d1	0
3	90	0	-d2	-90
4	0	0	d3	0

Table 1,  $i$  shows the joint row; the lengths are given in mm, and the angles are given in radians. The general transformation matrix given below can be used to obtain the forward kinematic equations of the robot mechanism using DH variables [13].

$$T_{i-1}^i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Equation 1, C denotes cosine, and S denotes sine. If the DH parameters are respectively replaced in the transformation matrix given in Equation 1, the forward direction transformation matrices required for each joint of the mechanism are obtained as follows [14].

$$T_0^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & a_1 - d_3 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ -1 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

While Equation 2 gives the orientation matrix of the 3x3 matrix in the first three rows and columns of the  $T_0^5$  matrix, the first three elements of the last column give the position of the end function in 3-dimensional space. The position of the end functionalist was expressed in Equation 3.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 - d_3 \\ d_2 \\ d_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

To drive the cartesian robot, Nema 23 stepper motors with a power of 2.2 Nm were used, 2 in the X axis, 1 in the Y axis, and 1 in the Z axis, a total of 4 in total. The control of Nema 23 stepper motors used to drive the cartesian robot is provided by the TB6600 driver card. Python software language and GPIO library, and Raspberry Pi 4 as the controller card, were used to integrate the necessary processes,

such as the axial movements of the cartesian robot, the starting and stopping of the drive of the stepper motors, and the movement of the cartesian robot to the reference point at the end of the process. Figure 5 shows the driver and Raspberry Pi 4 connection of the stepper motor. Continuity of movement in the axes was ensured by 12 mm diameter linear shafts and 16 mm diameter ball screws. Parts measuring 50x100x100 mm were used to connect ball screws and linear shafts, and other stepper motors. Its parts measuring 50x100x100 mm were manufactured using 3D printers (Figure 6).

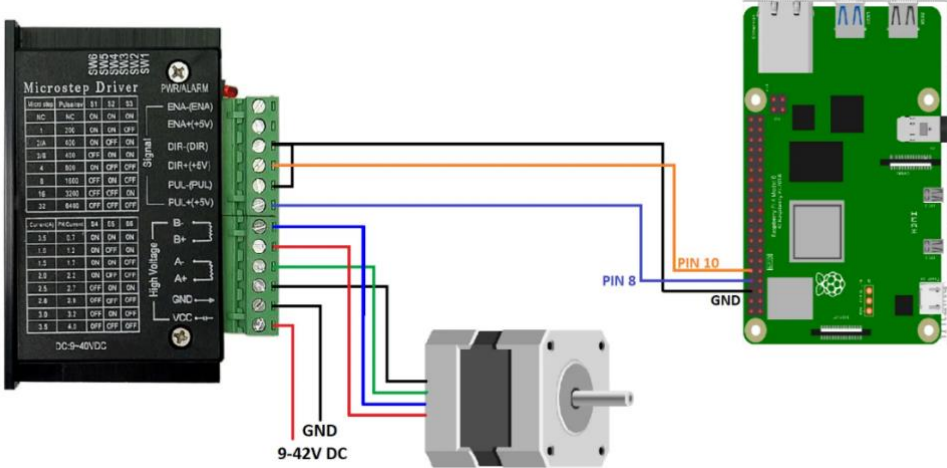


Figure 5. Stepper motor driver and Raspberry Pi 4 connection.

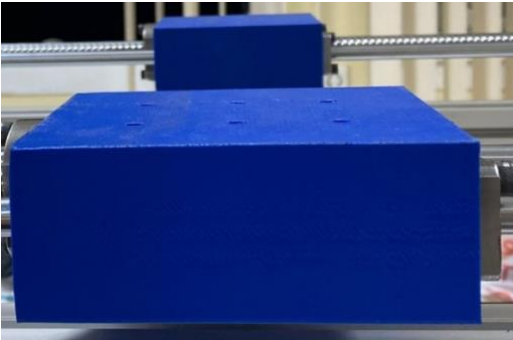
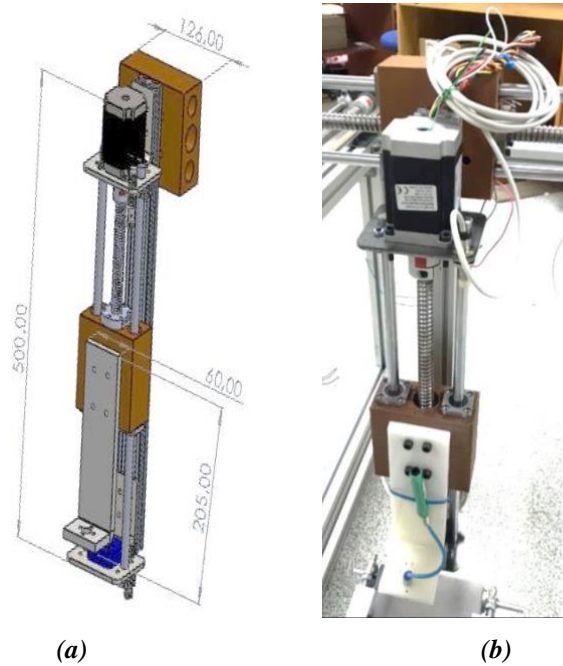
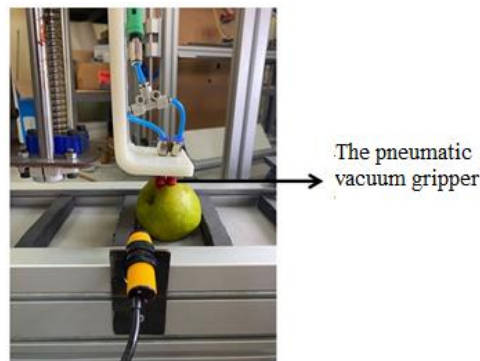


Figure 6. Assembly of parts used for axial movement on the cartesian robot.

The Z axis of the cartesian robot was used to take the fruits from the conveyor belt (Figure 7). A pneumatic vacuum holder was added to a specially manufactured L plate on the Z axis of the robot. Since the part on which the pneumatic vacuum gripper is assembled has a modular structure, it has been possible to carry out holding, carrying, and releasing operations by using different parts depending on the areas where the cartesian robot will be used. The pneumatic vacuum gripper carried out the transportation and placement of the fruits without mechanical damage with the air taken from the vacuum generator (Figure 8).

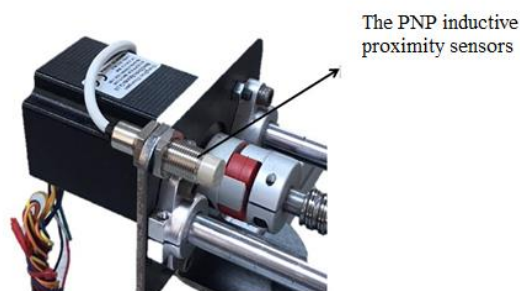


**Figure 7.** Z axis of the Cartesian robot (a) Modeling of the Z axis, (b) Assembly of the Z axis.

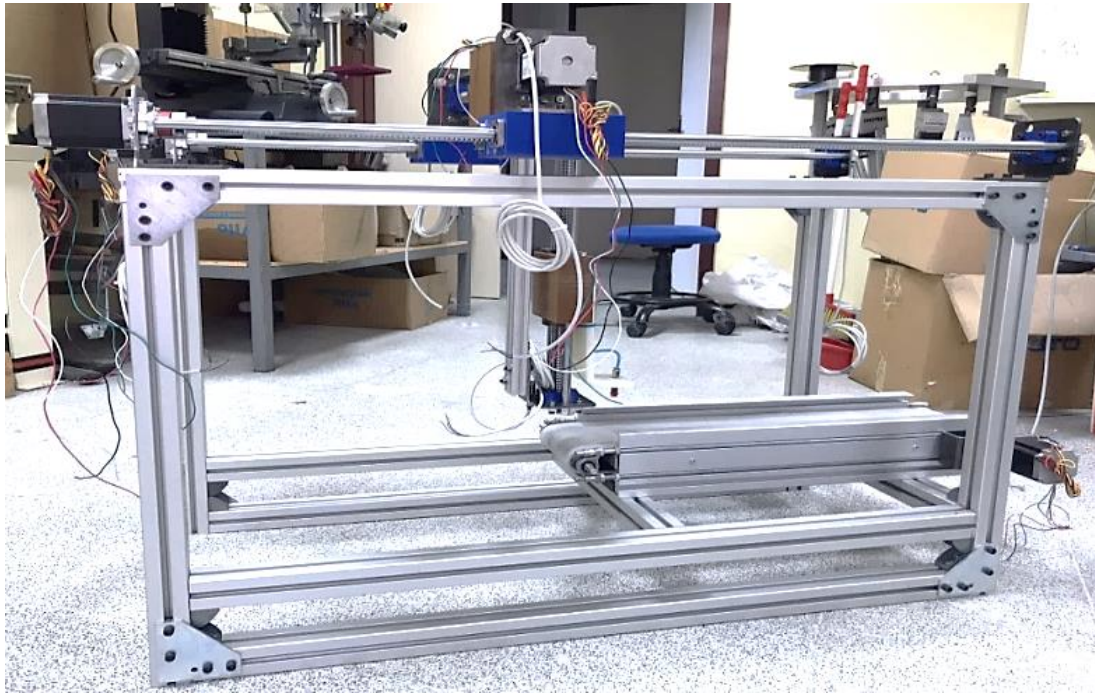


**Figure 8.** The pneumatic vacuum gripper assembly of the cartesian robot.

PNP inductive proximity sensors, which enable essential tasks such as material detection and position detection, were used to prevent the moving system from hitting the walls. The PNP proximity sensor used was mounted on the sheet metals where the stepper motors used to start the drive were located (Figure 9). Python software language and GPIO library were used to control the PNP proximity sensor, and Raspberry Pi 4 was used as the controller card. Figure 10 shows the final assembled version of the cartesian robot.

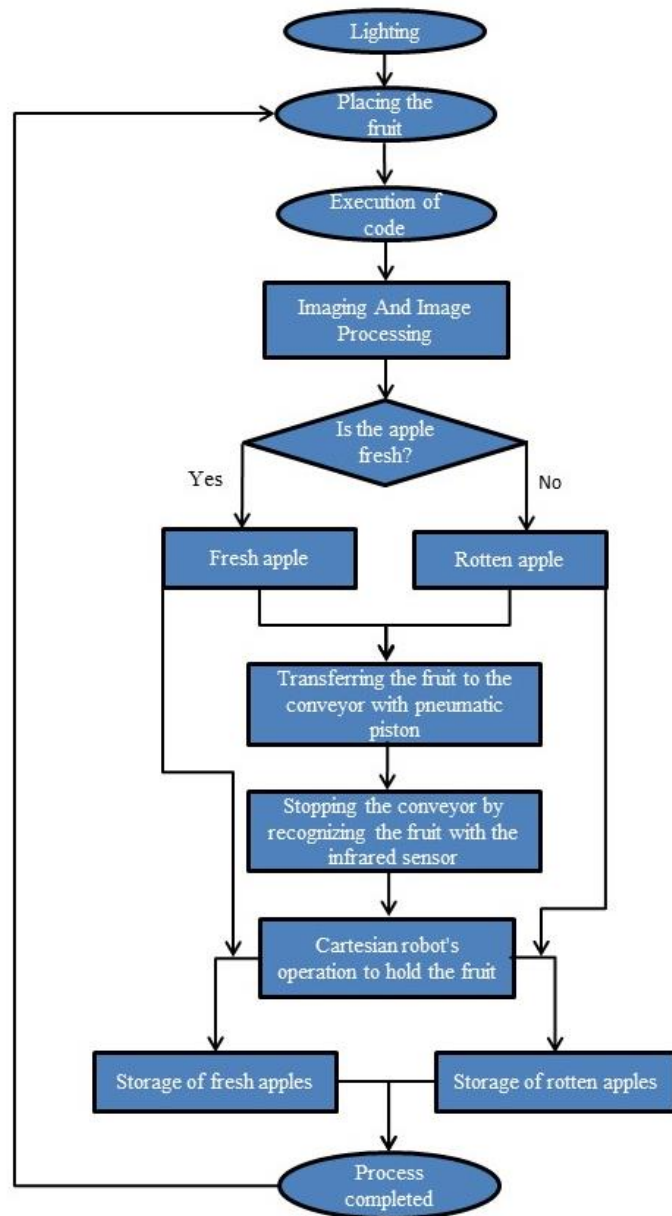


**Figure 9.** Installation of inductive sensors used in the cartesian robot.

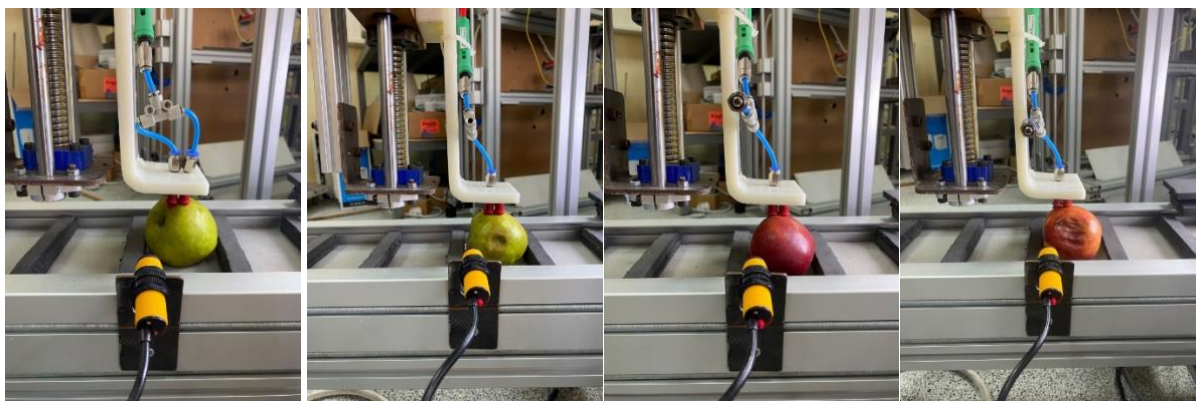


*Figure 10. Completed assembly view of the cartesian robot.*

After the manufacturing and installation of the fruit sorting automation was completed, the sorting of rotten and healthy apples in red and green colors was carried out. The process is shown in the flow diagram in Figure 11. After the infrared sensor detected the apples, the conveyor belt movement ended. Simultaneously with the end of the conveyor belt movement, the cartesian robot Z axis movement was enabled, and the operation of the pneumatic vacuum gripper on the Z axis to hold the fruits in the conveyor belt was carried out autonomously (Figure 12). After the apple was held with the pneumatic vacuum gripper, the Z axis completed its movement to the determined safe distance. After completing the movement in the Z axis, the cartesian robot autonomously completed the separation and release processes of the apple, according to the output results of a healthy apple or rotten apple during the image processing process (Figure 13). Figure 14 and Figure 15 shows the entire model of fruit sorting automation.



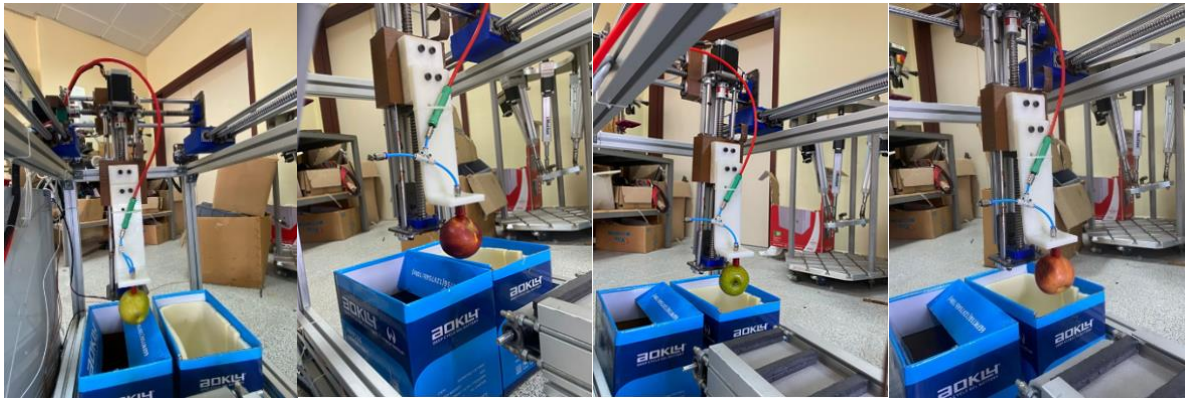
*Figure 11. Fruit sorting automation flow diagram.*



*(a) (b) (c) (d)*

*Figure 12. The process of the pneumatic vacuum gripper holding different apples, (a) Fresh green apple, (b) Rotten green apple, (c) Fresh red apple, (d) Rotten red apple.*





(a) (b) (c) (d)

Figure 13. Decomposition process of apples, (a) Fresh green Apple, (b) Fresh red apple, (c) Rotten green Apple, (d) Rotten red apple.

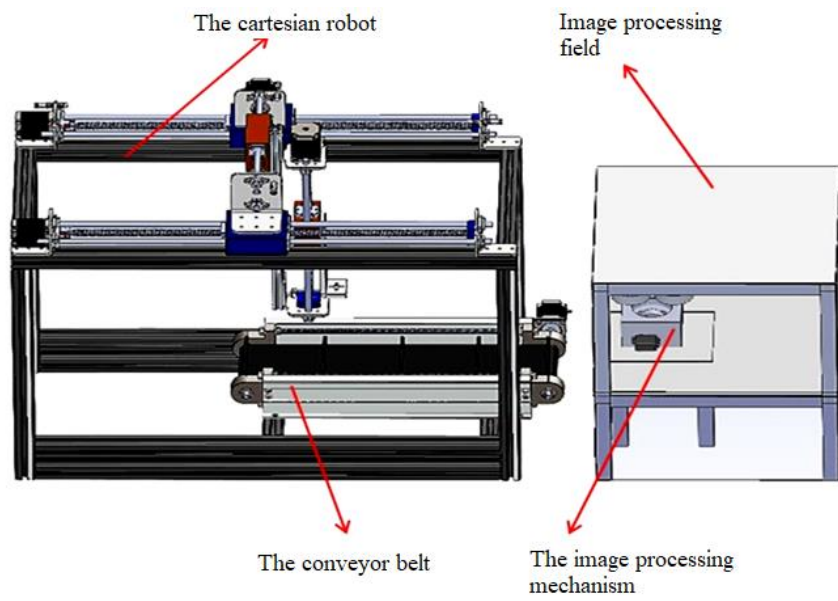
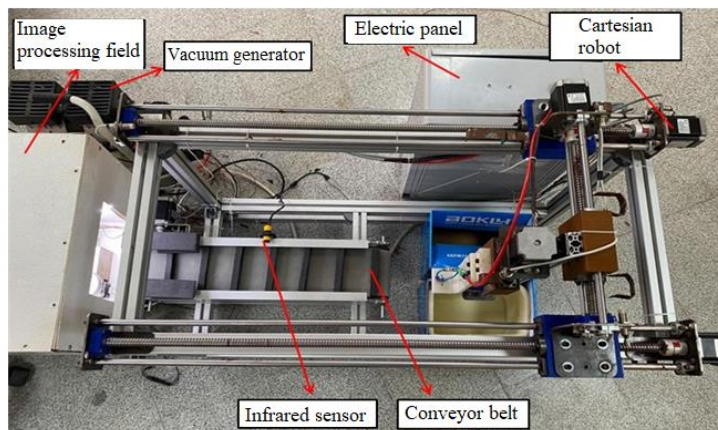
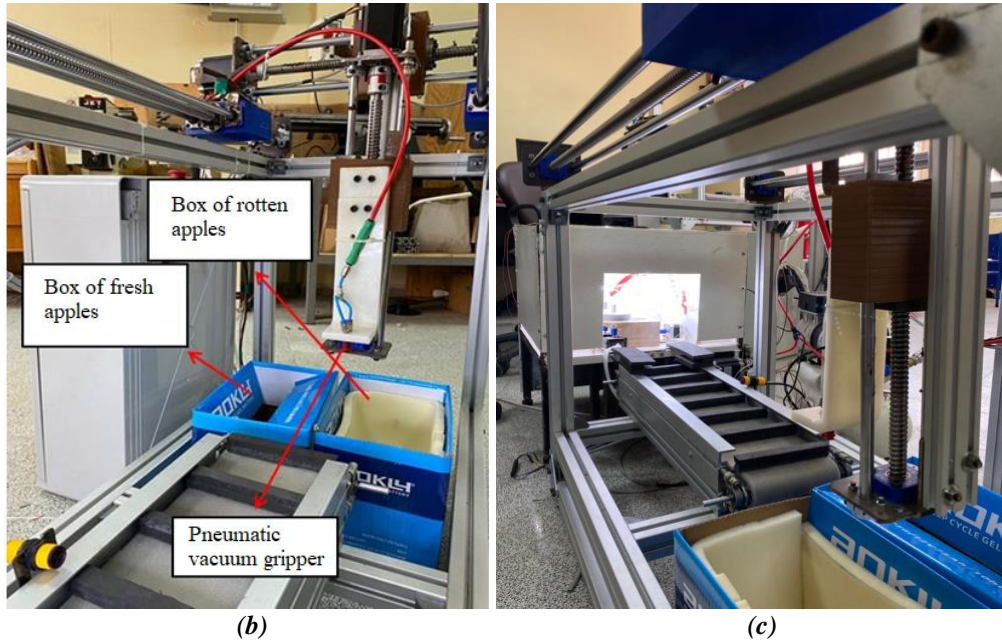


Figure 14. Model view of the entire system.



(a)



**Figure 15.** View of the entire system, (a) Top view, (b) The cartesian robot view, (c) The image processing mechanism view.

### III. CONCLUSION

The top priority is to ensure that the apples are not damaged during the conveyor belt transportation. The sponge covered in the conveyor belt to prevent the apples from being damaged successfully ensured that the fruits were transmitted to the cartesian robot without being damaged. The conveyor belt system provided that the apple falling from the image processing mechanism was transmitted to the cartesian robot without changing its position. Partitions measuring 70x140 mm were added to the conveyor belt to prevent the apple from changing its position. Adhesive rubber to create the compartments enabled the apples to be transmitted to the cartesian robot without damaging or changing their position. Nema 23 stepper motors and TB660 motor drivers used in the cartesian robot and the conveyor belt system were successfully connected to the Raspberry Pi 4 control card, enabling movement. The use of inductive sensors increased the positioning accuracy of the robot. Sensors enabled the robot's axes to be accurately targeted and move precisely to the desired target points. Thus, the robot's working processes achieved greater precision and repeatability. Additionally, inductive sensors enabled the robot to accurately determine position information, prevent axes from colliding, and perform movements precisely. This way, the robot worked more safely, efficiently, and precisely.

**Table 2.** Performance of the developed system

	<b>Positioning at the reference point</b>	<b>Apple detection from the conveyor belt</b>	<b>Placing apples in relevant boxes</b>
<b>The conveyor belt speed</b>	126 mm/s	126 mm/s	-
<b>The cartesian robot speed</b>	19.4 mm/s	-	19.4 mm/s
<b>Running time</b>	33 s	2 s	72 s

The developed system sorted rotten and fresh apples at a conveyor speed of 126 mm/s, and the cartesian robot machine's speed was 19.4 mm/s (Table 2). Before starting the image processing process in fruit sorting automation, the cartesian robot was sent to the specified reference point from the coordinates X0, Y0, and Z0. The cartesian robot completed this first movement in 33 seconds at a speed of 19.4 mm/s. The apples were transferred onto the conveyor belt without any damage, and thanks to the partitions added to the conveyor belt, they were prevented from moving on the belt. In this way, the apple is recognized when it comes in front of the infrared sensor. After the infrared sensor recognized

the apple, it started to move for the holding operation on the Z axis of the cartesian robot. The process of detecting the apples transferred from the image processing mechanism by the conveyor belt by the infrared sensor after the conveyor started working took 2 seconds at a speed of 126 mm/s. The infrared sensor detected the fruit in the conveyor belt and stopped its movement.

As the cartesian robot started to move for the Z axis holding operation, the vacuum generator was activated for the holding operation by automatically opening the relay circuit of the solenoid valve to which the pneumatic vacuum gripper on the axis was connected. In this way, the pneumatic vacuum gripper was able to lift the apple from the conveyor belt. The process of the cartesian robot holding the apples in the conveyor belt and placing them in the relevant boxes was carried out in 72 seconds at a speed of 19.4 mm/s. The designed cartesian robot and conveyor belt successfully operated the fruit conveying and transportation process.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is supported by TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program within the scope of project number 1919B012220300. It was presented as a summary and published at the 11th International Vocational Schools Symposium (UMYOS 2023).

## **V. REFERENCES**

- [1] N. Demirbaş, “Good agriculture applications with fruit in their gardens emerge coming out production , harvest and reaping post- losses Can it be reduced ,” XI. IBANESS Congresses Series , Tekirdağ , Turkey, 9(10), 289-296, 2019.
- [2] O. Cömert, M. Hekim , ADEM Kemal, “ Using Faster R-CNN in apples Rotten Detection ,” International Journal of Engineering Research and Development , 11(1), 335-341, 2019.
- [3] Z. Zhang, Y. Lu, R. Lu, “Development and evaluation of an apple infield grading and sorting system,” Postharvest Biology and Technology , 180, 111588, 2021.
- [4] T. Erdoğan, “ Moving conveyor on camera image with article recognition and objects in its place Do not put application ,” Doctoral dissertation , DEU Science Institute , 2012.
- [5] B. Parlar, N.Ö Sayar, Ö. Aydin, “Image Processing and Machinery to learn based Location Identification, Robot Arm Routing and Part Placement System .” 8th International Management Informatics Systems Conference (IMISC2021), 104-114, 2021.
- [6] K. Patil, S. Kadam, S. Kale, Y. Rachetti , K. Jagtap, KH Inamdar, “Machine Vision Based Autonomous Fruit Inspection and Sorting,” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 3(7), 413-417, 2016.
- [7] A. Kulaksız, “Image processing supported Parallel Robot control ,” Doctoral dissertation , Marmara University , 2010.
- [8] M. Dragusu, AN Mihalache, R. Solea , “Practical applications for robotic arms using image processing,” 16th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 1-6, 2012.
- [9] S.Ö. Sarıyıldız, A. Demirhan, “Image Processing Techniques and Objects with Robot Arm To categories Separation,” Uludağ University engineering Faculty Journal, 26(2), 547-556, 2021.


- [10] R. Arikapudi, S.G. Vougioukas, "Robotic Tree-fruit harvesting with arrays of Cartesian Arms: A study of fruit pick cycle times," *Computers and Electronics in Agriculture*, 211, 1-17, 2023.
- [11] B. Altawil, F.C. Can, "Design and Analysis of a Four DoF Robotic Arm with Two Grippers Used in Agricultural Operations," *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 11(2), 79-87, 2023.
- [12] F.A. Şenel, B. Çetişli, "Görüntü İşleme ve Beş Eksenli Robot Kol ile Üretim Bandında Nesne Denetimi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 158-161, 2015.
- [13] Z. Bingül, S. Küçük, "Robot Kinematığı," *Birsen Yayınları*, İstanbul, 1-7, 2009.
- [14] M. Ayyıldız, K. Çetinkaya, "Comparison of four different heuristic optimization algorithms for the inverse kinematics solution of a real 4-DOF serial robot manipulator," *Neural Computing and Applications*, 27, 825-836, 2015.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Majority Rule-based Vibrational Signal Analysis Method for the Fault Diagnosis of Rolling-Element Bearing of Vehicle Brake Tester

 Selman KULAÇ

Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TURKEY

Corresponding author's e-mail address: [selmankulac@duzce.edu.tr](mailto:selmankulac@duzce.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1383600

### ABSTRACT

Vehicles with different weights are subjected to vehicle brake tests at vehicle inspection stations at regular intervals due to government regulations. Safety and efficacy of vehicle roller brake testers are important for reliable inspections at vehicle inspection stations. Over time, mechanical faults occur in these vehicle roller brake testers. Failure of the rolling-element bearing used in vehicle roller brake testers is one of the most common faults. In this study, total energy, mean, variance, cross-correlation and correlation coefficient values of median filtered signals were calculated based on the signals obtained using real-time vibration measurement data of rolling-element bearings used in a vehicle brake tester. With this study, it has been confirmed that, with use over time, the values acquired by all the methods go up and exceed the thresholds identified. Proposed majority rule based combined excession of these thresholds expresses that the rolling-element bearing used in a vehicle roller brake tester is too close to a mechanical fault.

**Keywords:** Rolling-element bearing, Fault diagnosis, Vibration measurement, Vibration signals

## Araç Fren Test Cihazının Döner Elemanlı Rulmanın Arıza Teşhisi için Çoğunluk Kuralına Dayalı Titreşimsel Sinyal Analizi Yöntemi

### ÖZET

Farklı ağırlıktaki araçlar, yasal düzenlemeler gereği düzenli aralıklarla araç muayene istasyonlarında araç fren testlerine tabi tutulmaktadır. Araç fren test cihazlarının güvenliği ve etkinliği, araç muayene istasyonlarında güvenilir denetimler için önemlidir. Zamanla bu araç fren test cihazlarında mekanik arızalar oluşmaktadır. Araç fren test cihazlarında kullanılan döner elemanlı rulmanın arızalanması ise en sık karşılaşılan arızalardandır. Bu çalışmada bir araç fren test cihazında kullanılan döner elemanlı rulmanların gerçekçi titreşim ölçüm verileri kullanılarak elde edilen sinyallere dayalı olarak, medyan filtrelili sinyallerin toplam enerji, ortalama, varyans, çapraz korelasyon ve korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışma ile zaman içerisinde kullanılanlarla tüm yöntemlerle elde edilen değerlerin yükselerek belirlenen eşikleri aştığı doğrulanmıştır. Bu eşiklerin çoğunluk kuralına dayalı olarak önerilen birleşik aşımı, bir araç fren test cihazında kullanılan döner elemanlı rulmanın mekanik bir arızaya çok yakın olduğunu ifade etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Döner elemanlı rulman, Arıza teşhisi, Titreşim ölçümü, Titreşim sinyalleri

# **I. INTRODUCTION**

Vehicles with different weights are subjected to vehicle brake tests at vehicle inspection stations at regular intervals due to government regulations. Safety and efficacy of vehicle roller brake testers are important for reliable inspections at vehicle inspection stations. Failure of the rolling-element bearing used in vehicle roller brake testers is the main cause of problems. Some studies on rolling-element bearing problems from the literature are presented below.

In [1], artificial local defects on the running surface of the ball bearing are built. Theoretical model and simulation program were developed for the ball bearing vibration measurements. It was demonstrated that experimental and theoretical results were correlated. In [2], the vibration monitoring and analysis were presented in order to detect failures in machineries that were running in real operating conditions. In [3], statistical moment analysis approaches were used to detect the bearing failures at an earlier stage. Various parametric auto-regressive spectrum analysis methods and conventional spectrum (correlogram) analysis techniques are applied and compared for ball bearing defects [4]. In [5], adaptive noise cancellation, fault characteristic order and rotational-order-sideband analyses to diagnose bearing fault type were presented. In [6], vibration analysis of normal state condition bearing and defected bearings running under different shaft speeds with two load levels were performed. Real time vibration signals are subjected to autocorrelation difference and Goertzel algorithm methods (different from the proposed methods in this study) and over time, the values acquired by all the methods rise and exceed the thresholds defined by the study [7]. But in [7], any combined or hybride evaluation of these two methods was not performed. In [8], fault detection in rolling mill roller bearings by acoustic emission and vibration analysis was examined. In [9] the authors described a number of signal processing techniques used to diagnose faults in rolling element bearings. Finally, in [10], a wireless three-axis on-rotor sensing system was developed to greatly improve the SNR, and fast Fourier transform and Hilbert envelope analysis were introduced for accurate early bearing fault detection.

In this study, according to the proposed majority rule-based combined vibrational signal analysis for the rolling-element bearing fault diagnosis, some thresholds indicating that the rolling element is approaching fault in short time were obtained. For any measurement, it is recommended to consider majority rule based combined excession of these thresholds expressing that the rolling-element bearing used in a vehicle roller brake tester is approaching fault.

# **II. METHODOLOGY**

In this section, real time vibration signals are used as before also used in [7]. Two rolling element bearings were used for comparison. The first one was used to get the measurement 1, 2 and 3 data, and the other was used to get the measurement 4 and 5 data for comparison. Their time domain representations (with figures) of median filtered vibration amplitude signals of first and second rolling-element bearings can be seen in [7]. In this study, different methods were discussed and higher performance was achieved with the combination of these new methods. These different methods were presented below.

Total energy of all median filtered vibration amplitude signals in time domain was calculated using 1.

$$E_T = \sum_{n=1}^N |x[n]|^2 \quad (1)$$

Here, the N-length discrete-time  $x[n]$  sequence corresponds to the vibration amplitude signals. The results

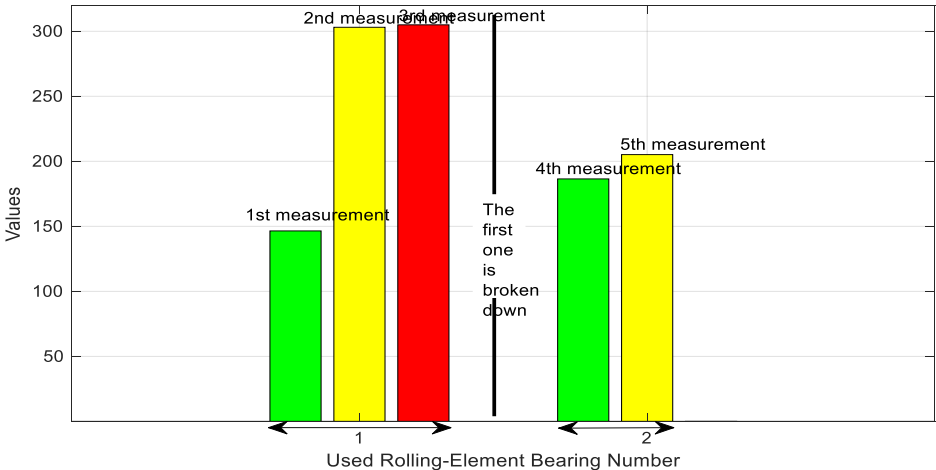
were obtained from 1 in time domain. As can be seen from Figure 1, the total energy values of the vibration signals increase over time. The first bearing was completely broken down and replaced with the new one. The 3<sup>rd</sup> measurement was taken before the first bearing was broken down, the vibration signal total energy reached a peak value of 304.934 (m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>. This value can be accepted as the threshold level. After the first bearing broke down, vibration energy for the second bearing went up from low to high over time.

Mean values of all median filtered vibration amplitude signals were calculated by 2 and presented in Figure 2.

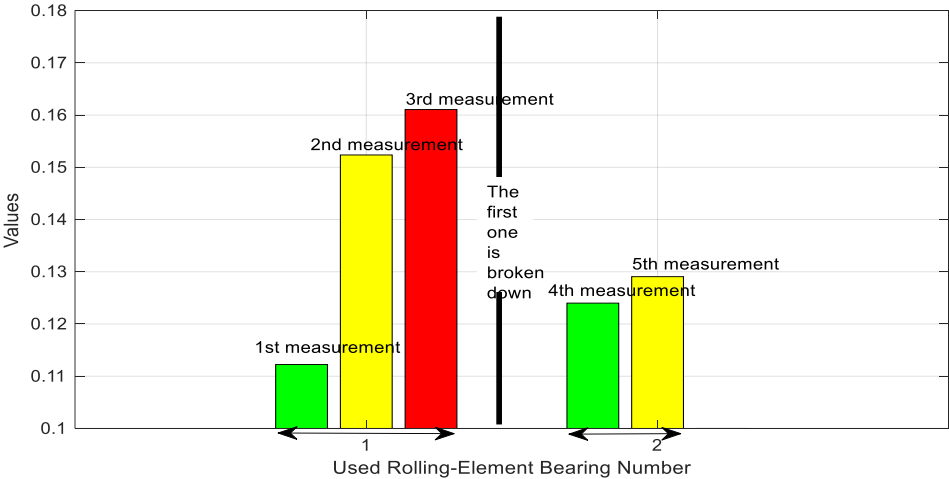
$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x[n] \tag{2}$$

Here, the N-length discrete-time x[n] sequence corresponds to the vibration amplitude signals.

As can be seen from Figure 2, mean values of the vibration signals increase over time. The final measurement (3<sup>rd</sup> one) before the first bearing was broken down, the vibration signal mean value reached to peak value of 0.1611 m/s<sup>2</sup>. This value can be accepted as the threshold level. After the first bearing broke down, vibration mean value for the second bearing went up from low to high over time.



**Figure 1.** Total energy values of filtered vibration amplitude signals from rolling-element bearings for each measurement

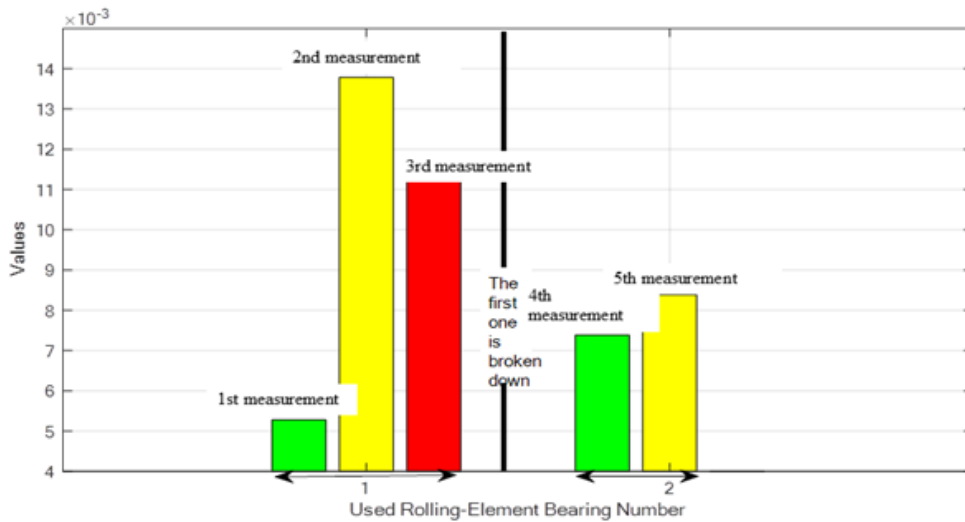


**Figure 2.** Mean values of filtered vibration amplitude signals from rolling-element bearings for each measurement

Variance values of all filtered vibration amplitude signals was calculated by 3 and presented in Figure 3.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \mu_x)^2 \quad (3)$$

Here, the N-length discrete-time  $x[n]$  sequence corresponds to the vibration amplitude signals.  $\mu$  is the mean value of  $x[n]$  sequence. It can be concluded from the Figure 3, as the time passes, variance values of the vibration signals rise. The measurement (2<sup>nd</sup> one) before the first bearing was broken down, the vibration signal variance value reached a peak value of 0.01378. Since the variance value for the vibration signal of 3<sup>rd</sup> measurement is lower than the value of 2<sup>nd</sup> one, peak value of 0.01378  $\text{m/s}^2$  can be accepted as the threshold level. After the first bearing was broken down, the vibration variance value for the second ball bearing went up from low to high over time.



**Figure 3.** Variance values of filtered vibration amplitude signals from rolling-element bearings for each measurement

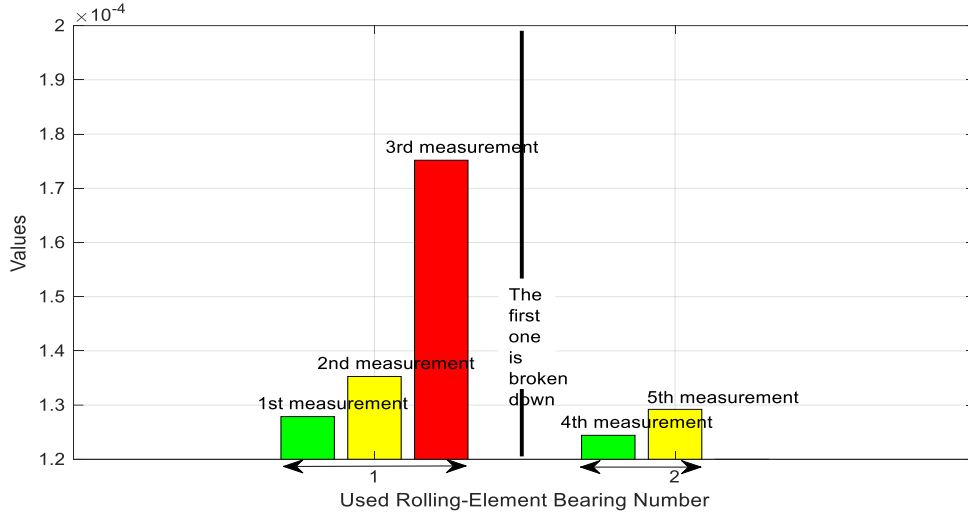
Cross correlation is a measure of the similarity of the two signals to each other. The cross correlation function is generated when one of the two signals is shifted (by  $n$  value) relative to the other and calculated by 4.

$$R_{xy}[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m+n]y[m] \quad (4)$$

The cross-correlation functions were created with reference to the vibration signal of 3<sup>rd</sup> measurement. Cross-correlation functions, which show the similarities of the 3<sup>rd</sup> measurement vibration signal ( $x[m]$ ) to the other different bearing vibration measurement signals (used as  $y[m]$  in each comparison), were generated and the maximum values of these functions are shown in Figure 4 respectively. It can be seen in Figure 4, as the time passes, maximum values of cross correlation functions go up.



The peak value of 0.0001751 before the first bearing was broken down was obtained as expected since the cross-correlation function was autocorrelation function of the same vibration signal. The next highest value of 0.0001352 which the maximum value of cross-correlation of 3<sup>rd</sup> measurement and 2<sup>nd</sup> measurement vibration signals can be accepted as the threshold level. After the first bearing was broken down, the maximum values of cross-correlation of 3<sup>rd</sup> measurement and the second ball bearing vibration signals went up from low to high over time.



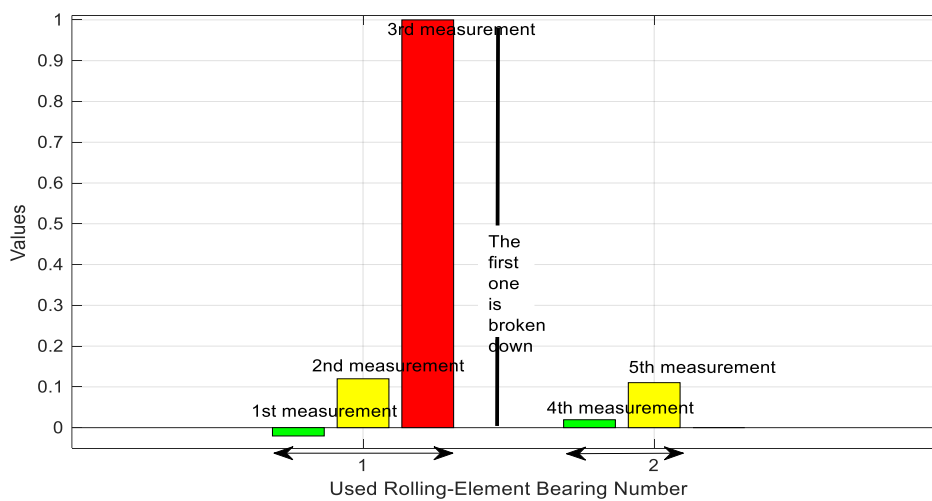
**Figure 4.** Maximum values of cross correlation functions

Correlation coefficient is a numerical measure of the correlation that gives the dependency relationship between two variables. The value of correlation coefficient is always between '+1' (perfect positive linear relationship) and '-1' (perfect negative linear relationship). In '0' case, it is understood that there is no relationship between two variables and these variables are independent. Correlation coefficient is calculated by 5.

$$r = \frac{\sum_{n=1}^N (x[n] - \mu_x)(y[n] - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (x[n] - \mu_x)^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N (y[n] - \mu_y)^2}} \quad (5)$$

Here, the N-length discrete-time x[n] and y[n] sequences correspond to the vibration amplitude signals.  $\mu_x$  is the mean value of x[n] sequence and  $\mu_y$  is the mean value of y[n] sequence. The correlation coefficient calculations were done with reference to the vibration signal of 3<sup>rd</sup> measurement. The correlation coefficient values, which show the dependency of the 3<sup>rd</sup> measurement vibration signal (x[n]) to the other bearing vibration measurement signals (used as y[n] in each comparison), are obtained and are shown in Figure 5 respectively. Figure 5 shows that as the time passes, correlation coefficient values increase.

The peak value of '1' before the first bearing was broken down was obtained as expected since the vibration signals were the same as of 3<sup>rd</sup> measurement vibration signal. The next highest value of 0.1198487 which the correlation coefficient value of 3<sup>rd</sup> measurement and 2<sup>nd</sup> measurement vibration signal can be accepted as the threshold level. After the first bearing was broken down, the correlation coefficient values of 3<sup>rd</sup> measurement and the second rolling bearing vibration signals increased from low to high over time.



*Figure 5. Correlation coefficient values*

### **III. RESULTS AND DISCUSSIONS**

Over time, all values acquired by all the above methods increase and exceed the reference thresholds set by this document. Majority rule-based combined exceeding of these thresholds proposed in this paper expresses that the rolling-element bearing used in a vehicle roller brake tester is approaching fault.

It has been confirmed that the calculated value for each method increases as the bearing is used. A coarse reference threshold value obtained by a calculation according to only one method is not sufficient for decision alone because some threshold offset may have been occurred. Therefore, it is stated that effective fault analysis is performed by applying the majority rule combined with these coarse reference threshold values.

For any bearing, calculations are made according to the three methods given in the previous section. The values obtained are compared with the reference thresholds. At least two values are expected to exceed the corresponding reference thresholds in order to evaluate bearing as unhealthy according to the majority rule.

For instance, for the second ball bearing, the calculation values obtained in Figure 1, 2, 3, 4 and 5 according to the methods in the previous section were compared with the reference threshold values. The majority rule applied bearing was judged as healthy for 4th measurement as seen in the Table 1. According to the final measurement, all the calculation values of the bearing increased, but it was still found to be healthy and continued to be used due to the majority rule method.

*Table 1. Majority rule-based checklist*

<b>Method</b>	<b>4th measurement calculation</b>	<b>5th measurement calculation</b>
Total Energy	<304.934	<304.934
Mean	<0.1611	<0.1611
Variance	<0.01378	<0.01378
Cross-correlation	<0.0001751	<0.0001751
Correlation coefficient	<0.1198487	<0.1198487

For any rolling-element bearing, only if the total energy level due to vibration exceeds the threshold value of 304.934, or only if it exceeds the mean threshold value of 0.1611, or only if the variance exceeds the threshold value of 0.01378, or only if the cross correlation exceeds the threshold value of 0.0001751, or only if the correlation coefficient exceeds the threshold value of 0.1198487, the possibility of a failure can be foreseen. However, taking all these methods into account, exceeding the thresholds for the majority gives more accurate results in understanding the impending rolling-element bearing failure.

## **IV. CONCLUSION**

Vehicles of different weights are subjected to vehicle brake tests at regular intervals at vehicle inspection stations in accordance with official regulations. The safety and effectiveness of vehicle roller brake testers are essential for reliable inspections at vehicle inspection stations. The rolling-element bearing used in the vehicle roller brake tester is the main cause of problems.

In this study, real time vibration signals were subjected to obtain total energy, mean, variance, cross-correlation and correlation coefficient values after median filtering process. According to the individual vibrational signal analysis for the fault diagnosis, some thresholds indicating that the rolling-element bearing is approaching fault in short time were obtained. These threshold values were 304.934 for the total energy, 0.1611 for the mean, 0.01378 for the variance, 0.0001751 for the cross-correlation and 0.1198487 for the correlation coefficient. For any measurement, it is recommended to consider majority rule based combined excession of these thresholds expressing that the rolling-element bearing used in a vehicle roller brake tester is approaching fault.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author thanks Dr. Suat Saridemir for his assistance during the experiments.

## **V. REFERENCES**

- [1] H. Arslan, E. Aslan, and N. Akturk. "Investigation of vibrations due to ball bearing defects," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21 (2006), 541–552
- [2] S. Orhan, N. Akturk, and V. Celik. "Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies," *NDT & E International* 39 (2006), no. 4, 293 – 298
- [3] H.R. Martin and F. Honarvar. "Application of statistical moments to bearing failure detection," *Applied Accustics*, 44 (1995), 67–77
- [4] J.P Dron, L Rasolofondraibe, F Bolaers, and A Pavan. "High-resolution methods in vibratory analysis: application to ball bearing monitoring and production machine," *International Journal of Solids and Structures* 38 (2001), no. 24, 4293 – 4313
- [5] T. Wang, M. Liang, J. Li, W. Cheng, and C. Li. "Bearing fault diagnosis under unknown variable speed via gear noise cancellation and rotational order sideband identification," *Mechanical Systems and Signal Processing* 62-63 (2015), 30 – 53
- [6] H. Saruhan, S. Saridemir, A. Cicek, and I. Uygur. "Vibration analysis of rolling element bearings defects," *Journal of Applied Research and Technology* 12 (2014), 384–395

- [7] S. Kulaç. "A Signal Processing Approach for the Failure Analysis of Rolling-Element Bearing of Vehicle Brake Tester Used at a Vehicle Inspection Station. " 17th IEEE East-West Design & Test Symposium IEEE EWDTs'19, BATUMI, GEORGIA
- [8] N.W. Nirwan. and H. B. Ramani. "Condition monitoring and fault detection in roller bearing used in rolling mill by acoustic emission and vibration analysis." *Materials Today: Proceedings* 51 (2022): 344-354.
- [9] S. Patel and S. Patel. "Research progress on bearing fault diagnosis with signal processing methods for rolling element bearings." *Noise & Vibration Worldwide*. 2023;0(0). doi:10.1177/09574565231222615
- [10]. Z. Wang et al. "Early rolling bearing fault diagnosis in induction motors based on on-rotor sensing vibrations." *Measurement* 222 (2023): 113614.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Öznitelik Çıkarım Yöntemleri Kullanılarak Akciğer Tomografi Görüntülerinde Covid-19 Sınıflandırılması

 Pelin GÖRGEL<sup>a</sup>,  Nurşah DİNCER<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Trabzon Meslek Yüksekokulu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

\* Corresponding author's e-mail address: mustafaayildiz@duzce.edu.tr  
DOI: 10.29130/dubited.1282669

### ÖZ

Covid-19 (Coronavirus Hastalığı 2019), yeni bir solunum yolu hastalığıdır ve ilk görülme yeri Çin'in Wuhan şehri olmuştur. Hastalık çok hızlı bir şekilde dünyanın birçok ülkesine yayılarak çok fazla insan ölümüne neden olmuştur. Bu sebeple de pandemi olarak duyurulmuştur [1]. Bulaşıcılık yönü yüksek olan Covid-19'un yaygın görülen belirtilerinin başında ateş, kuru öksürük, yorgunluk, kas ağrısı ve nefes darlığı gelmektedir [2]. Hastalığın salgın şeklinde olması sebebiyle hastalığın erken teşhisi büyük önem taşımaktadır. Hastalığın hızlı ve doğru teşhisi amacıyla doktorlar için yardımcı araçlar kullanmak oldukça fayda sağlamaktadır. Diğer akciğer hastalıklarında olduğu gibi Covid-19'un teşhisinde de tıbbi görüntüleme teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Pandemi döneminde Covid-19 tespitinde X-ray ve bilgisayarlı tomografi görüntüleme teknikleri önemli birer yardımcı haline gelmiştir. Bu çalışmada hastalıklı ve sağlıklı akciğer tomografi görüntülerine görüntü işleme ve yapay zekâ teknikleri uygulanarak farklı öznitelikler çıkarılmış ve Covid-19 teşhisi amacıyla sınıflandırma yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Covid-19, yapay zekâ, bilgisayarlı tomografi, zernike moment, destek vektör makinesi

## Classification of Covid-19 Using Different Feature Extraction Methods

### ABSTRACT

Covid-19 (Coronavirus Disease 2019) is a new respiratory disease and the first place of occurrence was the city of Wuhan, China. The disease spread very quickly to many countries of the world, causing many deaths. For this reason, it has been announced as a pandemic [1]. The most common symptoms of Covid-19, which is highly contagious, are fever, dry cough, fatigue, muscle pain and shortness of breath [2]. Due to the epidemic form of the disease, early diagnosis of the disease is of great importance. It is very beneficial for doctors to use auxiliary tools for the rapid and accurate diagnosis of the disease. As in other lung diseases, medical imaging techniques are frequently used in the diagnosis of Covid-19. During the pandemic period, X-ray and computed tomography imaging techniques have become important aids in detecting Covid-19. In this study, different features were extracted by applying image processing and artificial intelligence techniques to diseased and healthy lung tomography images, and classification was made for the purpose of Covid-19 diagnosis.

**Keywords:** image processing, Covid-19, artificial intelligence, computed tomography, zernike moment, support vector machine

# I. GİRİŞ

Covid-19 başlangıç noktası olan Çin'de dahil olmak üzere dünya çapında milyonlarca ölüme sebep olmuş ciddi bir akciğer hastalığıdır. Bulaşıcılığının yüksek olması bu hastalığı salgın boyutuna getirmiştir. Diğer ciddi rahatsızlıklarda olduğu gibi Covid-19'u tespit etmede de görüntüleme tekniklerinin kullanımının önemi büyüktür. Hastalığın görüldüğü akciğer bölgesinden alınan görüntüler virüsün varlığının ve bulunduğu bölgelerin tespitinde oldukça fayda sağlamaktadır [3]. Yapılan bu çalışmada da akciğerden elde edilen bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri kullanılarak görüntüleri Covid-19 ve Normal şeklinde sınıflandırabilmek amaçlanmıştır. Benzer amaçlarla akciğer görüntüleri kullanarak yapılan çalışmalara da ayrıca bu bölümde yer verilmiştir.

Litaretürde hastalık tespiti için akciğer görüntülerini kullanarak yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Afify ve ark., koronavirüs olmayan görüntüleri tespit etmek amacıyla bir bilgisayar destekli tanı (CAD) sistemi önermiştir. Araştırmada kullanılan veri seti, 200 görüntüden oluşmakta olup, bu görüntülerin %90'ı eğitim amacıyla kullanılmış ve geri kalan %10'u ise test için ayrılmıştır. Önerdikleri sistem, virüs yaygınlığını düzenlemek için beş aşama içeren bir yapıya sahiptir. İlk aşamada, görüntüler eşikleme tabanlı akciğer segmentasyonu yaparak ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Sonraki aşamada, segmentasyondan elde edilen sonuç görüntülerine, genetik algoritma kullanılarak altmış dört farklı özneliğin belirlenmesi için öznelik çıkarma tekniği uygulanmıştır. Bu şekilde, üstün özellikleri tanımlamak amaçlanmıştır. Son olarak, K-en Yakın Komşu (K Nearest Neighbor - KNN) ve Karar Ağacı (Decision Tree - DT) yöntemleri Covid-19 sınıflandırması için kullanılmıştır.  $K = 3$  değeri ile KNN sınıflandırıcısı BT görüntülere uygulandığında %100, karar ağacı yöntemiyle de %95 doğruluk oranına ulaşmıştır [4].

Challab ve Mardukhi, Covid-19 tanısında kullanılmak üzere Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) adı verilen bir derin öğrenme algoritmasıyla Destek Vektör Makineleri (SVM) gibi farklı makine öğrenimi metodolojilerini birleştiren bir algılama sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, merkezi momentler, Gabor Dalgacıları ve GLCM gibi çeşitli ortak görüntü öznelikleri üzerinde tartışmalar yapılmıştır. SVM parametrelerinin optimum alt kümelerini seçme işlemi, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization) ve Karınca Aslan Optimizasyonu (Ant Lion Optimization) yöntemleri ile gerçekleştirilmiş ve F1 skor %85.67, kesinlik %84.27, hassaslık %87.38, özgüllük %87.38 ve doğruluk %90.18 değerlerine ulaşılmıştır [5].

Hasan ve ark., Covid-19 vakalarını tespit etmek amacıyla iki farklı model tanıtmışlardır: Tek Makine Öğrenimi (Single Machine Learning - SML) ve 10 kat çapraz doğrulama (10-fold cross validation) ile Toplu Makine Öğrenimi (Ensemble Machine Learning - EML) modeli. İlk sınıflandırma modeli olan SML, DT (Decision Tree), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network - ANN) ve SVM (Support Vector Machine) gibi farklı algoritmalarla gerçekleştirildi ve %98.85 doğruluk oranıyla SVM diğer sınıflandırılara göre daha iyi bir performansa sahip olduğunu kanıtladı. İkinci sınıflandırma modeli olan EML, RF (Random Forest), Oylama (Voting) ve Torbalama (Bagging) gibi çeşitli algoritmalarla uygulandı. Özellikle Torbalama sınıflandırıcısının kullanılmasıyla doğruluk oranı %99.60'a kadar arttırıldı. Diğer çalışmalarla kıyaslandığında, önerilen bu iki modelin sonuçları daha üstün bir performans sergilediği gözlemlendi. Önerilen iki model kendi arasında karşılaştırıldığında ise, EML'nin performans açısından SML'den daha iyi olduğu tespit edilmiştir [6].

Osman ve ark., Yerellik Ağırlıklı Öğrenme (Locality-Weighted Learning - LWL) ve Öz Düzenleyici Haritalar (Self Organizing Maps - SOM) stratejilerine dayanan yeni bir Covid-19 tanımlama tekniği önermişlerdir. Bu amaçla, öncelikle göğüs röntgeni veri kümelerinden alınan görüntülere, benzer özelliklerine göre farklı kümelerde gruplandırılmak üzere SOM stratejisi uygulanmıştır. Sonrasında, LWL algoritmasına dayalı akıllı öğrenme modeli Covid-19 vakalarını teşhis ve tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir. Önerilen modelin %97.88 doğruluk oranıyla başarılı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir [7].

Saygılı, Covid-19 hastalarına ait BT görüntülerinin segmentasyonunu gerçekleştiren ve segmentasyondan elde edilen görüntüler aracılığıyla virüsün otomatik olarak tespit edilmesini sağlayan bir yöntem önermiştir. Bu çalışma, üç temel adım olan ön işleme (preprocessing), segmentasyon (segmentation) ve sınıflandırma (classification) adımlarını içeren bir yapıya sahiptir. Ön işleme aşamasında, görüntü yeniden boyutlandırma (image resizing), görüntü keskinleştirme (image sharpening), gürültü giderme (noise removal), kontrast esnetme (contrast stretching) gibi işlemler gerçekleştirilmiştir. Görüntülerin bölütlenme aşamasında ise görüntülere Beklenti-Maksimizasyon (Expectation-Maximization) tabanlı Gauss Karışım Modeli (Gaussian Mixture Model) uygulanmıştır. Covid-19 pozitif ve negatif olarak sınıflandırmak için Çekirdek Destek Vektör Makineleri (Kernel Support Vector Machines) yöntemi ile birlikte K-en Yakın Komşu (KNN), Karar Ağacı (DT) ve iki farklı topluluk (ensemble) yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem, kamuya açık olan iki farklı BT veri seti ve bu veri setlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan karma bir veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Veri kümesi-1, veri kümesi-2 ve karışık veri kümesi için elde edilen doğruluk değerleri sırasıyla %98.5, %86.3 ve %94.5 olarak kaydedilmiştir [8].

Ismaela ve Şengür, göğüs X-ray görüntüleri ile Covid-19'u sınıflandırmak amacıyla üç derin öğrenme yaklaşımı dikkate alınmıştır. Önceden eğitilmiş derin ağlardan derin özellik çıkarımı, önceden eğitilmiş bir CNN modelinin ince ayarı ve bir CNN modelinin uçtan uca eğitim bahsedilen bu üç modeldir. ResNet18, ResNet50, ResNet101, VGG16 ve VGG19 modelleri de hem derin özellik çıkarımı hem de ince ayar prosedürleri için kullanılmıştır. Derin özelliklerin eğitilmesi amacıyla SVM sınıflandırıcısı Doğrusal, Karesel, Kübik ve Gaussian gibi çekirdek fonksiyonları ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Katman sayısı 21 olan yeni bir CNN modeli önerilmiş ve uçtan uca eğitilmiştir. Bu yeni model bir giriş katmanı, beş evrişim katmanı, beş RELU katmanı ve beş toplu normalizasyon katmanından oluşturulmuştur. Birinci ve ikinci RELU katmanlarından sonra iki adet havuzlama katmanı, modelin sonunda da tam bağlantılı katman, softmax katmanı ve sınıflandırma katmanı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında ResNet50 modelinden ve Doğrusal çekirdek fonksiyonuna sahip SVM sınıflandırıcısından çıkarılan derin özellikler kullanılarak en yüksek %94.7 doğruluk elde edilmiştir. Bu sonuçları ince ayarlı ResNet50 modeli ile %92.6 ve geliştirilen CNN modelinin uçtan uca eğitim ile %91.6 takip etmiştir. Performans karşılaştırılması amacıyla SVM sınıflandırmaları ve çeşitli yerel doku tanımlayıcıları kullanılmıştır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde derin yaklaşımların daha etkili olduğu görülmüştür [9].

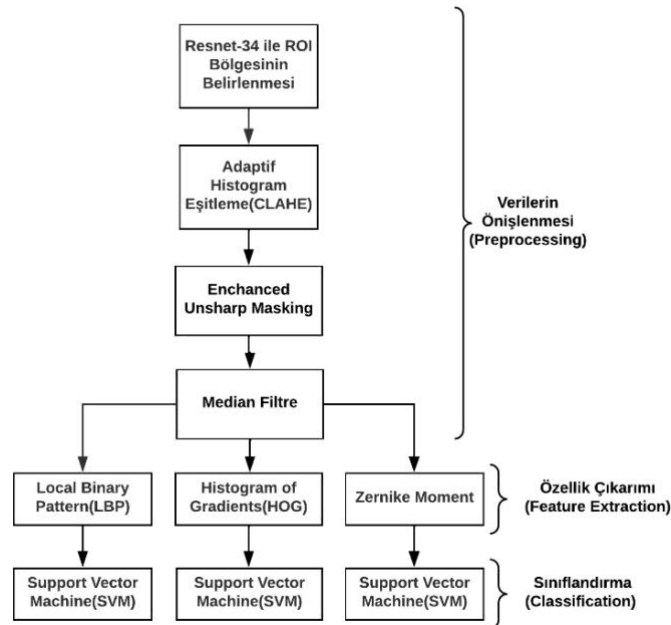
Hasoon ve ark., X-ray görüntüleri ile Covid-19 sınıflandırması için bir yöntem önermişlerdir. Çalışma; ön işleme, İlgi Alanı (ROI) tespiti ve segmentasyonu, özellik çıkarımı ve sınıflandırma aşamalarından oluşmuştur. Ön işleme aşamasında görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi, görüntü eşikleme ve morfolojik işlemler gerçekleştirilmiştir. İlgi alanı tespiti ve segmentasyonu için Orta nokta elips çizim algoritması (Midpoint ellipse drawing algorithm) uygulanmıştır. Özellik çıkarımı amacıyla Yerel ikili model (LBP), Gradyan Histogramı (HOG) ve Haraclick doku özellikleri, son aşama olan sınıflandırma aşamasında ise K-En Yakın Komşu (KNN) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) yöntemleri kullanılmıştır. LBP-KNN, HOG-KNN, Haralick-KNN, LBP-SVM, HOG-SVM ve Haralick-SVM olan altı model kombinasyonu görüntüler üzerinde denenmiştir. Modellerin sonuçlarına bakıldığında LBP-KNN modelinin ortalama %98.66 doğruluk (accuracy), %97.76 duyarlılık (sensitivity), %100 özgüllük (specificity) ve %100 kesinlik (precision) değerleriyle diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir [10].

Oğuz ve Yağanoğlu, BT görüntüleri ile Covid-19 sınıflandırma sistemi tasarlamışlardır. Bu sebeple ilk olarak; ResNet-50, ResNet-101, AlexNet, Vgg-16, Vgg-19, GoogLeNet, SqueezeNet, Xception gibi yöntemler kullanılarak görüntülerin özellikleri çıkarılmıştır. Elde edilen bu özellikler Destek Vektör Makinesi (SVM), k En Yakın Komşu (kNN), Rastgele Orman (RF), Karar Ağaçları (DT), Naive Bayes (NB) gibi sınıflandırma yöntemlerine verilerek görüntüler üzerindeki performans sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğruluk değeri, F1 skoru ve ROC eğrisi başarı kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bahsedilen başarı kriterlerine göre %96.296 doğruluk (accuracy), %95.868 F1 puanı (F1 score) ve AUC değeri 0.9821 değerleriyle en iyi sonuçlar ResNet-50 ve SVM yöntemiyle elde edilmiştir [11].

Verma ve ark., röntgen görüntülerini Covid-19 ve normal olarak sınıflandırabilecek bir model tasarlamışlardır. Modelde VGG16 evrişim ağı kullanılmış ve bu ağın son katmanına Destek Vektör Makinesi (SVM) içerecek şekilde oluşturulmuştur. VGG16 ve SVM arasında bir evrişim, havuz ve yoğun katmanı senkronizasyon amacıyla eklenmiştir. Radyal Temel fonksiyonu da en iyi sonucu bulmak amacıyla kullanılmıştır. Tasarlanan CovXmle isimli model literatürde mevcut bulunan VGG16, VGG19, RestNet50, InceptionV3, DenseNet121 olmak üzere beş farklı modelle de karşılaştırılmıştır. CovXmle modelinden bu karşılaştırmalar sonucunda %95 doğruluk (accuracy), %95 geri çağırma (recall), %96 özgüllük (specificity), %95 F1-puanı (F1-score), %96 kesinlik (precision) değerleri elde edilmiş ve diğer yöntemlere göre en iyi performansı gösterdiği gözlemlenmiştir [12].

Barstuğan ve ark., Covid-19 sınıflandırması için BT veri seti kullanarak iki aşamalı bir sınıflandırma modeli oluşturmuşlardır. Bu aşamalardan ilkinde görüntülerden dört farklı alt kümeye herhangi bir özellik çıkarma işlemine tabi tutulmadan Destek Vektör Makinesi (SVM) ile sınıflandırılmıştır. Diğer bir aşama olan ikincisinde ise, öznelikleri çıkarmak için görüntülere Gri Seviye Eş Oluş Matrisi (GLCM), Yerel Yönlü Desenler (LDP), Gri Seviye Çalışma Uzunluğu Matrisi (GLRLM), Gri Seviye Boyut Bölge Matrisi (GLSZM) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT) yöntemleri uygulandı ve elde edilen öznelikler SVM ile sınıflandırıldı. Sınıflandırma yapılırken 2 kat, 5 kat ve 10 kat şeklinde farklı çapraz doğrulamalar uygulandı. Elde edilen sonuçlara göre en iyi performansa 10 kat çapraz doğrulama ile %99.68 doğruluğa (accuracy) ulaştıran GLSZM öznelik çıkarma yöntemi ile ulaşıldı [13].

Bu çalışmada akciğer BT görüntülerini Covid-19 ve normal olarak sınıflandırabilen bir model önerilmektedir. Bu model, ön-işleme, öznelik çıkarımı ve sınıflandırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olan ön-işleme aşamasında öncelikle akciğer görüntülerindeki lezyon bölgelerinin bulunduğu ilgili bölge dışındaki kısımların elenmesi için Resnet-34 kullanılmıştır. Daha sonra görüntüler üzerine Kontrast Sınırlı Adaptif Histogram Eşitleme (CLAHE) uygulanarak histogram iyileştirilmesi yapılmıştır. Keskinliği Azaltan Maskeleye (Unsharp Masking) yöntemi iyileştirilerek farklı bir versiyonu histogramı eşitlenen görüntülere uygulanmıştır. Son ön-işleme adımı olarak görüntüler ortanca filtre (median filter) uygulamasına tabi tutulmuştur. Öznelik çıkarımı aşamasında Zernike Moment, Yönlendirilmiş Gradyenlerin Histogramı (HOG) ve Yerel İkili Desen (LBP) yöntemleri sınıflandırma sonuçlarını karşılaştırılmak üzere ayrı ayrı veri setine uygulanmıştır. Son olarak da bu üç yöntemden elde edilen sonuçlar SVM kullanılarak sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 1'deki akış diyagramında, bahsedilen aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 1. Önerilen Modelin Akış Diyagramı.



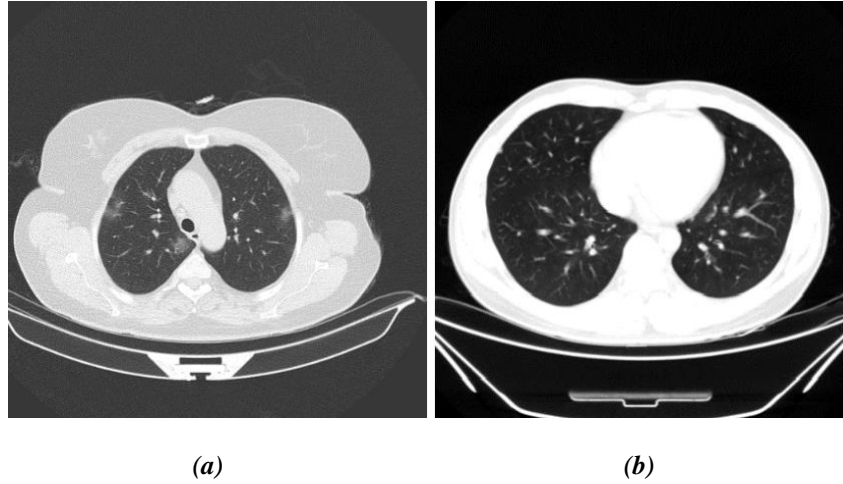
Uygulanan yöntemlerin detaylarına makalenin Metot kısmında değinilmiştir. Yöntemlerden elde edilen sonuçlar da Bulgular kısmında yer almaktadır.

## **II. MATERYAL VE METOT**

### **A. MATERYAL**

Bu çalışmada popüler veri tabanı Kaggle’ın Covid-19 bilgisayarlı tomografi veri tabanından elde edilen akciğer görüntüleri kullanılmıştır [14]. Veri seti, Covid-19 ve sağlıklı (normal) insanlara ait BT görüntüleri olmak üzere iki farklı sınıfa ait görüntülerden oluşmaktadır. Bu veri setinden 50 adet Covid-19 ve 50 adet normal görüntüden oluşan 100 akciğer (lung) BT görüntüsü üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2’de kullanılan veri setine ait görüntü örnekleri gösterilmektedir.



*Şekil 2. Veri setinden örnek görüntüler (a) Covid-19 (b) Normal.*

Covid-19’a sahip bir akciğer BT görüntüsünü hastalığa sahip olmayan bir görüntüden ayıran en belirgin özellikler;

- Buzlu cam görüntüsü,
- Birden fazla yerde tutulum olabilmesi,
- Periferik yani akciğer kenarlarına doğru görülmesi,
- Çoğunlukla alt lob denilen posterior bölgesinde bulunmasıdır.

### **B. METOT**

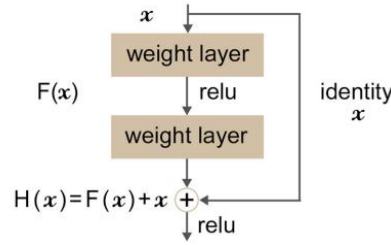
#### **B. 1. Derin Artık Sinir Ağı**

ResNet, 2016 yılında He ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir model olup, Derin Artık Ağ (Deep Residual Network) olarak da bilinir [15]. Bu model, derin öğrenme eğitimindeki zorlukları aşmak için tasarlanmıştır. Çünkü derin öğrenme eğitimi genellikle uzun süren bir süreçtir ve belirli bir katman

sayısıyla sınırlıdır. ResNet'in mimarisi derinleştikçe performansının düşmemesi diğer mimari modellerle kıyaslandığında bu modelin avantajıdır. Bunun yanı sıra, ResNet modeli hesaplama işlemlerini daha kolay hale getirir ve ağırları daha iyi eğitme yeteneğine sahiptir. ResNet modeli, içerisinde ReLU ve toplu normalizasyon (batch normalization) bulunan iki veya üç katmanlı atlayarak bağlantılarını gerçekleştirir. He ve arkadaşları, ResNet modelinde birden fazla katman için artık öğrenme (residual learning) yöntemini kullanmaktadır. ResNet'teki artık bloğun tanımı, Denklem 1'de gösterilmektedir [16]:

$$y = F(x, W + x) \quad (1)$$

Burada  $x$  giriş katmanıdır;  $y$  çıktı katmanıdır ve  $F$  fonksiyonu artık harita (residual map) ile temsil edilmektedir. Eğer girdi verisinin boyutları çıktı verisi boyutlarıyla aynı ise, ResNet üzerinde artık blok gerçekleştirilebilir [16]. Şekil 3'te bahsedilen artık blok yapısı gösterilmektedir [17].

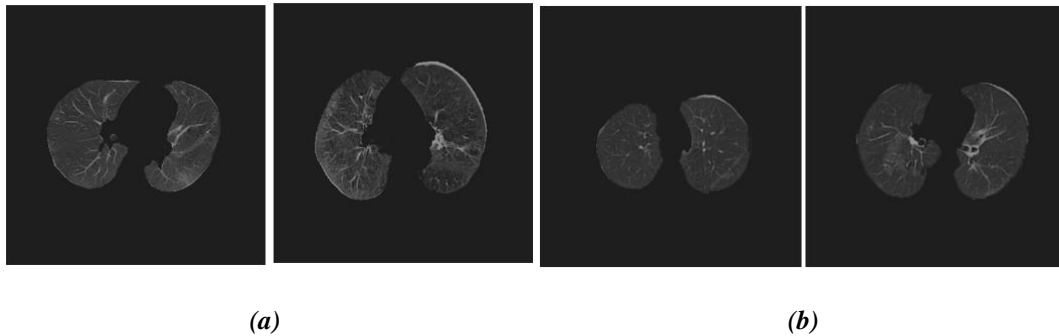


Şekil 3. Artık Blok Yapısı [17].

ResNet blokları, iki (ResNet-18 ve ResNet-34 ağırları için) ya da üç katmandan (ResNet-50 ve ResNet-101 ağırları için) oluşmaktadır. ResNet mimarisinin ilk iki katmanı,  $7 \times 7$  evrişim ve adım sayısı 227 olan  $3 \times 3$  boyutunda maksimum havuzlama (max-pooling) yaparak GoogleNet'e benzemektedir [16].

ResNet-34'in yapısı, 33 evrişimli (convolutional) katman,  $3 \times 3$  boyutunda bir max-pooling katmanı, bir ortalama havuz katmanı (average pool layer) ve bir tam bağlı katmandan (fully connected layer) oluşmaktadır. Klasik bir ResNet-34 modeli 63,5 milyon parametre içerir, burada "Temel-Blok (Basic-Block)" bloğundaki tüm evrişim katmanlarının arkasına doğrultma doğrusal olmayanlık (rectification nonlinearity-ReLU) aktivasyonu ve toplu normalleştirme (batch normalization) uygulanır ve son katmanda softmax fonksiyonu uygulanır [18].

Şekil 4'te Resnet-34 yönteminin görüntülere uygulanmasının sonuçları gösterilmektedir.

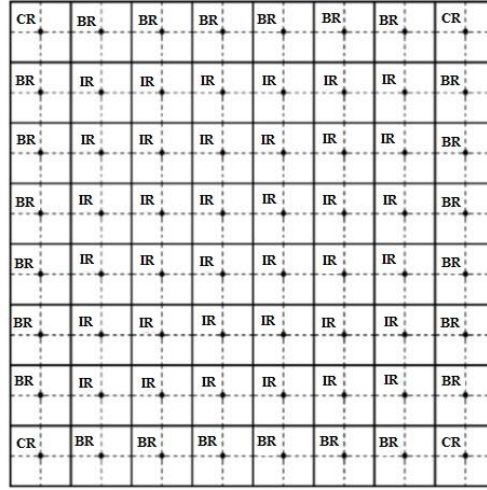


Şekil 4. Resnet-34 Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (a) Covid-19 (b) Normal.

## B. 2. Kontrast Sınırlı Adaptif Histogram Eşitleme

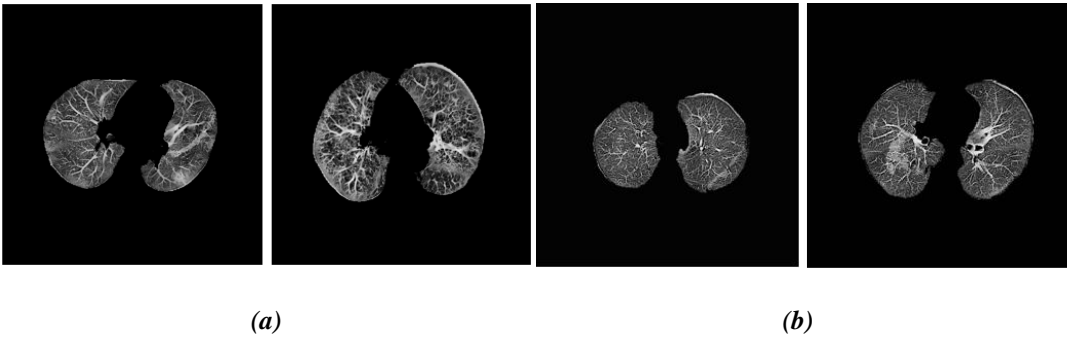
Kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (CLAHE), hemen hemen eşit büyüklükte, birbiriyle örtüşmeyen birkaç bölgeye görüntüyü bölmeye dayalı olarak formüle edilmiştir.  $512 \times 512$  görüntüde, iyi bir istatistiksel tahmin elde etmek için, görüntü her yönde 8'e eşit olarak bölünerek bölge sayısı genellikle 64'e eşit olacak şekilde seçilir. Böyle bir bölünmenin bir örneği, Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu bölünme, üç farklı bölge grubuyla sonuçlanır. Yalnızca dört bölgeden oluşan bir grup, köşe bölgeleri (CR) sınıfıdır. 24 bölgeden oluşan ikinci grup ise yatılı bölgeler (BR) sınıfıdır. Köşe bölgeleri hariç, resim tahtasındaki tüm bölgeler bu sınıfa aittir. Kalan 36 bölgenin tümünü içeren son grup, iç bölgeler sınıfı (IR) olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda öncelikle her bölgenin histogramı hesaplanır [19].

Sonrasında, istenilen bir sınıra bağlı olarak kontrast genişletme amacıyla histogramların kırılması için bir kırma sınırı seçilir. Sonraki adımda, her histograma, yüksekliği kırma sınırını aşmayacak şekilde yeni değerler atanır ve gri tonlamalı haritalama için elde edilen kontrast sınırlı histogramların kümülatif dağılım fonksiyonları (CDF) hesaplanır. Bu yöntemde her bir pikselin kendi en yakın komşuluğunda bulunan dört bölgenin haritalanmasından elde edilen sonuçlar birleştirilerek haritalanır. IR, CR ve BR grubundaki bölgeler için bazı formülasyonlara göre bu değerlendirmeler gerçekleştirilir [19].



Şekil 5.  $512 \times 512$  boyutlara sahip bir görüntünün 64 eşit bölgeye ayrılmış görünümü [19].

Şekil 6'da CLAHE algoritmasının uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 6. CLAHE Algoritmasından Elde Edilen Sonuçlar (a) Covid-19 (b) Normal.

### B. 3. İyileştirilmiş Keskinliği Azaltan Maskeleye

Keskinliği azaltan maskeleye (Unsharp Masking - UM), görüntünün bulanık bir versiyonunun görüntünün kendisinden çıkarıldığı görüntüleri keskinleştirme tekniğidir.

Formülü şu şekildedir:  $K(x, y) = I(x, y) + (I(x, y) - G(x, y)) \times \alpha$

Önce bir görüntüyü bulanıklaştırabilir ve ardından keskin olmayan maskeleye uygulamak için orijinal ve bulanık görüntü arasındaki fark olarak ayrıntı görüntüsü hesaplanmaktadır [20].<sup>1</sup>

Keskinleştirilmiş görüntü, orijinal görüntü  $I(x, y)$  ile detaylı görüntü  $D(x, y)$ 'nin doğrusal bir kombinasyonu olarak hesaplanabilir. Denklem 2 ve 3'te UM yönteminin denkleştirilmiş hali aşamalar şeklinde gösterilmektedir.

$$I(x, y) - G(x, y) = D(x, y) \quad (2)$$

$$I(x, y) + \alpha \times D(x, y) = K(x, y) \quad (3)$$

$I(x, y)$  : orijinal görüntü.

$G(x, y)$  : gauss filtre ile yumuşatılmış görüntü.

$D(x, y)$  : detaylı görüntü.

$K(x, y)$  : keskinleştirilmiş görüntü.

Bu yönteme ek işlem uygulanarak UM yöntemi değiştirilmiştir. Yöntemler aşağıdaki sırayla veri setindeki görüntülere uygulanmıştır. Denklem 4, 5 ve 6'da UM yönteminden yola çıkılarak elde edilen iyileştirilmiş UM yönteminin hali aşamaları gösterilmektedir.

$$I(x, y) - G(x, y) = D(x, y) \quad (4)$$

$$I(x, y) - \alpha \times D(x, y) = F(x, y) \quad (5)$$

$$I(x, y) + \text{Gauss}(F(x, y)) = E(x, y) \quad (6)$$

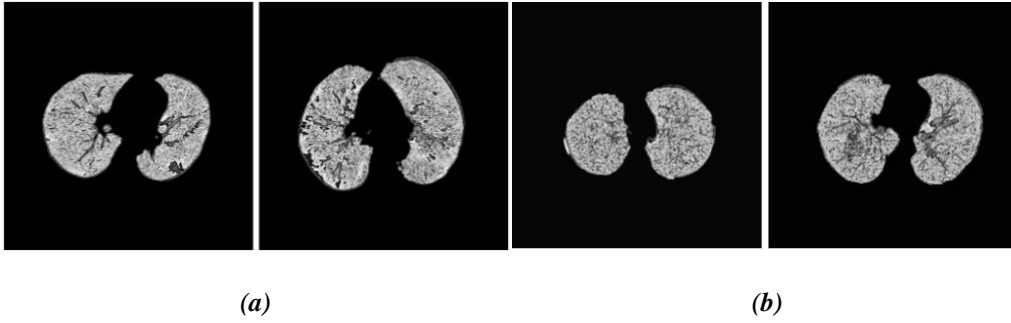
$F(x, y)$  : Fark görüntüsü.

$E(x, y)$  : İyileştirilmiş görüntü.

---

<sup>1</sup> [https://scikit-image.org/docs/stable/auto\\_examples/filters/plot\\_unsharp\\_mask.html](https://scikit-image.org/docs/stable/auto_examples/filters/plot_unsharp_mask.html), [Ziyaret tarihi: 12.12.2022].

Şekil 7’de iyileştirilmiş unsharp masking algoritmasının uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 7. İyileştirilmiş Unsharp Masking Algoritmasından Elde Edilen Sonuçlar (a) Covid-19 (b) Normal.

#### B. 4. Ortanca (Medyan) Filtresi

Bilinen en iyi sıralama istatistikleri filtresi (order statistics filter), bir pikselin değerini o pikselin çevresindeki gri seviyelerin ortalamasıyla değiştirerek çalışan medyan filtredir. Medyanın hesaplanması sırasında pikselin orijinal değeri de dahil edilerek işlenir. Medyan filtreler oldukça popülerdir, çünkü belirli rasgele gürültü türleri için benzer boyuttaki doğrusal yumuşatma filtrelerinden çok daha az bulanıklıkla mükemmel gürültü azaltma yetenekleri sağlarlar [21].

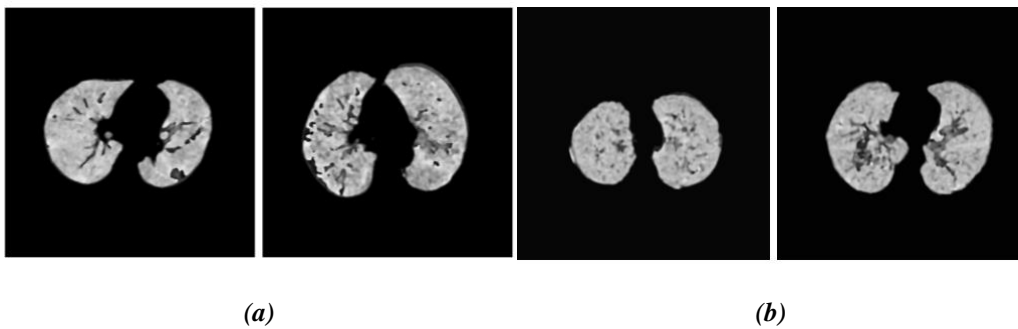
$$y(i, j) = med\{x(a, b), (a, b) \in v\} \quad (7)$$

Denklem 7 ile medyan filtre matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$v$ : Maske boyutuna bağlı olan komşuluk pikselleri.

Denklemdaki komşuluk piksellerini belirleyen maske boyutu kullanıcı tarafından ayarlanmaktadır. Filtrenin çalışma prensibine bakıldığında, işlenecek pikselin komşuluğunda bulunan piksellerin yoğunluk değerleri küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır ve ortanca değer işlenen pikselin yeni yoğunluk değeri haline getirilir. Medyan filtre kullanılarak yapılan filtreleme işlemlerinde hem gürültü azaltılır hem de görüntü üzerindeki detaylar korunur [22].

Şekil 8’de medyan filtrenin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 8. Medyan Filtresinden Elde Edilen Sonuçlar (a) Covid-19 (b) Normal.

## B. 5. Zernike Moment

Görüntülere öznelik çıkarımı için ilk olarak Zernike Moment yöntemi uygulanmıştır. Zernike momentleri, Zernike polinomlarının görüntü üzerine izdüşümü alınarak elde edilir. Zernike polinomları da birim disk üzerinde ortogonal olan bir polinomlar dizisi olarak hesaplanmaktadır. Zernike momentleri hesabı Denklem 8’de gösterilmektedir [23].

$$Z_{mn} = \frac{m+1}{\pi} \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{\rho=0}^1 P_{mn}^*(\rho, \theta) I(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta, |\rho| \leq 1 \quad (8)$$

$I(\rho, \theta)$ : Gri seviyeye sahip görüntü.

$P_{mn}(\rho, \theta)$ : Zernike polinomları.

$m$ : Moment derecesi.

$n$ : Tekrarlanma sayısı.

$P_{mn}(\rho, \theta)$  olarak ifade edilen Zernike polinomları Denklem 9’daki gibi elde edilebilir [23].  $G_{mn}(\rho)$  gerçel değerli radyal polinomları göstermektedir.

$$P_{mn}(\rho, \theta) = G_{mn}(\rho) e^{-jn\theta} \quad (9)$$

## B. 6. Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı

Zernike moment yönteminden sonra görüntülere bu yöntem yerine Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı (Histogram of Oriented Gradients-HOG) yöntemi ayrıca uygulanmıştır.

HOG özellikleri, gradyan açısına ve büyüklük dağılımlarına dayalıdır ve görsel verilerde, ortam aydınlatmasındaki ve renk varyasyonlarındaki hafif değişikliklere karşı gradyanın doğal değişmezliği nedeniyle sağlamdırlar.  $I$  görüntüsünü,  $f_x = [-1,0,1]$  ve  $f_y = [-1,0,1]^T$  gradyan tahmini filtrelerini ele alınırsa,  $h_x$  ve  $h_y$  Denklem 10 ve Denklem 11’de gösterildiği gibi gradyan görüntüleri temsil edilebilir [24].

$$h_x = I * f_x \quad (10)$$

$$h_y = I * f_y \quad (11)$$

Burada \* evrişimi (convolution) temsil eder. Gradyanın büyüklüğü her pikselde Denklem 12’deki gibi hesaplanabilir [24]:

$$H(i, j) = h_x(i, j)^2 + h_y(i, j)^2 \quad (12)$$

ve her pikseldeki baskın gradyan açısı Denklem 13’deki gibi tahmin edilebilir [19]:

$$\theta(i, j) = \tan^{-1} \left( \frac{h_y(i, j)}{h_x(i, j)} \right) \quad (13)$$

HOG özellikleri daha sonra tamamen her pikseldeki gradyan büyüklüğü  $H$  ve gradyan açıları  $\theta$  temelinde üretilebilir. HOG öznelik çıkarımı tarafından sağlanan birincil içgörü, bireysel  $H(i, j)$  ve  $\theta(i, j)$ 'nin oldukça değişken olmasına ve çok benzer görüntüler için bile yakın  $(i, j)$  konumlar arasında önemli farklılıklara tabi olmasına rağmen, benzer görüntülerdeki küçük bölgeler üzerindeki gradyan açılarının ve büyüklüklerinin uzamsal dağılımının toplu istatistikleri, bu bölgelerin oldukça sağlam tanımlayıcılarını sağlar [24].

## B. 7. Yerel İkili Desen

HOG yönteminden sonra görüntülere bu yöntem yerine Yerel İkili Desenler (Local Binary Pattern-LBP) yöntemi ayrıca uygulanmıştır. Gri tonlamalı değişmez bir doku ölçüsü olarak tanımlanan LBP (Local Binary Patterns), yerel bir komşuluktaki genel doku tanımından türetilir ve doku görüntülerinin modellenmesi için kullanışlıdır. Bir görüntünün piksellerini etiketlemek için orijinal LBP operatörü, her pikselin merkezi pikselin değeriyle eşiklenmiş  $3 \times 3$  komşuluğunu kullanır ve sonuçları iki terimli olarak birleştirerek bir sayı elde eder.

Temel LBP için eşikleme fonksiyonu  $f(., .)$  resmi olarak Denklem 14 ile temsil edilebilir [25]:

$$f(I(Z_0), I(Z_i)) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } I(Z_i) - I(Z_0) \leq \text{eşik değeri} \\ 1, & \text{eğer } I(Z_i) - I(Z_0) > \text{eşik değeri} \end{cases}, i = 1, 2, \dots, 8 \quad (14)$$

$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$Z_8$	$Z_0$	$Z_4$
$Z_7$	$Z_6$	$Z_5$

**Şekil 9.**  $Z_0$  etrafındaki 8 komşuluk örneği [25].

Burada  $Z_i, i = 1, \dots, 8$  Şekil 9'da gösterildiği gibi 8 komşuluk bir  $Z_0$  noktasıdır.

Bir mikro model olarak adlandırılan bir LBP ikili gradyan yönlerinin birleştirilmesi olarak da kabul edilebilir. LBP yöntemi, hesaplaması kolay öznelik çıkarma işlemi ve basit eşleştirme stratejisi sayesinde çok verimli olup, istatistiksel öğrenme yöntemlerinden farklı olarak birçok parametreyi ayarlamayı gerektirmez [25].

## B. 8. Destek Vektör Makineleri

Üç ayrı yöntemle öznelikleri çıkarılan görüntüler, her yöntemden sonra Destek Vektör Makineleri (SVM) ile sınıflandırılmıştır. SVM, ikili sınıflandırma için Vapnik tarafından geliştirilmiştir [26]. Amacı,  $x \in R^m$  özelliklerine sahip belirli bir veri kümesindeki iki sınıfı ayırmak için en uygun  $h(w, x) = w \cdot x + a$  hiperdüzlemini bulmaktır. SVM, bir optimizasyon problemini çözerek  $w$  parametrelerini öğrenir (Denklem 15) [27].

$$\min \frac{1}{p} w^T w + C \sum_{i=1}^p \max(0, 1 - y'_i(w^T x_i + a)) \quad (15)$$

Burada  $w^T w$  Manhattan normudur (L1 normu olarak da bilinir),  $C$  ceza parametresidir (rasgele bir değer veya hiper parametre ayarı kullanılarak seçilen bir değer olabilir),  $y'$  gerçek etikettir ve  $w^T x + a$ , tahmin fonksiyonudur. Denklem 15, standart destek kaybı (hinge loss) ile L1-SVM olarak bilinir. Türevlenebilir muadili L2-SVM (Denklem 16), daha kararlı sonuçlar sağlar [27].

$$\min \frac{1}{p} \|w\|_2^2 + C \sum_{i=1}^p \max(0, 1 - y'_i (w^T x_i + a))^2 \quad (16)$$

burada  $\|w\|_2$ , dönüm noktası kaybının (hinge loss) karesi alınmış Öklid normudur (L2 normu olarak da bilinir) [27].

### **III. ARAŞTIRMA BULGULARI**

Yapılan çalışmada akciğer BT görüntüleri kullanılarak bu görüntüleri Covid-19 ya da Normal olarak sınıflandırabilecek bir model tasarlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan model 50 Covid-19 ve 50 Normal görüntüden oluşan bir veri seti kullanılarak test edilmiştir. Görüntülere ön-işleme, öznelik çıkarımı ve sınıflandırma aşamaları altında yöntemler uygulanmıştır.

Ön işleme aşamasında bulunan yöntemlerden ilki olan Resnet34, önceki çalışmalara bakıldığında daha çok sınıflandırma amacıyla kullanılmış bir yöntemdir. Bu çalışmada literatüre bir katkı olarak da sunduğumuz bu yöntemin akciğer ROI bölgesini çıkarma aşamasında kullanılmasıdır. CLAHE yöntemi ise histogram eşitleme için geçerliliği kanıtlanmış bir yöntem olması sebebiyle veri setine uygulanması faydalı görülmüştür. Literatürde keskinliği azaltan maskeleme olarak geçen yöntem ise görüntüler üzerinde iyileştirme yapacak şekilde değişikliğe uğratarak farklı bir yöntem olarak görüntülere uygulanmıştır. Ön işleme safhasının son işlemi olan Ortanca filtre ise CLAHE gibi yetkinliği kanıtlanmış ve gereksiz detayları ortadan kaldırma konusunda başarılı bir yöntem olması sebebiyle görüntülere uygulanması gerekli görülmüştür. Öznelik ıkarma amacıyla kullanılan LBP ve HOG yöntemleri bu alanda yapılmış diğer çalışmalarda başarılı kabul edilebilecek yöntemlerdendir. Bu sebeple veri setine uygulanmıştır. Yine aynı aşamada kullanılan Zernike Moment yöntemi ise bu alanda kullanımına pek fazla yer verilmemiş bir yöntemdir. Zernike Moment gibi bu alanda uygulanmamış bir yöntem ile LBP ve HOG gibi daha sık kullanılan iki yöntemin SVM ile sınıflandırma sonuçlarına olan etkisi karşılaştırılmak istenmiştir. SVM ile sınıflandırma yapılırken veri setinin %20'si test verisi olarak belirlenmiştir.

Makalede incelenen alanda yapılan daha önceki çalışmaların sonuçları değerlendirme metrikleri açısından değerlendirildiğinde doğruluğun (accuracy) başarıyı temsil etmek konusunda yeterli gelmediği görülmüştür. Çalışmaların birçoğunda karşımıza doğruluk (accuracy) metriğinin yanı sıra hassasiyet (precision), geri çağırma (recall) ve F1-skor (F1-score) çıkmaktadır. Bu sebeple yöntemleri değerlendirme kriteri olarak bu dört metrik seçilmiştir ve sonuçlar bu metriklere göre karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme yöntemlerinin formülleri sırasıyla Denklem 17, 18, 19 ve 20'de gösterilmiştir.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (17)$$



$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (18)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (19)$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (20)$$

Gerçek Pozitif (True Positive-TP), hem tahminin hem de gerçek olanın pozitif olduğu bir duruma benzetilir. Gerçek Negatif (True Negative - TN) durumu, hem tahminin hem de gerçekte olanın negatif olduğu bir durumu ifade eder. Yanlış Pozitif (False Positive-FP), bir şeyin pozitif olarak tahmin edildiği ancak yanlış olan bir durumdur. Yanlış Negatif (False Negative-FN) ise, negatif olarak tahmin edilip gerçekte pozitif olan durumdur. F1-skoru, hassasiyet (precision) ve geri çağırma (recall) değerlerinin harmonik ortalamasını temsil eder [28].

Üç farklı öznelik çıkarımı yöntemlerinin sınıflandırma sonuçlarının bahsedilen değerlendirme kriterlerine göre elde edilen değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

*Tablo 1. Sınıflandırma sonuçları*

Yöntemler	Doğruluk (Accuracy)	Hassasiyet (Precision)	Geri Çağırma (Recall)	F1-skor (F1-score)
Zernike+SVM	0.85	0.82	0.90	0.86
LBP+SVM	0.85	0.89	0.80	0.84
HOG+SVM	0.70	0.64	0.90	0.75

Elde edilen sonuçlara göre Zernike moment yöntemi ile % 85, LBP ile % 85 ve HOG ile % 70 doğruluk değerine ulaşılmıştır. Tablo 1’de gösterilen bu sonuçlara göre öznelik çıkarımı yöntemlerinden Zernike moment ve LBP yöntemleri sonrasında SVM ile yapılan sınıflandırmalardan daha başarılı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

## IV. SONUÇ

Çalışmada akciğer BT görüntüleri üzerinden Covid-19 hastalığına sahip görüntüleri normal görüntülerden ayıran ve ikili bir sınıflandırma yapabilen bir model tasarlanması hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak da bazı ön işleme yöntemleri ile görüntülerin sadece hastalıklı bölgelerini belirlemeye çalışılmıştır.

Ön-işleme aşamasında Resnet34, CLAHE, iyileştirilmiş keskinliği azaltan maskeleyme ve Ortanca filtre yöntemleri ile görüntüler üzerinde iyileştirme ve hastalığın tespiti için gerekli olmayan bölgeden

arındırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Öznitelik çıkarımı aşamasında Zernike moment, LBP ve HOG olmak üzere üç farklı yöntem ayrı ayrı uygulanmıştır. Uygulanan bu öznitelik çıkarımı yöntemlerinin her birinden sonra SVM yöntemi ile sınıflandırma yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zernike Moment yönteminin diğer iki öznitelik çıkarım yöntemine göre sınıflandırma başarısına olan etkisi daha büyük olmuştur. Yapılan bu karşılaştırma öznitelik çıkarımının sınıflandırmaya olan etkisinin önemini göstermiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde ve literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde kullanılan yöntemler yanı sıra derin modellerin geliştirilmesi ve uygulanması düşünülmektedir. Derin modeller tasarlanarak bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmasının yapılması hedeflenmektedir. Gelecekteki çalışmalarda veri setinin genişletilmesinin ardından öznitelik çıkarım yöntemleri üzerinde durularak Covid-19 ve Normal olmak üzere ikili sınıflandırma yapabilen tek bir model tasarlanması düşünülmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] M. Çöl ve G. Güneş, “COVID-19 Salgınına Genel Bir Bakış”, *Covid-19*. Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi Basımevi, 2020, böl. 1, ss. 1-9. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.medicine.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/121/2020/05/COVID-19-Kitap.pdf>.
- [2] A. Gürün Kaya ve A. Kaya, “Klinik Yaklaşım: Solunum Sistemi”, *Covid-19*. Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi Basımevi, 2020, böl. 7, ss. 49-55. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.medicine.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/121/2020/05/COVID-19-Kitap.pdf>.
- [3] Ç. Uzun, “Görüntülemenin Yeri ve Radyolojik Bulgular”, *Covid-19*. Ankara, Türkiye: , Ankara Üniversitesi Basımevi, 2020, böl. 5, ss. 35-43. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.medicine.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/121/2020/05/COVID-19-Kitap.pdf>.
- [4] H. M. Afify, K. K. Mohammed and A. E. Hassanien, “An Automated CAD System of CT Chest Images for COVID-19 Based on Genetic Algorithm and K-Nearest Neighbor Classifier”, *International Information and Engineering Technology Association*, vol. 25, no.5, pp. 589-594, 2020.
- [5] J. M. Challab and F. Mardukhi, “A Hybrid Method Based on LSTM and Optimized SVM for Diagnosis of Novel Coronavirus (COVID-19)”, *International Information and Engineering Technology Association*, vol. 38, no. 4, pp. 1061-1069, 2021.
- [6] A. M. Hasan, H. M. Abd El-Kader and A. Hossam, “An Intelligent Detection System for Covid-19 Diagnosis using CT-Images”, *Journal of Engineering Sciences Assiut University Faculty of Engineering*, vol. 49, no. 4, pp. 476–508, 2021.
- [7] A. H. Osman, H. M. Aljahdali, S. M. Altarrazi and A. Ahmed, “SOM-LWL method for identification of COVID-19 on chest X-rays”, *Plos One*, vol. 16, no. 2, 2021.

- [8] A. Saygılı, “Computer-Aided Detection of COVID-19 from CT Images Based on Gaussian Mixture Model and Kernel Support Vector Machines Classifier”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 47, no. 2, pp. 2435–2453, 2021.
- [9] A. M. Ismaela and A. Şengür, “Deep learning approaches for COVID-19 detection based on chest X-ray images”, *Expert Systems With Applications*, vol. 164, 2021.
- [10] J. N. Hasoon, A. H. Fadel, R. S. Hameed, S. A. Mostafa, B. A. Khalaf, M. A. Mohammed and J. Nedoma, “COVID-19 anomaly detection and classification method based on supervised machine learning of chest X-ray images”, *Results in Physics*, vol. 31, 2021.
- [11] Ç. Oğuz, M. Yağanoğlu, “Detection of COVID-19 using deep learning techniques and classification methods”, *Information Processing & Management*, vol. 59, no. 5, 2022.
- [12] S. S. Vermaa, A. Prasadb and A. Kumar, “CovXmlc: High performance COVID-19 detection on X-ray images using Multi-Model classification”, *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 71, 2022.
- [13] M. Barstuğan, Umut Özkaya ve Şaban Öztürk, “Coronavirus (COVID-19) Classification using CT Images by Machine Learning Methods”, *4th International Conference on Recent Trends and Applications in Computer Science and Information Technology*, 2021, pp. 29-35.
- [14] H. Gunraj. [Online]. Available: [https://www.kaggle.com/hgunraj/covidxct?select=2A\\_images](https://www.kaggle.com/hgunraj/covidxct?select=2A_images).
- [15] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 770-778.
- [16] D. Sarwinda, R. H. Paradisa, A. Bustamama and P. Anggia, “Deep Learning in Image Classification using Residual Network (ResNet) Variants for Detection of Colorectal Cancer”, *5th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence*, 2021, pp. 423–431.
- [17] H. Zhang, J. Mo, H. Jiang, Z. Li, W. Hu, C. Zhang, Y. Wang, X. Wang, C. Liu, B. Zhao, J. Zhang and K. Zhang, “Deep Learning Model for the Automated Detection and Histopathological Prediction of Meningioma”, *Neuroinformatics*, vol. 19, no. 3, pp. 393–402, 2020.
- [18] M. Gao, J. Chen, H. Mu and D. Qi, “A Transfer Residual Neural Network Based on ResNet-34 for Detection of Wood Knot Defects”, *Forests*, vol. 12, no. 2, 2021.
- [19] A. M. Reza, “Realization of the Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) for Real-Time Image Enhancement”, *Journal of VLSI Signal Processing*, vol. 38, no. 1, pp. 35–44, 2004.
- [20] [Online]. Available: [https://scikit-image.org/docs/stable/auto\\_examples/filters/plot\\_unsharp\\_mask.html](https://scikit-image.org/docs/stable/auto_examples/filters/plot_unsharp_mask.html).

- [21] G. Gupta, “Algorithm for Image Processing Using Improved Median Filter and Comparison of Mean, Median and Improved Median Filter”, *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, vol. 1, no. 5, 2011.
- [22] A. Değirmenci, İ. Çankaya ve R. Demirci, “Gradyan Anahtarlama Gauss Görüntü Filtresi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 196-215, 2017.
- [23] B. S. Akkoca, “Durgun Görüntülerden Yüz İfadelerinin Tanınması”, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [24] P. A. Torrione, K. D. Morton, R. Sakaguchi and L. M. Collins, “Histograms of Oriented Gradients for Landmine Detection in Ground-Penetrating Radar Data”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, no.3, pp.1538-1550, 2014.
- [25] B. Zhang, Y. Gao, S. Zhao and J. Liu, “Local Derivative Pattern Versus Local Binary Pattern: Face Recognition With High-Order Local Pattern Descriptor”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 19, no. 2, pp. 533 - 544, 2009.
- [26] C. Cortes and V. Vapnik. 1995. Support-vector Networks. *Machine Learning* 20.3 (1995), 273–297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- [27] A. F. Agarap, “An Architecture Combining Convolutional Neural Network (CNN) and Support Vector Machine (SVM) for Image Classification”, *Arxiv*, 2017.
- [28] N. C. Pratiwi, N. Ibrahim, Y. N. Fu’adah and K. Masykuroh, “Computer-Aided Detection (CAD) for COVID-19 based on Chest X-Ray Images using Convolutional Neural Network”, *International Conference in Engineering, Technology and Innovative Researches*, 2020.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Reddit Platformu Üzerinden Bilimle İlgili Gönderilerden İlişkili Konu Modelleme Analizi ile Bilim Dünyasının Haritasının Çıkarılması

 Merve YALÇIN<sup>a</sup>,  Semanur GÜRSOY<sup>a</sup>,  Özcan ÖZYURT<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Yazılım Mühendisliği Bölümü, OF Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oozyurt@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1370614

### ÖZ

Günümüz dünyasında ulaşılan teknolojinin ana kaynağı bilimdir. Bilim ve teknoloji alanlarındaki çalışmaların devam etmesiyle bilim dünyası her geçen gün yeniden şekillenmektedir. Bununla birlikte, teknolojinin gelişmesi teknolojik platformlardaki geleneksel yöntemlerle işlenemeyen veri miktarının her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Anlamlandırılmamış verinin işlenerek anlamlı hale getirilmesi şirketler, kurum ve kuruluşlar için büyük verinin yüksek oranda fayda sağlayan araçlar haline dönüştürülmesine olanak sağlayacaktır. Verinin işlenerek anlamlı hale getirilmesinde en etkili veri madenciliği tekniklerinden biri konu modellemidir. Bu çalışmada konu modelleme tekniklerinden olan ilişkili konu modelleme (İKM) kullanılarak Reddit platformu üzerinde bilimle ilgili paylaşımların anlamsal içerik analizi yapılmıştır. 2022 yılının ilk dokuz ayına ait Reddit paylaşımlarındaki gizli anlamlar ve bu anlamlar arasındaki korelasyon ortaya koyulmuş ve ilgili sonuçlar paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçların bilime ilgili insanlara ve bilim insanlarına araştırmaları için fikir kaynağı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Veri Madenciliği, İlişkili Konu Modelleme, Reddit, Bilim

## Mapping the Science World with Correlated Topic Modeling Analysis from Science-Related Posts on the Reddit Platform

### ABSTRACT

The main source of technology in today's world is science. The world of science is being reshaped every day with the continuation of studies in the fields of science and technology. However, the development of technology causes the amount of data that cannot be processed with traditional methods on technological platforms to increase day by day. Making meaningful data meaningful by processing unmeaningful data will enable companies, institutions, and organizations to transform big data into highly beneficial tools. One of the most effective data mining techniques for processing and making sense of data is topic modeling. In this study, semantic content analysis of science-related posts on the Reddit platform was conducted using correlated topic modeling (CTM), one of the topic modeling techniques. In the first nine months of 2022, the hidden meanings in Reddit posts and the correlation between these meanings were revealed, and the relevant results were shared. It is thought that the results obtained will be a source of ideas for people interested in science and scientists for their research.

**Keywords:** Data Mining, Correlated Topic Modeling, Reddit, Science

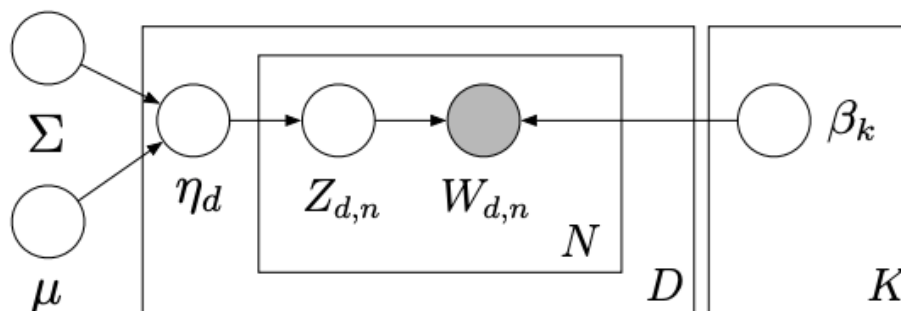
# I. INTRODUCTION

With the development of technology and science, the use of technological devices such as cell phones, tablets, and computers has increased considerably. The use of technological devices on an individual basis increases the amount of data day by day. The total amount of data produced since the invention of the Internet, or even more, can now be produced in a single day. Social media has an important role in the increasing amount of data and the development of scientific understanding [1]. Especially Reddit, which is known as the "front face of the internet", has been the source of countless scientific studies since it is open-source compared to other social media platforms [2]. Due to its large user base and posts on every conceivable topic, the accumulated uninterpreted data constitutes a great resource for text mining [3].

With data mining, large-scale irregular data is processed and made meaningful for a purpose. This process allows for revealing relationships and patterns between data and making predictions about the future. By applying text mining to data in the social environment, the analysis process of unstructured textual data can be automated [4]. One of the most efficient approaches to handling and extracting insights from data is through the utilization of topic modeling, a technique prominent in data mining. Topic modeling, an unsupervised machine learning method, employs text mining strategies to arrange, delve into, and scrutinize extensive volumes of data [5], [6]. This technique facilitates rapid and straightforward analysis of data without necessitating training [6], [7]. Its applications are diverse, spanning various domains like topic modeling, the medical sector, scientific investigations, sentiment assessment, recommendation systems, concise summarization of text, and enhancing search queries for search engines [7]. An illustrative instance of topic modeling is Latent Dirichlet Allocation (LDA), which categorizes text within a document based on a specific subject [8]. LDA utilizes a probability model and Dirichlet distributions to uncover concealed meanings within documents [4].

An improved and more sophisticated iteration of LDA, Correlated Topic Modeling (CTM) is a modeling approach that reveals the connection between latent topics in documents. While the relationship between topics is ignored in the LDA algorithm, CTM reveals correlations between topics by replacing topic distributions with logistic normal distributions. As a result, CTM offers a more original model by connecting a hidden meaning to another meaning [4], [9]. Moreover, scientific studies have shown that CTM gives better results than LDA [10]. For example, Blei et al. applied CTM to a dataset of 57 million words of articles in the journal Science from 1990-1999 and obtained better results compared to LDA [9]. In addition, CTM provides a familiar way to visualize and make sense of unstructured documents [10].

In CTM, multiple topics are displayed in different proportions in each document. In this way, heterogeneity can be captured in grouped data containing many latent topics. A graphical representation of the terminology and notation used to describe the data, latent variables, and parameters in CTM is shown in Figure 1 [11].



*Figure 1. Graphical representation of the CTM model*

The generative model corresponding to the graphical representation of the CTM in Figure 1 is as follows:

1. For each subject  $k$ ,  $k \in K$ 
  - a. Determine the  $K$  multinomial distribution of words within topics:  $\beta_k \sim N(\mu, \Sigma)$
2. For each document  $d$ ,  $d \in D$ 
  - a. Determine the  $K$ -dimensional vector, i.e. the topic distribution for each document:  $\eta_d \sim N(\mu, \Sigma)$
  - b. For each word  $n$ ,  $n \in \{1, \dots, N_d\}$ 
    - i. Assign a sample topic:  $Z_{d,n} \sim \text{Mult}(\theta)$
    - ii. Choose a sample word:  $W_{d,n} \sim \text{Mult}(\beta_{Z_{d,n}})$

The graphical representation and the parameters specified in the generative model and their corresponding meanings are presented in Table 1.

*Table 1. Parameters used in CTM and their descriptions*

Parameter	Description
$K$	Number of latent meanings
$D$	All documents in the collection
$k=1,2,\dots,K$	Index of latent meanings
$d=1,2,\dots,D$	Index to an individual document in the collection
$N$	All words in documents
$W_{d,n}$	$n$ th word in $d$ th document
$Z_{d,n}$	The topic determined for the $n$ th word in the $d$ th document
$\beta_k$	Word distribution per topic
$\eta_d$	Topic distribution per document
$\mu$	$K$ -dimensional average
$\Sigma$	$K \times K$ covariance matrix
$\Theta$	Document-specific topic rates

According to the CTM model, the only observable random variables are words organized into documents [9].  $\beta_1$ : Defines the  $K$  multinomial distribution for modeling the conditioned word on  $K$  topics [12].  $W_{d,n}$  corresponds to the  $n$ -th word in the  $d$ -th document and is an item stored in a  $V$ -term dictionary. A topic  $\beta$  is therefore a distribution over the dictionary and is expressed as  $V-1$ . Since the model contains  $K$  topics, it is denoted as  $\beta_1:K$ . Each word is assumed to be taken from one of the  $K$  topics, and topic assignment is performed  $Z_{d,n}$ . Furthermore, each document is associated with a set of topic rates  $\theta$ . Thus,  $\theta$  represents a distribution over topic indexes and reflects the probability of retrieving words from each topic in the collection [9].

Many studies have been conducted in the field of CTM. Some of these studies are as follows: McDermott et al. (2022) analyzed 4771 articles on child-computer interaction published between 2021 and 2023 with CTM and presented a comprehensive empirical map of child-computer interaction. The results allow us to characterize child-computer interaction as a vibrant and diverse research environment that evolves dynamically over time, exhibiting increasing specialization and the emergence of different subfields, and moving from a technology-driven to a needs-driven agenda [13]. Blei and Lafferty (2007) analyzed the articles in Science magazine published between 1990 and 1999, consisting of 57 million words in total, by applying CTM. As a result of the analysis, it was revealed that CTM gave better results than LDA and supported more topics compared to LDA [9]. Xu et al. (2013) analyzed an image dataset using extended CTM and LDA methods to propagate topic correlations from image features to description words, and the analysis revealed that CTM performed better than LDA [14]. He et al. (2017) used an improved CTM method to reveal hidden meanings in over two million NYTimes news articles. In addition, a model was created that reveals topic correlations based on proximity between topic

vectors. With this model, it was shown that very large amounts of data and models can be processed with high performance [15]. Daenekindt and Huisman (2020) analyzed the abstracts of 16,978 articles on higher education between 1991 and 2018 with CTM. The analysis showed that scientific interest has changed over time. Some themes became more central over time, while other themes that may have been at the forefront and dominated the field became secondary over time. We also investigated which themes tended to cluster with each other. As a result, it was found that the clustering showed a steady state over time [16]. Dybowski and Adämmer (2018) combined CTM, a probabilistic topic model, with dictionary-based sentiment analysis to create a time series showing when and how the US president communicates tax policy news to the public. For this, 89,843 presidential documents were analyzed for tax policy content. Econometric analysis revealed that optimistic tax policy statements stimulate production, consumption, and investment even after the tax proposal is adopted [17]. Tu, Xia, and Wang (2014) used optical flow and IKM methods to recognize complex human action. First, the missing data on point trajectories were reconstructed. Then, using optical flow, a human silhouette was extracted based on width and height ratios. In the action classification phase, IKM was utilized. In the study on three different datasets, the proposed method was shown to be more effective than the compared methods [18]. Aznag et al. (2013) used probabilistic latent semantic analysis (PLSA), LDA, and a CTM to extract hidden meanings from web service descriptions. The analysis revealed that CTM outperformed PLSA and LDA by revealing hidden meanings. These hidden meanings can then be used as an efficient discovery and ranking mechanism for web services [19].

In this study, semantic content analysis of science-related posts on the Reddit platform was conducted with CTM as a new application area. In the first nine months of 2022, the hidden meanings in Reddit posts and the correlation between these meanings were revealed, and the relevant results were shared.

## **II. METHOD**

### **A. DATA COLLECTION**

We used files provided by Pushshift.io, which contains all Reddit data from 2005 to the present on a monthly basis. The posts were pulled through Pushshift.io. However, after Reddit withdrew support for Pushshift.io, other methods were explored, and comments were pulled through academic torrents. Due to the large size of a monthly post file, the monthly files were split into 10,000-line files by using the 'split' command on Git Bash. Then, a Python script was written to extract the posts under the title of science. This process was repeated for each month, and the same method was applied for the comment files. The post data obtained for each month, together with the comments on that post, were combined to contain a maximum of 10,000 words. The data set with 21400 data points, consisting of 8,456,995 words, was saved in csv format.

### **B. REALIZATION OF DATA PRE-PROCESSING STAGES**

The success of data mining is based on cleaning up the data. These processes are also known as data preprocessing. In topic modeling, the data set needs to go through certain steps in order not to adversely affect the analysis. The nltk and tomotopy libraries of the Python language were used to perform these steps.

#### **B. 1. Deletion of Irrelevant Content**

Since topic modeling algorithms are case sensitive, all uppercase letters in the posts were converted to lowercase letters. In addition, punctuation marks and numeric values that do not make sense for the algorithm were removed from the posts. These operations were performed with Python's own libraries.



## B. 2. Removal of Stop Words

Stop words, words that occur frequently in the text but do not affect the semantic expression, are removed from the posts. This simplification speeds up the algorithm by making it easier to find meaningful patterns.

## B. 3. Identifying Word Roots

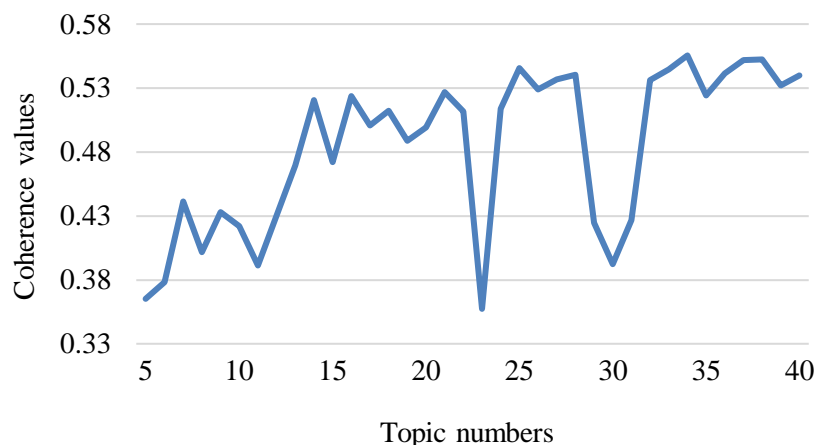
At this stage, the words that make up the posts are reduced to their basic form. The stemming process used in text normalization reduces the word to its root and standardizes the words that make up the data set. In this way, it positively affects the algorithm's performance by reducing the number of unique words.

## C. CTM MODEL CREATION SETTINGS

The Tomotopy library in Python was used to create the CTM models. Many parameters are used when creating the CTM.  $K$  is the number of topics, taking values between 1 and 32,767. This value was chosen according to the consistency test.  $\text{min\_df}$  is the minimum document frequency of words. Words with a document frequency less than  $\text{min\_df}$  are removed from the model. The default value is 0, meaning that no words are excluded.  $\text{min\_df}$  was used in the model with a value of 5.  $\text{rm\_top}$  is the number of very common words to exclude. To exclude these words from the model, it is necessary to set this value to 1 or more. The default value is 0, which means that no very common words are removed.  $\text{rm\_top}$  was set to 40.  $\text{num\_beta\_sample}$  is the number of times beta parameters are sampled; the default value is 10. CTMModel samples the beta parameter  $\text{num\_beta\_sample}$  for each document. The more betas sampled, the more accurate the distribution, but the longer it takes to learn. If there are few documents in the model, keeping this value large helps to get better results. Given the sufficient number of documents, we used a  $\text{num\_beta\_sample}$  of 5.

### C. 1. Coherence Values

In order to find the model with appropriate consistency values, models were created between 5 and 40 topics, and consistency values were compared. These consistency values are given in Figure 2. The  $k$  value was chosen as 34 to have better consistency values and to reveal the relationship between the topics more clearly.

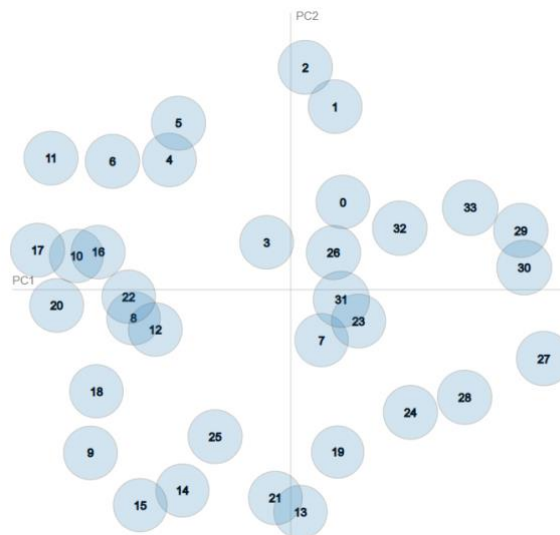


*Figure 2. CTM number of topics - consistency values*

### III. FINDINGS

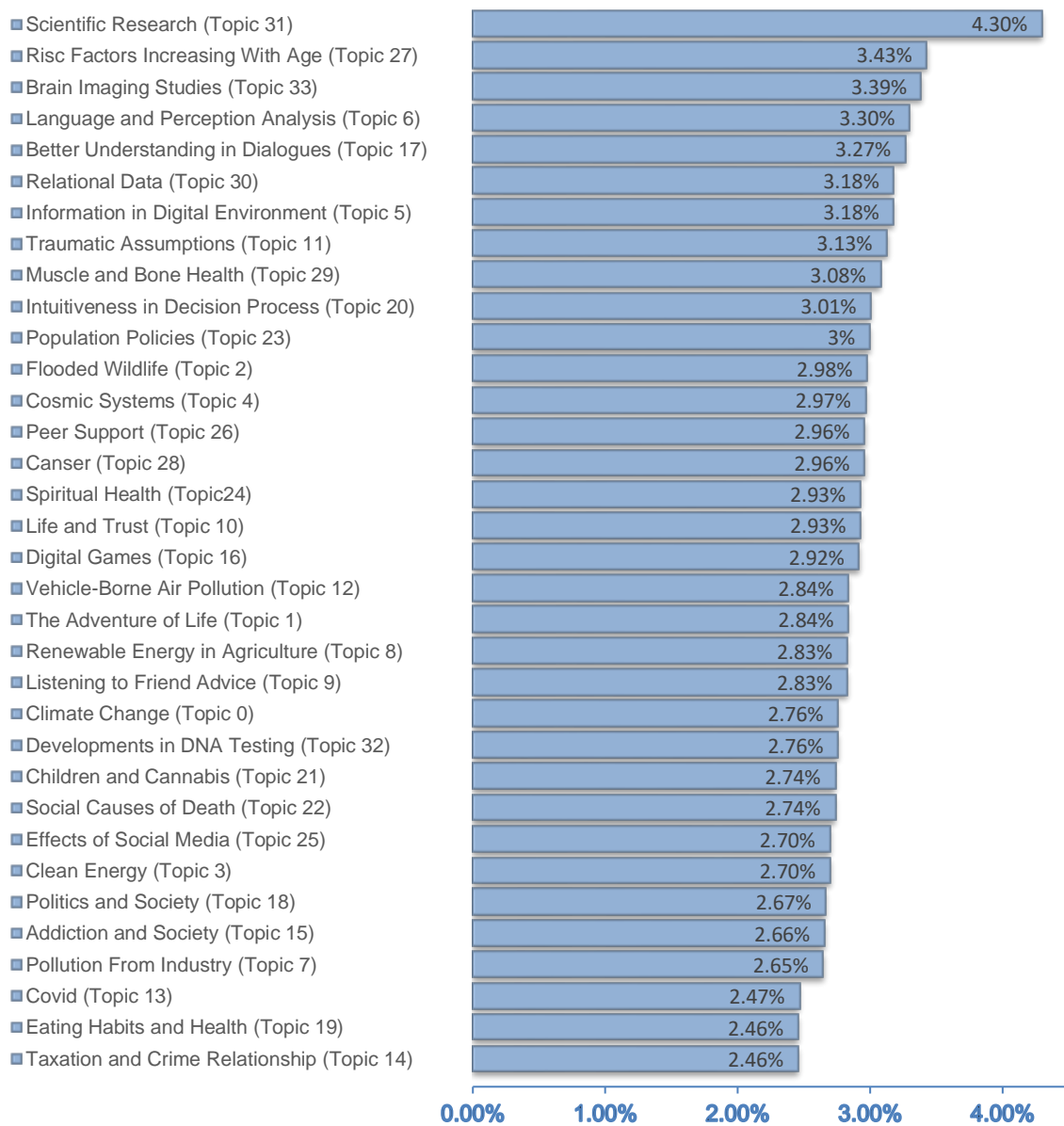
In this study, topic modeling of 21,400 science-related posts and a maximum of 10,000 words from these posts for the first nine months of 2022 on the Reddit platform was performed. The data obtained was subjected to pre-processing stages, then the topics were identified by applying the CTM model, and the relationships between topics were revealed. Tags were assigned for each topic, and the results were visualized.

The inter topic distance map is based on the visualization of topics in a two-dimensional space. The area of the circles representing the topics in the visual is directly proportional to the number of words belonging to the topic. In addition, topics that are closer to each other have more words in common. The distance map between topics is as shown in Figure 3. For example, topic 8 (renewable energy in agriculture) has common words with topic 12 (vehicle-borne air pollution) and topic 22 (social causes of death).



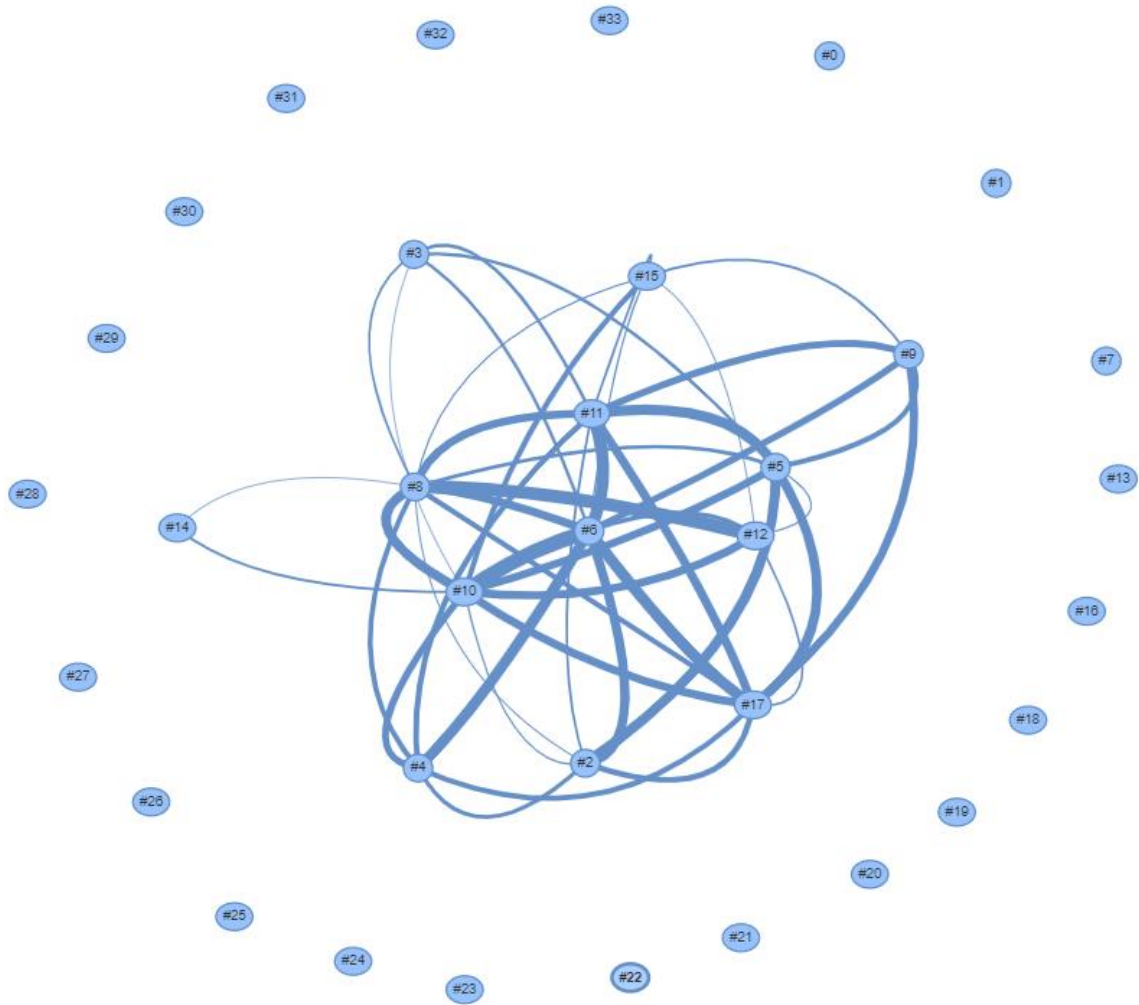
*Figure 3. Distance map between topics*

The bar scatter plot of the topic distributions is shown in Figure 4. Among 35 topics, scientific research (topic 31) has the highest distribution rate. This is followed by risk factors increasing with age (topic 27) and brain imaging studies (topic 33). The topics with the lowest distribution rate are eating habits and health (topic 19) and taxation and crime relationship (topic 14).



**Figure 4.** Bar graph of topic distributions

The visual showing the relationships between the topics is shown in Figure 5. There are relationships between almost all topics. However, when all the relationships are shown on the figure, the relationships above the threshold value of 0.46 are shown because it is difficult to understand the figure. The thick link between the topics shows strong relationships, while the thin link shows relatively weaker relationships.



**Figure 5.** Visualization of relationships between topics

The relationships between the topics are also shown in the numerical values in Figure 6. In the figure, positive values indicate that there is a positive relationship between the topics, while negative values indicate that there is an opposite relationship between the topics. It is also seen that the relationship between the topic and itself is expressed as 1. Looking at Figure 5, the strong relationship between topic-6 (language and perception analysis) and topic-10 (life and trust) is represented in Figure 6 with a value of 0.51. Considering how much people understand each other with the language they use as a means of communication and the importance of language for the formation of trust in human relations, it will be understood that this relationship is meaningful.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
0	1.00	0.39	0.37	0.40	0.38	0.36	0.37	0.37	0.39	0.33	0.36	0.36	0.37	0.25	0.33	0.31	0.34	0.36	0.33	0.27	0.31	0.25	0.35	0.33	0.19	0.26	0.27	0.26	0.15	0.30	0.26	0.13	0.26	0.18	
1	0.39	1.00	0.46	0.43	0.43	0.44	0.44	0.41	0.44	0.38	0.41	0.42	0.42	0.32	0.38	0.35	0.38	0.41	0.33	0.31	0.35	0.31	0.37	0.37	0.26	0.29	0.34	0.34	0.25	0.39	0.34	0.11	0.30	0.24	
2	0.37	0.46	1.00	0.45	0.47	0.49	0.49	0.42	0.46	0.44	0.46	0.46	0.44	0.38	0.40	0.42	0.42	0.47	0.39	0.33	0.38	0.38	0.37	0.42	0.33	0.34	0.39	0.39	0.30	0.42	0.40	0.18	0.30	0.24	
3	0.40	0.43	0.45	1.00	0.46	0.46	0.46	0.44	0.46	0.42	0.46	0.46	0.45	0.35	0.42	0.41	0.42	0.45	0.42	0.36	0.39	0.34	0.40	0.40	0.29	0.34	0.37	0.34	0.25	0.37	0.34	0.16	0.30	0.22	
4	0.38	0.43	0.47	0.46	1.00	0.48	0.49	0.43	0.47	0.45	0.48	0.47	0.45	0.38	0.41	0.43	0.44	0.47	0.41	0.35	0.42	0.37	0.39	0.42	0.32	0.35	0.38	0.36	0.27	0.39	0.38	0.16	0.30	0.24	
5	0.36	0.44	0.49	0.46	0.48	1.00	0.52	0.44	0.47	0.47	0.48	0.49	0.46	0.41	0.43	0.45	0.43	0.49	0.42	0.33	0.43	0.41	0.39	0.45	0.34	0.39	0.42	0.39	0.32	0.41	0.43	0.19	0.28	0.24	
6	0.37	0.44	0.49	0.46	0.49	0.52	1.00	0.43	0.48	0.48	0.51	0.50	0.47	0.42	0.44	0.46	0.45	0.49	0.43	0.35	0.44	0.41	0.41	0.45	0.37	0.39	0.42	0.40	0.32	0.42	0.43	0.20	0.29	0.23	
7	0.37	0.41	0.42	0.44	0.43	0.44	0.43	1.00	0.46	0.41	0.44	0.43	0.45	0.36	0.42	0.40	0.41	0.44	0.41	0.40	0.37	0.37	0.39	0.39	0.32	0.33	0.34	0.35	0.28	0.39	0.34	0.17	0.26	0.19	
8	0.39	0.44	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.46	1.00	0.46	0.49	0.48	0.50	0.40	0.46	0.46	0.44	0.47	0.44	0.40	0.44	0.38	0.44	0.42	0.33	0.38	0.37	0.37	0.27	0.39	0.35	0.17	0.27	0.20	
9	0.33	0.38	0.44	0.42	0.45	0.47	0.48	0.41	0.46	1.00	0.49	0.48	0.45	0.42	0.44	0.46	0.45	0.48	0.43	0.36	0.44	0.44	0.42	0.43	0.36	0.41	0.39	0.35	0.29	0.37	0.36	0.19	0.25	0.18	
10	0.36	0.41	0.46	0.46	0.48	0.48	0.51	0.44	0.49	0.49	1.00	0.49	0.48	0.42	0.46	0.47	0.45	0.48	0.45	0.37	0.45	0.42	0.43	0.43	0.34	0.41	0.41	0.36	0.28	0.38	0.37	0.19	0.26	0.20	
11	0.36	0.42	0.46	0.46	0.47	0.49	0.50	0.43	0.48	0.48	0.49	1.00	0.47	0.41	0.45	0.46	0.45	0.48	0.45	0.36	0.45	0.40	0.42	0.42	0.34	0.39	0.39	0.36	0.27	0.38	0.37	0.19	0.27	0.21	
12	0.37	0.42	0.44	0.45	0.45	0.46	0.47	0.45	0.50	0.45	0.48	0.47	1.00	0.39	0.45	0.46	0.44	0.46	0.44	0.37	0.43	0.40	0.42	0.41	0.32	0.39	0.38	0.35	0.27	0.37	0.34	0.17	0.25	0.19	
13	0.25	0.32	0.38	0.35	0.38	0.41	0.42	0.36	0.40	0.42	0.42	0.41	0.39	1.00	0.40	0.43	0.38	0.43	0.39	0.35	0.38	0.43	0.36	0.40	0.38	0.38	0.35	0.36	0.40	0.37	0.16	0.18	0.16		
14	0.33	0.38	0.40	0.42	0.41	0.43	0.44	0.42	0.46	0.44	0.46	0.45	0.45	0.40	1.00	0.45	0.42	0.44	0.43	0.35	0.42	0.40	0.41	0.39	0.31	0.39	0.35	0.33	0.26	0.34	0.32	0.16	0.22	0.16	
15	0.31	0.35	0.42	0.41	0.43	0.45	0.46	0.40	0.46	0.46	0.47	0.46	0.46	0.43	0.45	1.00	0.43	0.45	0.44	0.38	0.44	0.43	0.41	0.42	0.36	0.42	0.38	0.36	0.28	0.36	0.35	0.18	0.21	0.18	
16	0.34	0.38	0.42	0.42	0.44	0.43	0.45	0.41	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.38	0.42	0.43	1.00	0.45	0.42	0.34	0.41	0.38	0.38	0.38	0.31	0.36	0.35	0.32	0.26	0.34	0.33	0.16	0.24	0.19	
17	0.36	0.41	0.47	0.45	0.47	0.49	0.49	0.44	0.47	0.48	0.48	0.48	0.46	0.40	0.44	0.45	0.45	1.00	0.44	0.36	0.44	0.40	0.41	0.43	0.35	0.38	0.40	0.36	0.30	0.39	0.37	0.17	0.26	0.23	
18	0.33	0.35	0.39	0.42	0.41	0.42	0.43	0.41	0.44	0.43	0.45	0.45	0.44	0.39	0.43	0.44	0.42	0.44	1.00	0.35	0.41	0.37	0.39	0.38	0.30	0.36	0.34	0.32	0.24	0.31	0.30	0.16	0.20	0.15	
19	0.27	0.31	0.33	0.36	0.35	0.33	0.35	0.40	0.40	0.36	0.37	0.36	0.37	0.35	0.35	0.38	0.34	0.36	0.35	1.00	0.33	0.34	0.33	0.33	0.32	0.29	0.28	0.30	0.26	0.32	0.28	0.13	0.18	0.12	
20	0.31	0.35	0.38	0.39	0.42	0.43	0.44	0.37	0.44	0.44	0.45	0.45	0.43	0.38	0.42	0.44	0.41	0.44	0.41	0.33	1.00	0.37	0.38	0.37	0.30	0.36	0.35	0.28	0.24	0.31	0.32	0.15	0.20	0.16	
21	0.25	0.31	0.38	0.34	0.37	0.41	0.41	0.37	0.38	0.44	0.42	0.40	0.40	0.43	0.40	0.43	0.38	0.40	0.37	0.34	0.37	1.00	0.35	0.39	0.37	0.36	0.34	0.35	0.31	0.34	0.34	0.14	0.19	0.17	
22	0.35	0.37	0.37	0.40	0.39	0.39	0.41	0.39	0.44	0.42	0.43	0.42	0.42	0.36	0.41	0.41	0.38	0.41	0.39	0.33	0.38	0.35	1.00	0.34	0.25	0.35	0.31	0.28	0.18	0.30	0.26	0.14	0.20	0.14	
23	0.33	0.37	0.42	0.40	0.42	0.45	0.45	0.39	0.42	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.42	0.38	0.43	0.38	0.33	0.37	0.39	0.34	1.00	0.37	0.36	0.37	0.39	0.30	0.38	0.38	0.14	0.23	0.20	
24	0.19	0.26	0.33	0.29	0.32	0.34	0.37	0.32	0.33	0.36	0.34	0.34	0.32	0.38	0.31	0.36	0.31	0.35	0.30	0.32	0.30	0.37	0.25	0.37	1.00	0.30	0.31	0.36	0.34	0.33	0.33	0.12	0.18	0.17	
25	0.26	0.29	0.34	0.34	0.35	0.39	0.39	0.33	0.38	0.41	0.41	0.39	0.39	0.38	0.39	0.42	0.36	0.38	0.36	0.29	0.36	0.36	0.35	0.36	0.30	1.00	0.34	0.30	0.15	0.29	0.30	0.14	0.16	0.14	
26	0.27	0.34	0.39	0.37	0.38	0.42	0.42	0.34	0.37	0.39	0.41	0.39	0.38	0.35	0.35	0.38	0.35	0.40	0.34	0.28	0.35	0.34	0.31	0.37	0.31	0.34	1.00	0.33	0.26	0.32	0.33	0.14	0.22	0.21	
27	0.26	0.34	0.39	0.34	0.36	0.39	0.40	0.35	0.37	0.35	0.36	0.36	0.35	0.36	0.33	0.36	0.32	0.36	0.32	0.30	0.28	0.35	0.28	0.39	0.36	0.30	0.33	1.00	0.30	0.36	0.34	0.10	0.20	0.18	
28	0.15	0.25	0.30	0.25	0.27	0.32	0.32	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.27	0.30	0.26	0.28	0.26	0.30	0.24	0.26	0.24	0.31	0.18	0.30	0.34	0.15	0.26	0.30	1.00	0.33	0.30	0.06	0.20	0.23	
29	0.30	0.39	0.42	0.37	0.39	0.41	0.42	0.39	0.39	0.37	0.38	0.38	0.37	0.34	0.34	0.36	0.34	0.39	0.31	0.32	0.31	0.34	0.30	0.38	0.33	0.29	0.32	0.36	0.33	1.00	0.38	0.04	0.27	0.26	
30	0.26	0.34	0.40	0.34	0.38	0.43	0.43	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.34	0.35	0.32	0.35	0.33	0.37	0.30	0.28	0.32	0.34	0.26	0.38	0.33	0.30	0.33	0.34	0.30	0.38	1.00	0.38	0.10	-0.02	0.27
31	0.13	0.11	0.18	0.16	0.16	0.19	0.20	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19	0.17	0.16	0.16	0.18	0.16	0.17	0.16	0.13	0.15	0.14	0.14	0.14	0.12	0.14	0.14	0.10	0.06	0.04	-0.02	1.00	-0.07	-0.18	
32	0.26	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.29	0.26	0.27	0.25	0.26	0.27	0.25	0.18	0.22	0.21	0.24	0.26	0.20	0.18	0.20	0.19	0.20	0.23	0.18	0.16	0.22	0.20	0.20	0.27	0.27	-0.07	1.00	0.27	
33	0.18	0.24	0.24	0.22	0.24	0.24	0.23	0.19	0.20	0.18	0.20	0.21	0.19	0.16	0.16	0.18	0.19	0.23	0.15	0.12	0.16	0.17	0.14	0.20	0.17	0.14	0.21	0.18	0.23	0.26	0.27	-0.18	0.27	1.00	

Figure 6. Values expressing the relationships between topics ("Topic-Topic relationship")

## IV. CONCLUSION

In this study, the CTM model was successfully applied to the Reddit data set, known as the "front face of the internet", related to science, consisting of 8,456,995 words, for the first nine months of 2022, and the hidden topics of the data set and the correlations between these topics were revealed. In the study, it was seen that Topic 31, which has the scientific research label, had the highest rate among the topics with 4.30%. In terms of relationships between topics, it was seen that Topic 6 and Topic 10 had the highest relationship with a value of 0.51. One of the most important problems encountered while carrying out the study was obtaining the data set. For this, firstly, the Reddit API provided by Pushshift.io was used, but due to the restriction imposed by Reddit, the necessary data could not be retrieved. Then the web scraping method was tried, and the same restriction was encountered. Finally, Pushshift.io's monthly files containing all Reddit data from 2005 to the present were used, and subreddits were extracted using this method. Reddit restrictions were encountered when withdrawing comments, and another method was investigated, and monthly comment files were extracted via Academic Torrents. By purifying irrelevant data from these files, science-related data was obtained. Considering this situation in future studies, data extraction can be carried out successfully via academic torrents, while the relevant steps can be implemented more easily by following the sharing on Github. In the study, IKM, one of the models that has not been studied much in the field of subject modeling, was used. It is thought that this study can be used as a resource in the field of subject modeling, especially for people who want to work on IKM and for those who are interested in science. In addition, this study makes it possible to predict the course of science-related research in the future by looking at the current state of science.

**ACKNOWLEDGEMENT:** The activities carried out in this study were supported by TUBITAK in 2023 as study number 1919B012220329 within the scope of the TUBITAK 2209-A University Students Domestic Research Projects Support Program.

## **V. REFERENCES**

- [1] J. Baumgartner, S. Zannettou, B. Keegan, M. Squire, J. Blackburn and P. Io, “The Pushshift Reddit Dataset”, in *Proceedings of the Fourteenth International AAAI Conference on Web and Social Media*, Zenodo, 2020.
- [2] F. Tekin ve A. Turan , "Çalışan kadınların sosyal medya kullanım karakteristikleri", *Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Dergisi*, c. 2, sayı. 1, ss. 27-32, 2020.
- [3] U. Yakar (2020). *Geniş İçeriği ile Dikkat Çeken Sosyal Platform Reddit Nedir, Ne İşe Yarar, Nasıl Kullanılır?* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.webtekno.com/reddit-nedir-ne-ise-yarar-kullanim-h120297.html>, 2020.
- [4] A. Kaya, and E. Gülbandılar, “Konu Modelleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, c. 3, sayı. 2, ss. 46-53, 2022.
- [5] Z. Tong and H. Zhang, “A Text Mining Research Based on LDA Topic Modelling”, *Computer Science and Information Technology*, vol. 6, pp. 201–210, 2016.
- [6] F. Pascual. (2019, September 26). *Topic Modeling: An Introduction* [Online]. Available: <https://monkeylearn.com/blog/introduction-to-topic-modeling/#what-is>
- [7] Y. Peddireddi. (2021, May 1). *Topic Modelling in Natural Language Processing* [Online]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/topic-modelling-in-natural-language-processing/>
- [8] S. Li. (2018, May 31). *Topic Modeling and Latent Dirichlet Allocation (LDA) in Python* [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/topic-modeling-and-latent-dirichlet-allocation-in-python-9bf156893c24>
- [9] D. M. Blei and J. D. Lafferty, “A Correlated Topic Model of Science”, *The Annals of Applied Statistics*, vol. 1(1), pp. 17-35, 2007.
- [10] D. M. Blei and J. D. Lafferty, “Correlated Topic Models” , *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 18, 2005.
- [11] M. K. Oo and M. A. Khine, “Correlated Topic Modeling for Big Data with MapReduce”, in *2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*., Nara, Japan, 2018, pp. 408-409.
- [12] K. Salomatin, Y. Yang and A. Lad, “Multi-field Correlated Topic Modeling”, in *Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining, SDM*., Sparks, Nevada, USA, 2009, pp. 628-637.
- [13] T. McDermott, J. Robson, N. Winters and L. E. Malmberg, “Mapping the Changing Landscape of Child-Computer Interaction Research Through Correlated Topic Modelling”, in *Proceedings of Interaction Design and Children, IDC*, Braga, Portugal, 2022, pp. 82–97.

- [14] X. Xu, A. Shimada and R. I. Taniguchi, “Correlated Topic Model For Image Annotation”, in *FCV 2013 - Proceedings of the 19th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision*, 2013, pp. 201–208.
- [15] J. He, Z. Hu, T. Berg-Kirkpatrick, Y. Huang and E. P. Xing, “Efficient Correlated Topic Modeling With Topic Embedding”, in *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2017, vol. Part F129685, pp. 225–233.
- [16] S. Daenekindt and J. Huisman, “Mapping the Scattered Field of Research on Higher Education”, *High Educ*, vol. 80, pp. 571–587, 2020.
- [17] T. P. Dybowski and P. Adämmer, “The Economic Effects of U.S. Presedental Tax Commucation: Evidence From A Correlated Topic Model”, *European Journal of Political Economy*, vol. 55, pp. 511-525, 2018.
- [18] H. Tu, L. Xia & Z. Wang, “The Complex Action Recognition via Correlated Topic Model”, *Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [19] M. Aznag, M. Quafafou and Z. Jarir, “Correlated Topic Model For Web Services Ranking”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 4, pp. 283-291, 2013.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Modeling, Simulation and Call Performance Analysis of a TDMA-Based Cognitive Radio Network with Different Slot Allocation Strategies

 Sedat ATMACA<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Information Systems Engineering, Technology Faculty, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: sedatatmaca@mu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1371639

### ABSTRACT

Since the wireless spectrum is limited, the use of licensed channels for secondary purposes is seen as an important solution to the spectrum scarcity problem. The objective of the work presented in this paper is to model, develop and analyze a cognitive radio network in which secondary users (SUs) utilize opportunistically available spectrum holes of the primary network. In the proposed network model, it is assumed that primary users (PUs) are licensed users and have a higher priority in access to the channel than secondary users and thereby are unaffected by the SUs' channel utilization. PUs employ Time Division Multiple Access as a channel access mechanism and secondary users use the time slots unoccupied by the PUs. Three slot allocation strategies for Cognitive Radio (CR) networks: non-slot-handoff strategy, slot-handoff strategy, and slot-reservation strategy are developed, modeled, and simulated by using Riverbed Modeler simulation software. Moreover, channel access performances of these three strategies in terms of call block, call drop and call handoff probabilities are analyzed. According to the extensive simulation results, the non-slot-handoff strategy gives the lowest call block probability while the slot-reservation strategy provides the lowest call drop probability. When the SUs' offered load is 0.05, the slot-reservation strategy gives 1.75 times better call drop probability results than those of the slot-handoff strategy. However, for the same offered load, the non-slot-handoff strategy gives 2.26 times better call block probability results compared to the slot-reservation strategy.

**Keywords:** Cognitive radio, medium access control, TDMA, channel allocation

## TDMA Tabanlı Bilişsel Radyo Ağının Farklı Zaman Dilimi Tahsis Stratejileri için Modellenmesi, Simülasyonu ve Çağrı Performans Analizi

### ÖZET

Kablosuz spektrum sınırlı olduğundan lisanslı kanalların ikincil amaçlarla kullanılması spektrum kıtlığı sorununa önemli bir çözüm olarak görülmektedir. Bu makalede sunulan çalışmanın amacı, ikincil kullanıcıların birincil ağın mevcut spektrum boşluklarını fırsatçı olarak kullandığı bir bilişsel radyo ağını modellemek, geliştirmek ve analiz etmektir. Önerilen ağ modelinde, birincil kullanıcıların lisanslı kullanıcılar olduğu ve kanala erişimde ikincil kullanıcılara göre daha yüksek önceliğe sahip oldukları ve dolayısıyla ikincil kullanıcıların kanal kullanımından etkilenmedikleri varsayılmaktadır. Birincil



kullanıcılar kanal erişim mekanizması olarak Zaman Bölmeli Çoklu Erişimi tekniğini, ikincil kullanıcılar ise birincil kullanıcılar tarafından kullanılmayan zaman aralıklarını kullanmaktadır. Bilişsel Radyo ağı için üç slot tahsis stratejisi: spektrum el-değiştirmesiz slot-tahsis stratejisi, spektrum el-değiştirmeli slot-tahsis stratejisi ve slot-rezervasyon stratejisi Riverbed Modeller benzetim yazılımı kullanılarak geliştirilmiş, modellenmiş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu üç stratejinin çağrı bloke, çağrı düşme ve çağrı el-değiştirme olasılıkları açısından kanal erişim başarımları analiz edilmiştir. Kapsamlı benzetim sonuçlarına göre, spektrum el-değiştirmesiz slot-tahsis stratejisi en düşük çağrı bloke olasılığı, slot-rezervasyon stratejisi en düşük çağrı düşme olasılığı vermektedir. İkincil kullanıcı yükü 0,05 olduğunda, slot-rezervasyon stratejisi, spektrum el-değiştirmeli slot-tahsis stratejisine göre 1,75 kat daha iyi çağrı düşme olasılığı sonuçları vermiştir. Bununla birlikte, sunulan aynı yük için, spektrum el-değiştirmesiz slot-tahsis stratejisi, slot-rezervasyon stratejisi ile karşılaştırıldığında 2,26 kat daha iyi çağrı bloke olasılığı sonuçları vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilişsel radyo, orta erişim kontrolü, TDMA, kanal tahsisi

## **I. INTRODUCTION**

Over the past few years, as new communication systems and technologies emerge at an exponential rate, wireless communication systems have become more and more prevalent. With this rapid prevalence of wireless devices and systems, the spectrum scarcity problem has been exposed. Since traditional spectrum allocation policies follow a fixed or static allocation approach, a particular wireless communications system is entitled to exclusive use of certain spectrum resources [1]-[4]. Nevertheless, some parts of the spectrum resources allocated to licensed users also known as primary users (PUs) may not be utilized efficiently. Furthermore, the use of the licensed spectrum may also be dependent on place or time [2]-[7]. Accordingly, the spectrum that is limited and not efficiently utilized by PUs requires new management techniques in order to maximize its utilization. Cognitive Radio (CR) has been put forward as a way to exploit the inefficiently used licensed spectrum and is considered as a promising technology to alleviate the spectrum scarcity problem for wireless communications [2]-[8]. CR networks can improve the efficiency of the spectrum significantly by temporarily using licensed spectrum without interfering with PUs. These networks provide CR users also called as SUs the opportunity to exploit the available (vacant) spectrum gaps when the PUs are not in their active transmission mode. The CR users identify and access vacant portions of the spectrum, also known as spectrum holes, while ensuring that they do not interfere with the communications of the PUs. Therefore, the primary goal of CR networks is to increase the efficiency of the existing spectrum by utilizing the gaps in the entire spectrum on a temporary basis [9]-[10].

There are some fundamental concepts that a CR network must follow in order to be managed successfully, which are spectrum sensing, spectrum access, spectrum mobility, and spectrum sharing [11]. Spectrum sensing operation measures, senses, and is aware of some of the wireless environment parameters such as spectrum availability and channel characteristics. This allows CR networks to identify unused portions of the spectrum and dynamically adapt their transmissions to avoid any interference. There are several methods that are commonly used in spectrum sensing, including energy detection, waveform-based, cyclostationary-based, and cooperative sensing [11]. Each of these methods has its own advantages, disadvantages, and specific performance characteristics. In spectrum access, decisions are made as to which channels are utilized taking into account a number of factors, such as the channel quality and interference levels, and CRs can dynamically allocate and employ these available channels [11]. It is important for CR users to be capable of adapting to changing spectrum conditions and user requirements. Spectrum mobility entails the capacity to switch to different channels in accordance with the availability of spectrum resources, or to evade interference caused by PUs. Spectrum management in CR networks requires the establishment of policies and protocols for spectrum sharing. Spectrum-sharing policies may involve cooperation and other mechanisms for allocating spectrum resources between multiple CR users.

In this paper, a wireless network with a more realistic scenario containing two classes of users, namely PUs and CRs, which use a time-slotted based common communication channel is considered. PUs are licensed users of the frequency band and have higher priority over CR users to access the given channel. PUs use TDMA as a channel access mechanism to access the channel, whereas CR users can only utilize idle channels when they are not used by the PUs. Three slot allocation strategies for CR users: non-slot-handoff strategy, slot-handoff strategy and slot-reservation strategy are developed, modeled and simulated by using Riverbed Modeler simulation software. Besides, channel access performances of these three strategies in terms of call block, call drop and call handoff probabilities are also comparatively analyzed and presented.

The remainder of the paper is organized as follows: In Section 2, related works are presented. The proposed network models which contain the primary network model and CR network model are explained in detail in Section 3. Performance analysis are given in Section 4. Simulation results and discussions are presented in Section 5 followed by conclusions in Section 6.

## **II. RELATED WORKS**

There has been a significant amount of research conducted on the performance of CR networks. In [12] and [13], three-dimensional Markov chain models are used to analyze the call block and call drop performance of the CR network. However, in their paper, the numbers of PUs and SUs are all assumed to be infinite in order to make the analysis tractable. In [14], in order to obtain the SU blocking probability, a discrete-time Markov chain model is developed in CR Sensor Network (CRSN). Their model takes into account the effects of PUs and SUs offered loads and service rates in estimating SU blocking probability. Even though this paper discusses the secondary user (SU) call blocking probability, it does not address the call drop probability. In [15], a four-dimensional continuous-time Markov chain model is developed to evaluate the performance of CR networks. Assuming a bursty arrival process for PUs, the proposed model also considers the possibility of sensing errors (false alarms and miss detections). This paper examines the call blocking probabilities for both primary and secondary users and presents the computation of the average delay experienced by SUs by means of numerical examples for clarification. In [16], SU performance in CR networks with reactive decision spectrum handoff is studied. The main performance metrics used in this work are the SU mean delay, the SU interruption probability, the SU discarded probability, and the SU blocking probability. Two continuous-time Markov chain models are developed in order to investigate the effect of parameters such as sensing time and sensing room size on SU performance. According to the results presented by this work, the performance of SUs is primarily determined by the degree of burstiness in each PUs' arrival process. In [17], a multidimensional Markov chain with three state variables is modeled for a dynamic spectrum access scheme to compute the blocking probability and dropping probability of SUs based on the two different classes of SU traffic. In [18], a Dynamic Spectrum Access (DSA) approach is proposed as a means to dynamic channel allocation with priority in CR Sensor Networks (CRSNs) without spectrum handoff capability. The proposed CRSN provisions PUs and two types of SUs, one of which has a higher priority than the other. Performance analysis of the proposed approach in terms of the blocking probability (BP), forced termination probability (FTP), and call completion rate (CCR) for the SUs with and without priority service support in the CRSN are also presented. A three-dimensional (3D) Markov chain model is developed and analyzed in [19] for a spectrum management scheme that works in CR ad hoc networks with heterogeneous licensed bands of two different licensed spectrum pools. The model developed presents the concept of inter-pool and intra-pool spectrum handoff and derives blocking probability, dropping probability, non-completion probability, and throughput to compute the performance of SUs in heterogeneous licensed spectrum environments. The results obtained from the proposed model taking into consideration of heterogeneous environment of different licensed bands exhibit significant improvement in terms of SUs' performance in CR ad hoc networks. Some of the related works are summarized in Table 1 shown below.

*Table 1. Summary of the related literature employing Dynamic Spectrum Access in cognitive radio*

Ref.	Spectrum handover	Channel reservation	SU's priority	Buffering	Multi-channel allocation	Performance metrics
[12]	✗	✓	✗	✗	✗	SU call blocking probability, SU call dropping probability
[13]	✓	✓	✗	✗	✗	SU call blocking probability, SU call dropping probability
[14]	✓	✗	✗	✗	✗	SU blocking loss, throughput
[15]	✗	✗	✗	✗	✗	Collision rate, SU call blocking probability, mean delay of secondary users
[16]	✓	✗	✗	✗	✗	SU call blocking SU discard probability, mean delay of secondary users
[17]	✓	✗	✓	✗	✓	SU call blocking probability, SU call dropping probability
[18]	✗	✗	✓	✗	✓	SU blocking probability, SU forced termination probability, Call completion rate
[19]	✓	✗	✓	✗	✗	SU blocking probability, SU call dropping probability, SU call non-completion probability, and throughput
[23]	✓	✓	✗	✗	✗	Optimal number of reserved channels, Average number of channel-switching
[24]	✓	✓	✓	✗	✗	Service completion rate (SCR), blocking probability (BP), successful service completion probability (SSCP), handoff probability, throughput
[25]	✓	✗	✗	✓	✗	link maintenance probability, link failure probability,

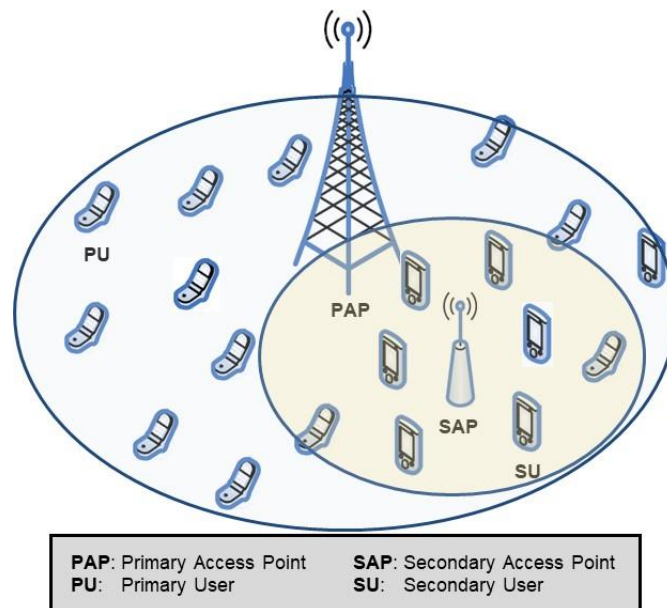
The main contributions of the paper are the following: (1) a more realistic wireless networking scenario containing two classes of users, namely PUs and CRs, which use a time-slotted based common communication channel is considered while most of the above research papers consider infinite CR users. (2) Three slot allocation strategies for CRs: non-slot-handoff strategy, slot-handoff strategy and slot-reservation strategy are developed, modeled and simulated by using Riverbed Modeler simulation software. Besides, channel access performances of these three strategies in terms of call block, call drop, and call handoff probabilities are also comparatively analyzed and presented.

### **III. PROPOSED NETWORK MODELS**

#### **A. 1. Network Model**

In this paper, a network environment in which primary & secondary users and their access points coexist in the same communication area is considered as illustrated in Figure 1. The PUs are authorized entities to access the channel and employ Time Division Multiple Access (TDMA) with constant time slots as a channel access mechanism. SUs are time-synchronized with the PUs and exploit the idle time slots not used by PUs. SUs utilize the overlay spectrum sharing with prioritized PUs. Therefore, the time slotted-based single communication channel is shared in an overlay manner with the higher priority of PUs over SUs. A particular time slot in a frame time is defined as active slots if it is used by any PUs, and the time slots not used by any PU are defined as idle slots. There are two access points within the

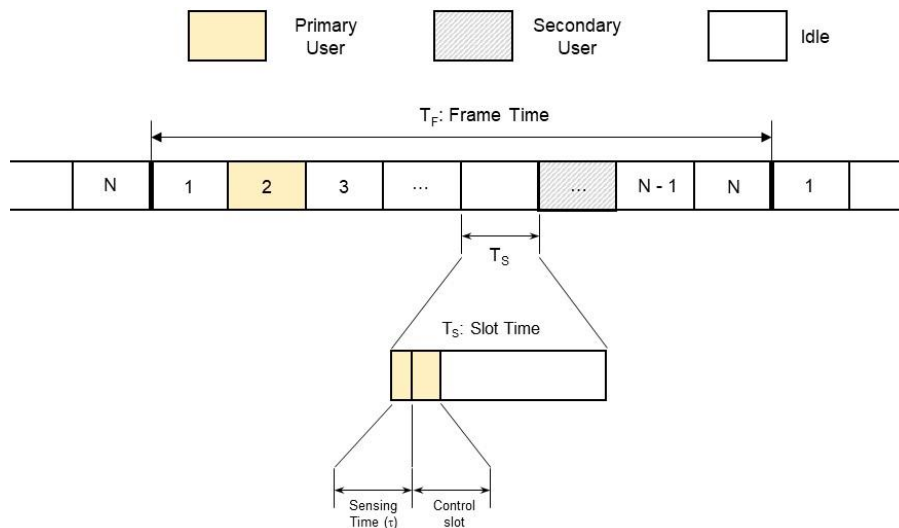
communication area, one for the PUs and one for the SUs. The primary access point (PAP) does not need to keep a record of the channel usage by SUs and randomly allocates any idle time slot to a newly arrived PU demanding a connection. As a result, a time slot already assigned for an SU can be allocated for a newly arrived PU even when there are other available time slots. Secondary access point (SAP) and SUs are responsible for determining channel occupation and have sensing capabilities to find channel holes (unoccupied channels). Perfect spectrum sensing is considered for SUs and SAP. The SAP keeps a record of the channel usage both by PUs and SUs and assigns an idle time slot to a newly arrived SU if there is any available. It uses a slot allocation table (SAT) in order to keep the slot usage information [20]-[21]. When a time slot is idle, it provides an opportunity for the SU to take advantage of it. There are some distinct conditions in terms of primary and SUs' channel occupation, which are explained in detail in the following sections according to the channel allocation strategies adopted.



*Figure 1. The proposed cognitive radio network model*

## A. 2. Frame Structure of the Proposed CRN Model

The frame structure of the proposed CR network model is shown in Figure 2. Frame time is composed of  $N$  equal-size time slots and a time slot in a frame can be utilized by a primary or a secondary user, or can be idle, i.e. not used by any of them. PUs have authorized users to access the licensed channel and they can be allocated any of the  $N$  time slots. Whereas, SUs have to sense the channel for idle slots and they are randomly assigned one of the unoccupied idle time slots. In Figure 2, the time slots used by the PUs are shown in yellow color, the time slots filled in a pattern are utilized by the SU and the time slots which are empty are used to depict the idle slots. Sensing time ( $\tau$ ) is used by SAP and SUs to determine whether the following time slot is idle or not. Control slots at the beginning of each time slot following the sensing time slots are used for transmitting control packets to access points both primary and SUs.



**Figure 2.** The Frame structure of the proposed cognitive radio network model

### A. 3. Slot Allocation Strategies

In this presented work, three classical channel allocation strategies, namely, non-slot-handoff, slot-handoff and slot-reservation strategies in a CR network environment are modeled, simulated and analyzed according to their call block, call drop and call handoff probabilities. In order to model the proposed CR network with these channel allocation strategies, Riverbed Modeler discrete event simulation tool was utilized. In the following subsections, these time slot allocation strategies are explained in detail.

#### A.1.1. Non-Slot-Handoff Strategy

In the proposed non-slot-handoff model, there are total  $N$  time slots in a frame time and each time slot has an equal time length as shown in Figure 3.a. Since sensing time slots and control slots are very small compared to time slot length, they are not illustrated in the figure. In a frame time, shown in Figure 3.b, there are 6 time-slots used by PUs, one time slot used by an SU and an idle time slot not used by any of them. When one of the PUs wants a connection request from the PAP, PAP may allocate this PU a time slot already used by an SU. In this case, shown in Figure 3.c, incoming PU overlay the SU's time slot and the SU utilizing this time slot is dropped. If all the time is occupied either by PUs or by SUs, and an SU wants a connection request from the SAP, its connection request (call) is blocked (Figure 3.d).

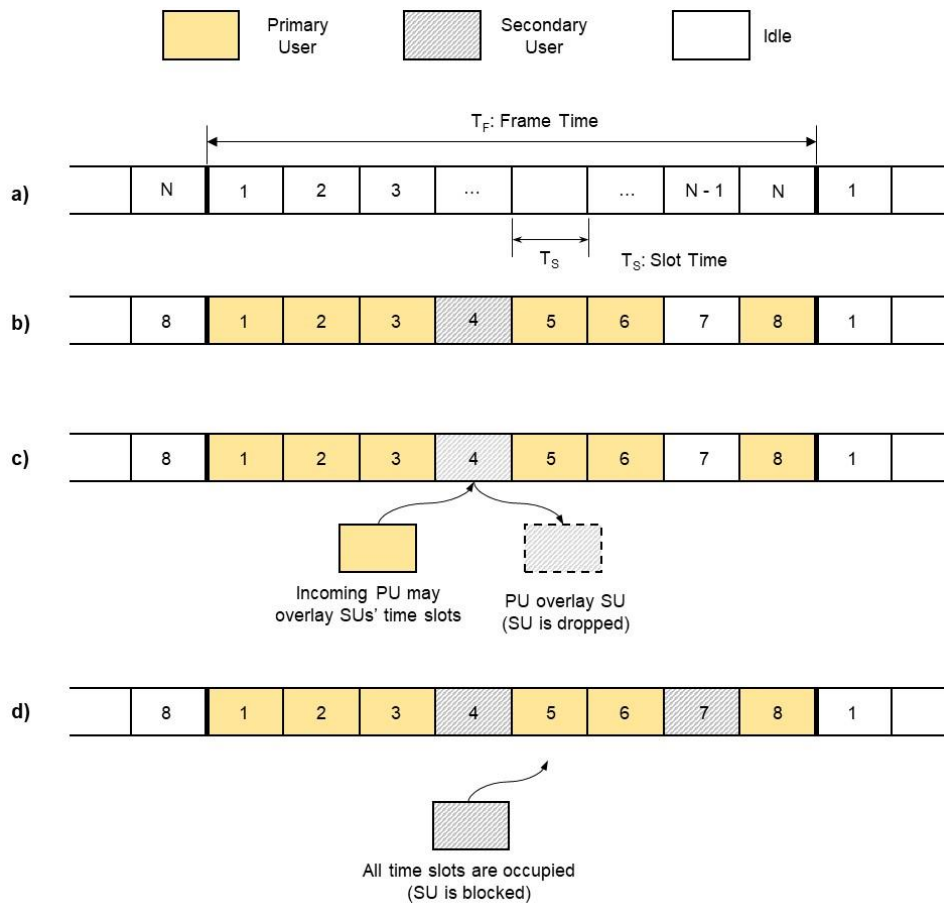


Figure 3. Non-Slot-Handoff strategy with (c) SU call drop and (d) call block cases

### A.1.2. Slot-Handoff Strategy

The frame structure of the proposed slot-handoff model with a total of  $N$  time slots each of which has an equal length is shown in Figure 4.a. In a frame time shown in Figure 4.b, six of the time slots are used by PUs and two of the time slots are idle. When one of the PUs wants a connection request from the PAP, PAP may allocate this PU an idle time slot shown in Figure 4.b or a time slot already utilized by an SU shown in Figure 4.c. If a time slot already utilized by a SU is allocated for the PU requesting connection, SAP may handoff the SU to any idle time slot if there is any available (Figure 4.c). When a PU overlays an SU's time slot, the SAP searches for an idle time slot for the SU to handover, if it cannot find any idle time slot then the SU connection is dropped. This case is shown in Figure 4.d. If all the time slots are occupied either by PUs or by SUs when an SU wants a connection request from the SAP, its call is blocked (Figure 4.e).

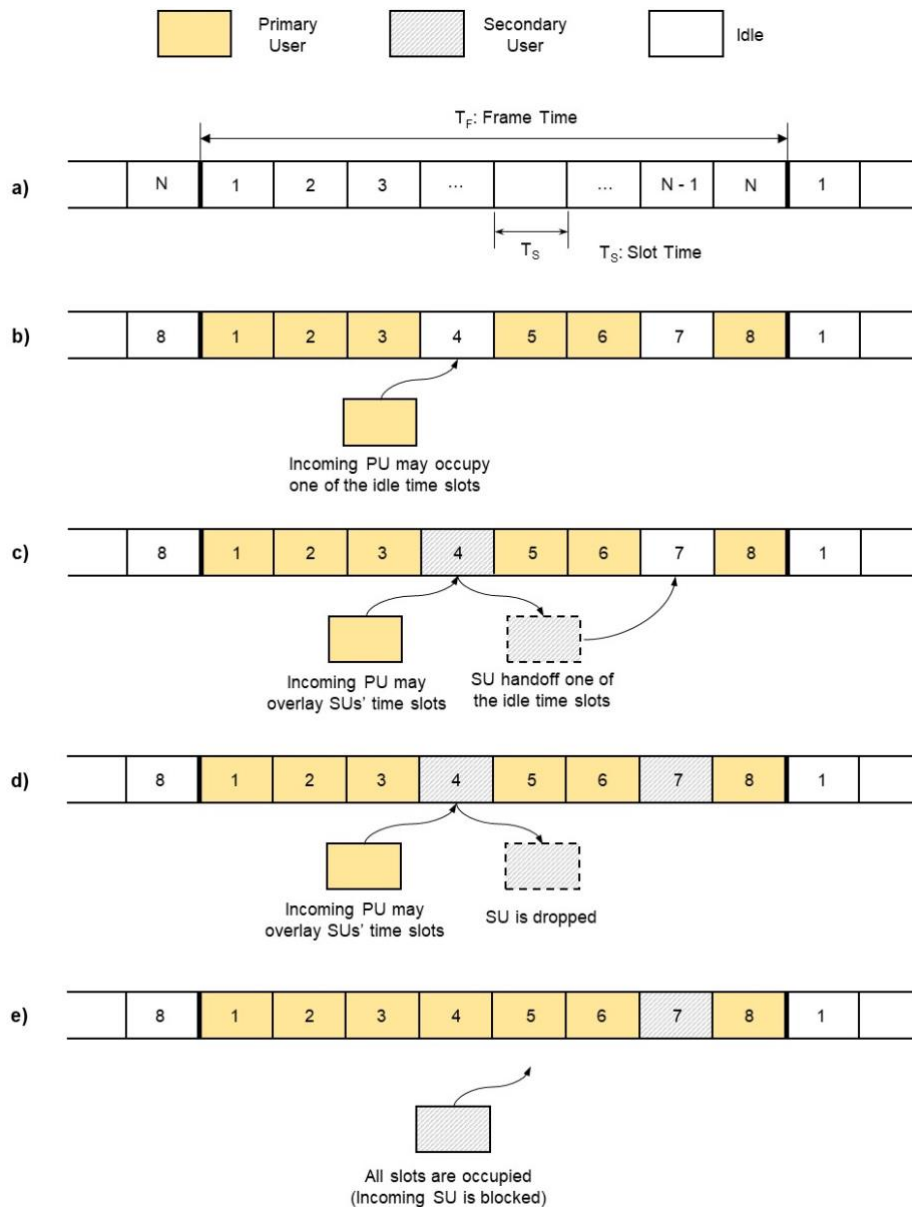


Figure 4. Slot-Handoff strategy with (c) SU handoff, (d) call drop and (e) call block cases

### A.1.3. Slot-Reservation strategy

In the proposed slot-reservation strategy, a few of the time slots ( $N_R$ ) in a frame time are reserved for only PUs' usage (Figure 5.a). Therefore, there are totally at most  $N - N_R$  time slots for SUs' utilization. If a PU requests a time slot from a PAP and there is an idle time slot in the reserved slots, firstly any idle time slot from the reserved slots is allocated for PU (Figure 5.b). If there is not any idle slot in the reserved slot, then PAP searches for an idle time slot in the remaining  $N - N_R$  time slots. When one of the PUs wants a connection request from the PAP, the PAP may allocate this PU an idle time slot or a time slot already utilized by an SU (Figure 5.c). If a time slot already utilized by an SU is allocated for the PU, the SAP may handoff the SU to any idle time slot if there is any available (Figure 5.c). When a PU overlay an SU's time slot, the SAP searches for an idle time slot for the SU to handover, if it cannot find any idle time slot than the SU connection is dropped (Figure 5.d). If all the time slots are occupied either by PUs or by SUs when an SU wants a connection request from the SAP, its call is blocked (Figure 5.e).

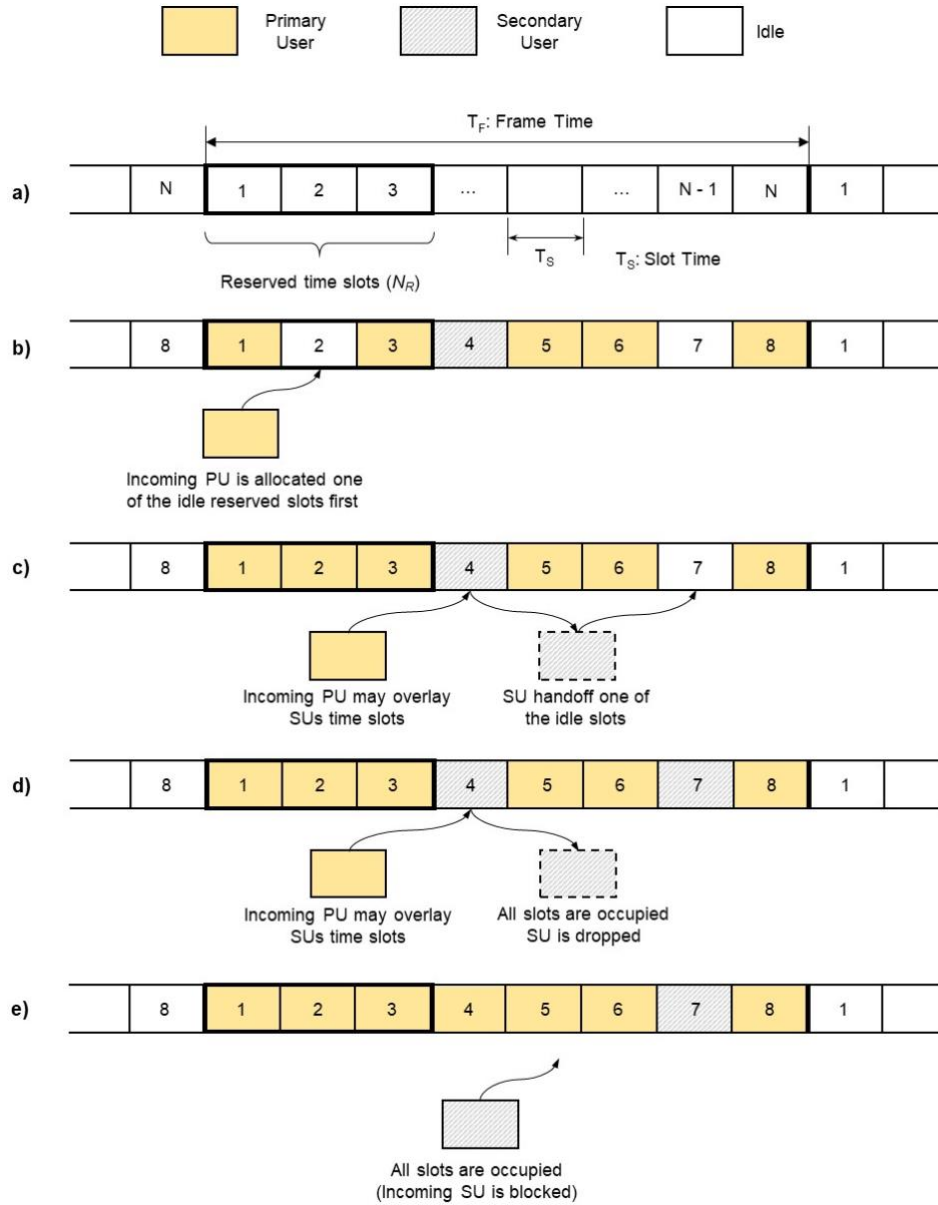


Figure 5. Slot-Reservation strategy with SU (c) handoff, (d) call drop and (e) call block cases

## IV. PERFORMANCE ANALYSIS

The performance of the CRN model in the proposed networking scenario is analyzed in terms of call block, call drop and call handoff probabilities. These probabilities are explained from the point of SUs since the CRN call admission control performances are of the main interest for this presented work. Call block is defined as a situation where an incoming call is unable to be successfully serviced due to the unavailability of time slots. It occurs when all the time slots are already occupied by either PUs or SUs. SU call block probability is calculated as follows:

$$P_{block} = \frac{\text{Total number of SU call block}}{\text{Total number of SU call arrival}} \quad (1)$$



When a PU wants to use a time slot that is already occupied by an SU, the SU is forced to vacate its current time slot and shift to another idle time slot if there is any available. This case is defined as call handoff, and it is computed as follows:

$$P_{handoff} = \frac{\text{Total number of SU call handoff}}{\text{Total number of SU call arrival}} \quad (2)$$

When a PU wants to utilize a time slot and if there is not any available, then it can utilize a time slot already allocated to one of the SUs. In this case, since there is no other idle time slot for the SU, the SU call is dropped. This situation is referred to as call drop. Call drop probability for the SUs is calculated as follows:

$$P_{drop} = \frac{\text{Total number of SU call drop}}{\text{Total number of SU call arrival}} \quad (3)$$

In the proposed model, the call arrivals of PUs and SUs are assumed to be independent and follow a Poisson process with mean rate  $\lambda_p$  and  $\lambda_s$  respectively. In terms of service times, PUs and SUs have exponential service time distribution with mean rate  $1/\mu_p$  and  $1/\mu_s$ , respectively. Other primary and CR network simulation parameters used are given in Table 1.

**Table 2.** Simulation parameters of the proposed CRN model

Frame time (sec)	$T_F = N_p \cdot T_s$
Time slot length (sec)	$T_s = 10 \cdot 10^{-6}$
Number time slot	$N = 3, 5, 8$
PU arrival rate	$\lambda_p$
SU arrival rate	$\lambda_s$
PU service rate	$\mu_p$
SU service rate	$\mu_s$
Number of PUs	$N_p = 10$
Number of SUs	$N_s = 10$

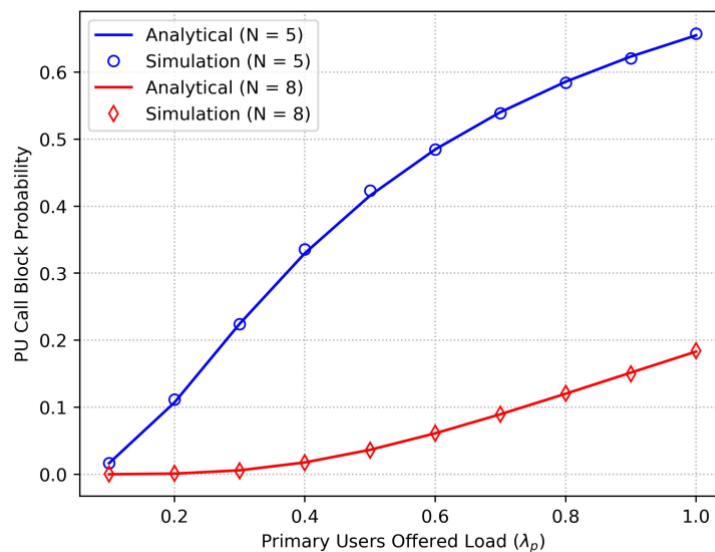
PU call block probability results of the proposed network model are obtained by using Riverbed Modeler simulation software, and they are also confirmed with the analytical results computed by using the standard Engset Loss formula [22] given as follows

$$P_b = \frac{\binom{N_p-1}{N} \left(\frac{\lambda_p}{\mu_p}\right)^N}{\sum_{i=0}^N \binom{N_p-1}{i} \left(\frac{\lambda_p}{\mu_p}\right)^i} \quad (4)$$

where  $N_p$  and  $N$  represent the number of PUs and the number of time slots respectively.

## V. RESULTS AND DISCUSSIONS

PUs call block probabilities for varying PUs' offered loads with two different  $N$  ( $N = 5$  and  $N = 8$ ) values are given in Figure 6 with the parameters  $\lambda_s = 0.4$ ,  $\mu_p = 0.4$ ,  $\mu_s = 0.5$ . As seen from the graphs, when the PUs' arrival rate is increased from 0.1 to 1.0 while other parameters fixed, call block probabilities for PUs are also increase. Call block probabilities for  $N = 8$  are relatively smaller than those of the  $N = 5$  for the same PU's offered loads. The differences between call block probabilities for  $N = 8$  and for  $N = 8$  get widen with the increasing PUs' offered load. When the PUs' offered load is 1.0, call block probability is 0.655 for  $N = 5$  and is 0.183 for  $N = 8$ . Simulation results of the PUs call block probabilities are confirmed by the analytical results obtained by using the standard the Engset Loss model [22].



**Figure 6.** PU's CBP for varying PU's offered loads

SUs call block probabilities for varying PUs' offered loads are given in Figure 7, with the parameters  $N = 5$ ,  $N_r = 2$ ,  $\lambda_p = 0.05$ ,  $\mu_p = 0.4$ ,  $\mu_s = 0.5$ . As seen from the graphs, when the PUs' offered loads are increased from 0 to 1 with fixed SUs' offered loads and service rates, both call block probability for SUs increases and the differences between block probabilities for slot-handoff strategy and non-slot-handoff strategy get larger while increasing the PU's offered loads. Slot-reservation strategy gives the highest SU call block probability. This is due to the fact that in slot-reservation strategy, a certain number of time slots are initially reserved only for PUs, so with the remaining less time slots for SUs, the call block probability for SUs increases.

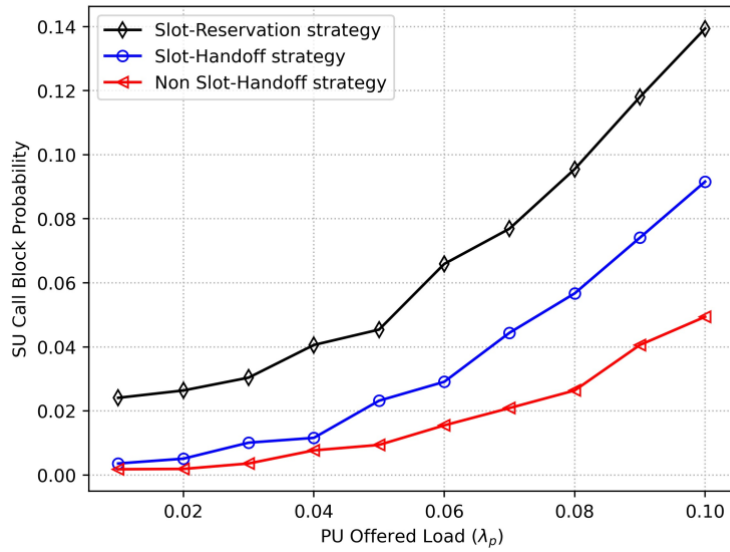


Figure 7. SU's CBP for varying PU's offered loads

SUs call drop probabilities for varying the PUs offered loads are given in Figure 8 with the parameters  $N = 5$ ,  $N_r = 2$ ,  $\lambda_p = 0.05$ ,  $\mu_p = 0.4$ ,  $\mu_s = 0.5$  for all non-slot-handoff, slot-handoff and slot-reservation strategies. As seen from the graphs, when the PUs' offered loads are increased from 0.1 to 1, call drop probability for non-slot-handoff strategy increases very sharply whereas increasing slightly for both slot-handoff and slot-reservation strategies. There is a great call drop probability improvement with the use of the slot-handoff and slot-reservation strategies. It is clear that the lowest SU call drop probability is obtained by utilizing slot-reservation strategy. This is due to the fact that when slot-reservation-based strategy is utilized, the PUs access the reserved channels first, thereby reducing the possibility of SUs being dropped.

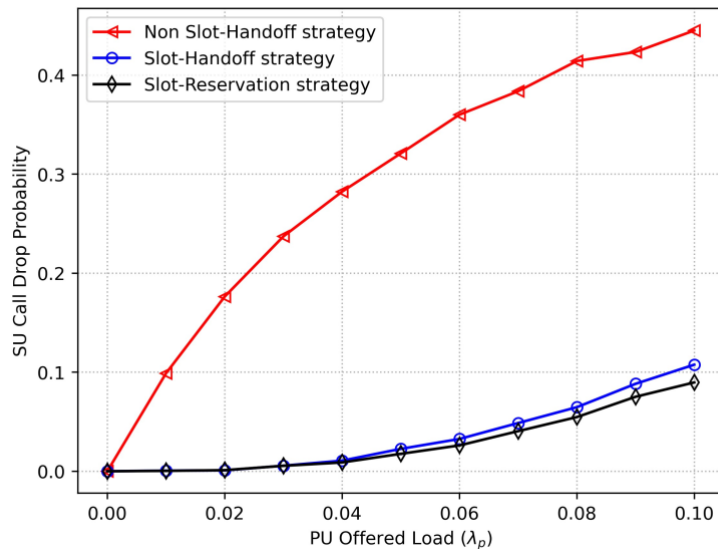
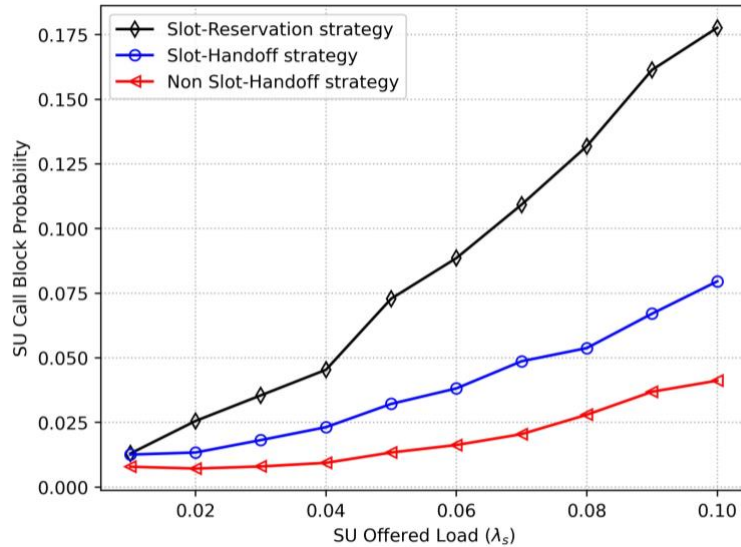


Figure 8. SU's CDP for varying PU's offered loads

SUs call block probabilities for varying the SUs offered loads are given in Figure 9, with the parameters  $N = 5$ ,  $N_r = 2$ ,  $\lambda_p = 0.05$ ,  $\mu_p = 0.4$ ,  $\mu_s = 0.5$  and for different SU slot allocation strategies. As seen from the graphs, when the SUs' offered loads are increased from 0.01 to 0.1, call block probability for the SUs in all strategies also increases. However, the lowest SU call block probability is obtained when

the non-slot-handoff strategy is used. The reason for this is that in slot-reservation strategy a number of time slots are initially reserved just for the PUs, thus with the remaining less time slots, call block probability for the SU increases. In the slot-handoff strategy, while PU overlap the time slot that the SU utilizes, the SU handoff the another vacant time slot, and this increases the total time slot occupation and hence, the SU call block probability.



**Figure 9.** SU's CBP for varying SU's offered loads

SUs' call drop probabilities for varying the SUs' offered loads are given in Figure 10 with the parameters  $N = 5$ ,  $N_r = 2$ ,  $\lambda_p = 0.05$ ,  $\mu_p = 0.4$ ,  $\mu_s = 0.5$  for all non-slot-handoff, slot-handoff and slot-reservation strategies. As seen from the graphs, when the SUs' offered loads are increased from 0.1 to 1, while call drop probability for non-slot-handoff strategy decreases, it increases slightly for both slot-handoff strategy and slot-reservation strategy. There is a great call drop probability improvement with the use of the slot-handoff and slot-reservation strategies. But the lowest SU call drop probability is obtained from slot-reservation strategy. This is due to the fact that when slot-reservation-based strategy is utilized, the PUs access the reserved channels first, thereby reducing the possibility of the SUs being dropped. When the SUs offered load is 0.05, slot-reservation strategy gives 16.82 and 1.75 times better call drop probability results than those of the non-slot-handoff and slot-handoff strategies respectively.

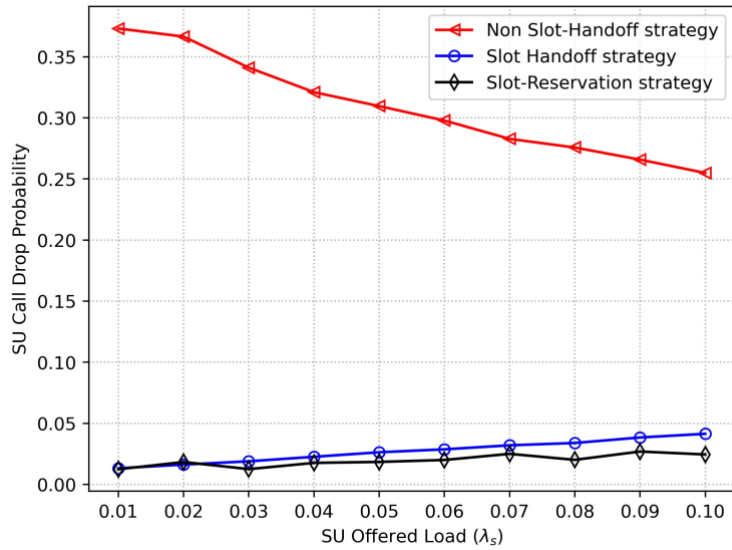


Figure 10. SU's CDP for varying primary and SUs' offered loads.

SUs' slot-handoff probabilities for varying the SUs offered loads are given in Figure 11 with the parameters  $N = 5$ ,  $N_r = 2$ ,  $\lambda_p = 0.05$ ,  $\mu_p = 0.4$ ,  $\mu_s = 0.5$  for both slot-handoff and slot-reservation strategies. As seen from the graphs, slot-reservation strategy greatly reduces the SU slot-handoff probability. The reason for this is that when slot-reservation-based strategy is utilized, the PUs first access the reserved channels, therefore the possibility of the SUs being dropped decreases. When the offered load of the SU is 0.01, the difference between slot-handoff probabilities and slot-reservation strategies is 0.411 with its maximum value.

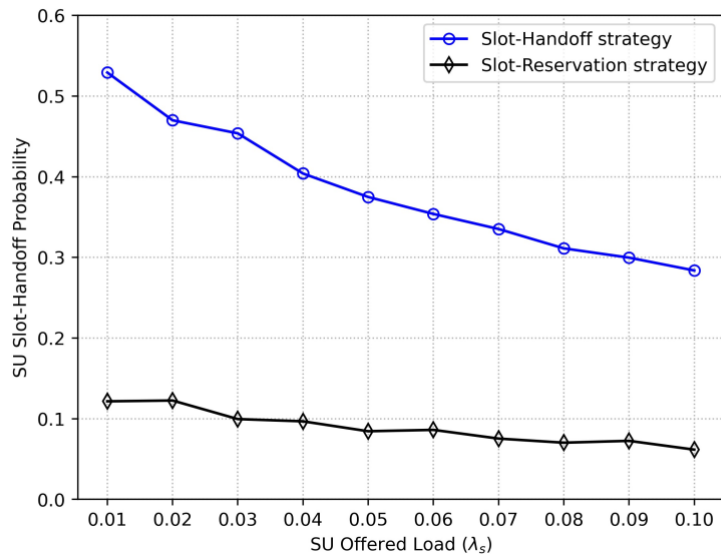


Figure 11. SU slot handoff probability for varying SUs' offered loads.

## **VI. RESULTS AND DISCUSSIONS**

In this paper, a TDMA-based CR network is developed, modeled, simulated, and analyzed by using Riverbed Modeler discrete event simulation software. In the proposed network model, the PUs are

considered licensed users and have a higher priority in access to the channel than the SUs and thereby are unaffected by the SUs' channel utilization at all. The PUs utilize TDMA as a channel access mechanism and the SUs use the time slots unoccupied by the PUs. Three slot allocation strategies for CRs: non-slot-handoff strategy, slot-handoff strategy, and slot-reservation strategy are developed, modeled, and simulated in this presented work, and their channel access performances in terms of call block, call drop, and call handoff probabilities are analyzed. According to the extensive simulation results, the non-slot-handoff strategy gives the lowest call block probability while the slot-reservation strategy provides the lowest call drop probability. Therefore, in scenarios where low call block probability is desired, non-slot-handoff strategy can be employed, whereas in scenarios where low drop probability is desired, slot-handoff or slot reservation strategy can be adopted. When the SU's offered load is 0.05, the slot-reservation strategy offers 1.75 times better call drop probability results than those of the slot-handoff strategy. However, for the same offered load, the non-slot-handoff strategy gives 2.26 times better call block probability results than those of the slot-reservation strategy. In a future study, it is planned to prioritize the second users according to the data traffic types they use to make channel allocation according to priorities and thus improve the call block and call drop probabilities.

### **Declarations**

### **Conflict of interest**

The authors declare that there is no actual or potential conflict of interest in relation to this article.

### **Data availability**

The authors do not have permission to share data.

## **VII. REFERENCES**

- [1]. Mitola J., et al., "Cognitive radio: making software radios more personal", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, 1999.
- [2]. Haykin S, "Cognitive radio: brain–empowered wireless communications", IEEE J. Selected Areas Communication, 23 (2), pp. 201–220, 2005.
- [3]. Peha J. M., "Approaches to spectrum sharing", IEEE Communications Magazine, Regulatory and Policy Issues, pp. 10–12, 2005.
- [4]. Zareei M, Islam AKMM, Baharun S, Vargas-Rosales C, Azpilicueta L, Mansoor N. "Medium Access Control Protocols for Cognitive Radio Ad Hoc Networks: A Survey", Sensors (Basel), 2017 Sep 16;17(9):2136. doi: 10.3390/s17092136.
- [5]. Sridhara K., Chandra A., Tripathi P.S.M, "Spectrum Challenges and Solutions by Cognitive Radio: An Overview," Wireless Personal Communications, vol. 45, pp. 281-291, 2008.
- [6]. Zhonggui M., Hongbo W., "Dynamic Spectrum Allocation with Maximum Efficiency and Fairness in Interactive Cognitive Radio Networks", Wireless Personal Communications, vol. 64, pp. 439-455, 2012.
- [7]. Zhao Q., and Sadler B., "A survey of dynamic spectrum access," IEEE Signal Process. Mag., vol. 24, no. 3, pp. 79–89, 2007.

- [8]. Al Attal, A., Hussin, S. & Fouad, M. Performance Analysis of Different Channel Allocation Schemes of Random Access (RA) MAC Protocol with Back-Off Algorithm (BOA). *Wireless Personal Communications*, 112, 1981–1993, 2020.
- [9]. Verdone R., Dardari D., Mazzini G., Conti A., “Wireless Sensor And Actuator Networks; Technologies Analysis And Design”, Elsevier, London, 2008.
- [10]. T. -C. Chen, T. -S. Chen and P. -W. Wu, "On Data Collection Using Mobile Robot in Wireless Sensor Networks," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 41, no. 6, pp. 1213-1224, Nov. 2011, doi: 10.1109/TSMCA.2011.2157132.
- [11]. Akyildiz I., Lee W-Y. and Chowdhury K.R., *CRAHNs: Cognitive Radio Ad Hoc Networks, Ad Hoc Networks*, Elsevier, doi: 10.1016/j.adhoc.2009.01.001, 2009
- [12]. P. K. Tang, Y. H. Chew, L. C. Ong and M. K. Haldar, "Performance of Secondary Radios in Spectrum Sharing with Prioritized Primary Access," *MILCOM 2006 - 2006 IEEE Military Communications Conference*, Washington, DC, USA, 2006, pp. 1-7, doi: 10.1109/MILCOM.2006.302214.
- [13]. Y. Kondareddy, N. Andrews and P. Agrawal, "On the capacity of secondary users in a cognitive radio network", *Proc. IEEE SARNOFF Symp.*, pp. 1-5, 2009.
- [14]. Hassani, Mohammad Mehdi and Berangi, Reza, “Impact of the primary user on the secondary user blocking probability in cognitive radio sensor networks,” *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*: Vol. 27: No. 3, 2019.
- [15]. Osama Salameh, Herwig Bruneel, Sabine Wittevrongel, “Performance Evaluation of Cognitive Radio Networks with Imperfect Spectrum Sensing and Bursty Primary User Traffic”, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2020, Article ID 4102046, 11 pages, 2020.
- [16]. Salameh, O., De Turck, K., Bruneel, H. et al. "Analysis of secondary user performance in cognitive radio networks with reactive spectrum handoff", *Telecommunication Systems*, 65, pp. 539–550, 2017.
- [17]. Chu TMC, Phan H, Zepernick HJ, “Dynamic spectrum access for cognitive radio networks with prioritized traffics”. *IEEE Communications Letters* 18(7): pp. 1218–1221, 2014.
- [18]. Park, JH., Chung, JM. “Prioritized channel allocation-based dynamic spectrum access in cognitive radio sensor networks without spectrum handoff.”, *Journal on Wireless Communications and Networking*, 266, 2016.
- [19]. Jee, A., Hoque, S. & Arif, W., “Performance analysis of secondary users under heterogeneous licensed spectrum environment in cognitive radio ad hoc networks”, *Annals of Telecommunications*, 75, 407–419, 2020.
- [20]. Sedat Atmaca, Alper Karahan, Celal Ceken, Ismail Erturk, “A New MAC Protocol for Broadband Wireless Communications and Its Performance Evaluation”, *Telecommunication Systems*, 57(1), 13-23, 2014.
- [21]. A. Karahan, I. Erturk, S. Atmaca, S. Cakici, “Effects of Transmit-based and Receive-based Slot Allocation Strategies on Energy Efficiency in WSN MACs”, *Ad Hoc Networks*, 13 (Part B), 404-413, 2014.

- [22]. Tijms, H. C. A First Course in Stochastic Models. Wiley, 2003.
- [23]. El Azaly, N.M., Badran, E.F., “Performance Enhancement of Dynamic Spectrum Access via Channel Reservation for Cognitive Radio Networks”, *Wireless Personal Communications*, vol.118, pp.2867–2883, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08159-y>.
- [24]. A. U. Khan, G. Abbas, Z. H. Abbas, W. U. Khan, and M. Waqas, “Spectrum utilization efficiency in CRNs with hybrid spectrum access and channel reservation: A comprehensive analysis under prioritized traffic,” *Future Generation Computer Systems*, vol.125, pp.726–742, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.07.024>.
- [25]. Kumar, P.T.V., Naidu, K.V., Reddy, P.V. et al. “Performance Analysis of Pool-Based Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks”, *Wireless Personal Communications*, vol.131, pp.489–506, 2023, <https://doi.org/10.1007/s11277-023-10441-0>.





# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Active Vibration Control of the Landing Gear System

Ufuk Demircioğlu<sup>a\*</sup>, Sefa Burhan Eker<sup>b</sup>, Ali Suat Yıldız<sup>c</sup>

<sup>a\*</sup> Sivas University of Science and Technology, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering Department, Sivas, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Sivas University of Science and Technology, Faculty of Aviation and Space Sciences, Aircraft Engineering Department, Sivas, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Sivas University of Science and Technology, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering Department, Sivas, TÜRKİYE

\* Corresponding author's e-mail address: udemircioglu@sivas.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1177711

### ABSTRACT

Vibrations caused by the dynamic interaction of the aircraft with the ground during landing and take-off can cause serious problems. Therefore, these vibrations should be reduced by means of active or passive methods. In this study, the active vibration control of an aircraft is investigated. The equation of motion of the aircraft is obtained by Newton's second law and simulated in MATLAB/Simulink environment. Proportional, integral derivative (PID) and Linear–quadratic regulator (LQR) control approaches are used for the active system. In the study, vertical acceleration of the vehicle body, pitching motion and control output of the controller were determined as performance criteria because of the negative effect on the pilot's capability. The simulation studies were conducted under the road profile defined in ISO 8608 and bump obstacles on the runway. LQR control performance is presented in comparison with the performance of PID control and a passive system. Based on the findings, under the bump road, 36.4% and 26.7% improvements are achieved in the vertical acceleration of the vehicle body in the case of LQR and PID controller, respectively. Similarly, under the A-grade road profile, it has been observed that the LQR control provides a 27% improvement in vertical acceleration by using 60% less force when compared to passive systems.

**Keywords:** Landing gear, Active control, Vibration control.

## İniş Takımı Sisteminin Aktif Titreşim Kontrolü

### ÖZET

Uçağın iniş ve kalkış sırasındaki yerle dinamik etkileşimi nedeniyle oluşan titreşimler ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, oluşan bu titreşimler aktif yada pasif yöntemler ile azaltılmalıdır. Bu çalışmada bir uçağın aktif titreşim kontrolü incelenmiştir. Uçağın hareket denklemi Newton'un ikinci yasası ile elde edilmiş ve MATLAB/Simulink ortamında simüle edilmiştir. Aktif sistem için oransal, integral türev (PID) ve doğrusal ikinci dereceden regülatör (LQR) kontrol yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışmada, pilotun kabiliyet performansı üzerinde zararlı etkileri olduğu için gövdenin dikey ivmelenmesi, baş vurma hareketi ve kontrol kuvvet çıkışları performans kriteri olarak belirlenmiştir. Simülasyon çalışmaları, ISO 8608'e göre oluşturulan yol profili ve tümsek engel altında çalıştırılmıştır.

LQR kontrol performansı, PID kontrol ve pasif bir sistemin performansı ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sonuçlardan, tümsek yol uyarımı altında, LQR ve PID kontrolörlerinin gövde düşey ivme değerinde sırasıyla %36.4 ve %26.7 iyileştirme elde edilmiştir. Benzer şekilde A sınıfı yol profili altında, pasif sistemlere kıyasla LQR kontrolcünün %60 oranında daha az kuvvet kullanarak düşey ivme değerinde %27 iyileşme sağladığı görülmüştür.

*Anahtar Kelimeler: İniş takımı, Aktif kontrol, Titreşim kontrolü*

## **I. INTRODUCTION**

The purpose of the landing gear (LG) is to assist the aircraft during landing, taking off, and taxiing. During these motions, the fuselage of the aircraft is under continuous dynamic load that comes from tire-road interactions. The dynamic load vibrates the whole body. This vibration gives rise to undesirable noise and has a negative effect on passenger comfort and ride dynamics. Furthermore, vibration reduces the vehicle's maneuverability and subsequently may cause undesirable effects on braking distance. Last but not least vibration due to runway-tire interaction is recognized as a significant factor in causing fatigue damage to the landing gear frame [1]. Therefore, LG should be designed so that it can absorb and dissipate the induced vibration. Early aircraft had passive suspension systems in their landing gear systems. However, passive suspension systems cannot perform well under different road conditions. They can perform well only under conditions for which their parameters are tuned. Further, the parameters of the suspension system change as the LG is used. So, LG cannot perform well even in the condition it is designed to work after some usage of LG.

Active vibration control has been used to control the vibration of road vehicles, buildings, bridges, and so on. Active vibration control has been very popular in vibration control of LG design thanks to the availability of microelectronics used microcomputers and in controllers. After NASA developed the active landing gear system to overcome the limitation of the passive suspension system in 1976 many researchers applied active vibration control to LG [2]. For example, S. Sivaprakasam investigated the active control of aircraft to reduce bounce, pitch, roll accelerations, displacement, and shock strut travel when moving on random runways using a PID controller [3]. S. Sivaprakasam and A. P. Haran studied the active vibration control of LG. System variables are parameterized and active vibration control is applied using a PID controller [4]. More studies related to the active control of LG can be found in [5,6,7,8]. However, the fact that active-controlled LG performs better than passive suspension, and active vibration control systems gives rise to another problem. For example, the addition of a sensor and actuator to the active control system increases the weight. Also, failure of the sensor may cause a fatal accident. Lastly, the cost of an active control system along with maintenance costs may increase the total cost of aircraft. Recently, a magnetorheological fluid (MR) damper has been fitted to LG. The working principles of MR are similar to passive suspension systems. In MR damper damping is arranged according to requirements by external means. When a magnetic field is applied, MR fluid solidifies and resists the fluid flow in an orifice. By this means controllable damping force can be obtained. MR damper can work as a passive damper even if the sensor fails. Therefore, it is called a fail-safe controller. To get benefit from the advantages of MR damper researchers investigated the control performance of MR damper LG. For example, D. Y. Lee, Y. J. Nam, R. Yamane, and M. K. Park investigated the applicability of the MR damper to aircraft landing gear with a simplified skyhook controller. It is concluded in the study that the simplified skyhook controller can be used to dampen the vibration of the MR damper [9]. W. Liu, W. Shi, and H. Ya created a mathematical model based on the Bouc-Wen hysteresis model to predict the force-displacement behavior and complex, nonlinear force-velocity response of MR dampers. Compared to passive control, it has been found that the MR damper based on semi-active control can suppress the displacement and acceleration response of the landing gear system [10]. D. Saxena and H. Rathore compared the response of landing gear with MR damper by using PID and Fuzzy-PID controllers together with MR damper to reduce vibrations of an airplane during the landing phase [11]. B. Sateesh and D. K. Maiti conducted an open-loop response analysis at the piston end of the nose landing gear of an aircraft for different loading conditions. It has been observed that excessive vibration is caused by unbalanced loading and this vibration can be reduced with an MR

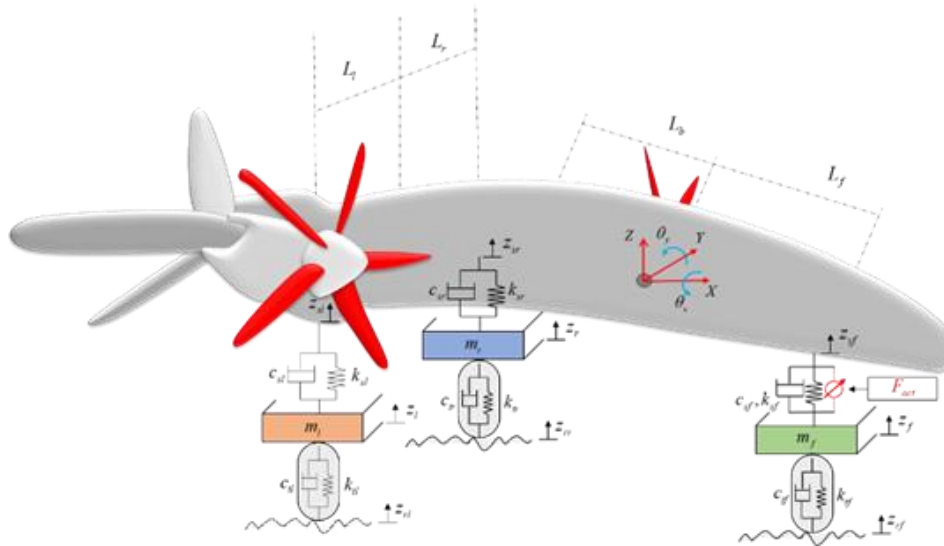
damper [12]. Several other studies have explored the development of landing gear prototypes and conducted physical tests to assess landing motion. For instance, in [13], researchers utilized a prototype MR damper-equipped landing gear along with a drop test setup to enhance the impact energy absorption during aircraft landings. The implementation of Skyhook and Hybrid control on the MR damper equipped landing gear demonstrated significantly improved impact damping performance during landing conditions. Additionally, [14] examined an intelligent controller based on supervised neural network control to minimize the impact during aircraft landings. The results obtained from drop tests using the MR-equipped landing gear indicated that the proposed controller outperformed the hybrid controller, even without requiring information about the aircraft mass or force inputs.

Motivated by these observations, in this study, the performance and effectiveness of different controllers fitted to LG are investigated under B grade and bump road excitation. Although numerous researchers have discussed the design and simulation of active suspension systems for LG systems, the performance of controllers has not been sufficiently highlighted. The study focuses on the design and simulation of active systems. The passive and active system of aircraft is modeled and simulated using MATLAB/Simulink. The performance of controllers is evaluated in terms of the vertical displacement and vertical acceleration of the fuselage.

## II. MATERIAL AND METHOD

### A. MATHEMATICAL MODELING OF ACTIVE LANDING GEAR SYSTEM

The aircraft landing gear system used in the study is illustrated in Figure 1. The system has 6 degrees of freedom. These degrees of freedom are the bounce, pitch, and roll motions of the fuselage and the displacements of the front and rear landing gears. The equation of motion is obtained by using Newton's second law.



**Figure 1.** Physical model of aircraft used in the study.

The dynamics of the system are obtained mathematically as follows:

Suspension working space (rattle space):

$$\begin{aligned}
 z_{sf} &= (z + \theta_y L_f - \theta_x h - z_f) \\
 z_{sl} &= (z + \theta_y L_b - \theta_x L_l - z_l) \\
 z_{sr} &= (z - \theta_y L_b + \theta_x L_r - z_r)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Equation of vertical motion, pitch motion, and roll motion of the fuselage is given in equations 2-4 respectively. Equation 5 to 7 are the equations of front wheel motion, rear left wheel motion, and rear right wheel motion respectively.  $h$  is the eccentricity of the center of gravity in -y axis.

$$M_b \ddot{z}_b = -k_{sf} z_{sf} - k_{sl} z_{sl} - k_{sr} z_{sr} - c_{sf} \dot{z}_{sf} - c_{sl} \dot{z}_{sl} - c_{sr} \dot{z}_{sr} - f_{act} \quad (2)$$

$$I_y \ddot{\theta}_y = -L_f k_{sf} z_{sf} + L_b k_{sl} z_{sl} + L_b k_{sr} z_{sr} - L_f c_{sf} \dot{z}_{sf} + L_b c_{sl} \dot{z}_{sl} + L_b c_{sr} \dot{z}_{sr} - L_f f_{act} \quad (3)$$

$$I_x \ddot{\theta}_x = h k_{sf} z_{sf} + L_l k_{sl} z_{sl} - L_r k_{sr} z_{sr} + h c_{sf} \dot{z}_{sf} + L_l c_{sl} \dot{z}_{sl} - L_r c_{sr} \dot{z}_{sr} + h f_{act} \quad (4)$$

$$h = L_l - L_r$$

$$m_f \ddot{z}_f = k_{sf} z_{sf} + c_{sf} \dot{z}_{sf} - k_{tf} (z_f - z_{rf}) - c_{tf} (\dot{z}_f - \dot{z}_{rf}) + f_{act} \quad (5)$$

$$m_l \ddot{z}_l = k_{sl} z_{sl} + c_{sl} \dot{z}_{sl} - k_{tl} (z_l - z_{rl}) - c_{tl} (\dot{z}_l - \dot{z}_{rl}) \quad (6)$$

$$m_r \ddot{z}_r = k_{sr} z_{sr} + c_{sr} \dot{z}_{sr} - k_{tr} (z_r - z_{rr}) - c_{tr} (\dot{z}_r - \dot{z}_{rr}) \quad (7)$$

Accordingly, the dynamic equation of the total system that includes the mass, spring, and damper can be arranged as follows.

$$M \ddot{x}_s = C \dot{x}_s + K x_s + H f_{act} + E_1 d + E_2 \dot{d} \quad (8)$$

$$x_s = [z \quad \theta_x \quad \theta_y \quad z_f \quad z_l \quad z_r]^T \quad (9)$$

In equation (8),  $M$ ,  $C$ , and  $K$  represent mass, damping, and stiffness matrices, respectively.  $H$  represents the force vector that gives the location of the controller.  $E_1$  and  $E_2$  represent the force vector that stands for the road input to the dynamic model.  $f_{act}$  is the control force of the actuator. The runway disturbances are referred by  $d$  and finally,  $\dot{d}$  is the velocity input due to the runway profile as given in equation (10) - (11).

$$d = [z_{rf} \quad z_{rl} \quad z_{rr}]^T \quad (10)$$

$$\dot{d} = [\dot{z}_{rf} \quad \dot{z}_{rl} \quad \dot{z}_{rr}]^T \quad (11)$$

Then the system can be written in state space format as

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \ddot{x}_s \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0_{6 \times 6} & I_{6 \times 6} \\ M^{-1}K & M^{-1}C \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} x_s \\ \dot{x}_s \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0_{6 \times 1} & 0_{6 \times 3} & 0_{6 \times 3} \\ M^{-1}H & M^{-1}E_1 & M^{-1}E_2 \end{bmatrix}}_B \begin{bmatrix} f_{act} \\ d \\ \dot{d} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

## B. LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)

LQR is one of the most common linear controllers among the model-based optimal control methods. In the LQR control, the control input is calculated in a way that minimizes a quadratic performance index formed by the system's state variables and control inputs. This structure is given in Figure 2. The state-feedback control signal that minimizes the cost function can be written as given in equation (13), here,  $P$  can be obtained by solving algebraic Riccati equations.

$$K = R^{-1}(B^T P + N^T) \quad (13)$$

The LQR control aims to find a transfer matrix  $K(s)$  that will minimize the cost function given in equation (14).

$$J_{LQR} = \int_0^\infty \rho_1 \|(\ddot{z})(t)\|^2 + \rho_2 \|z_{sf}(t)\|^2 + \rho_3 \|(\theta_y(t))\|^2 + \rho_4 \|F_{MR}(t)\|^2 dt \quad (14)$$

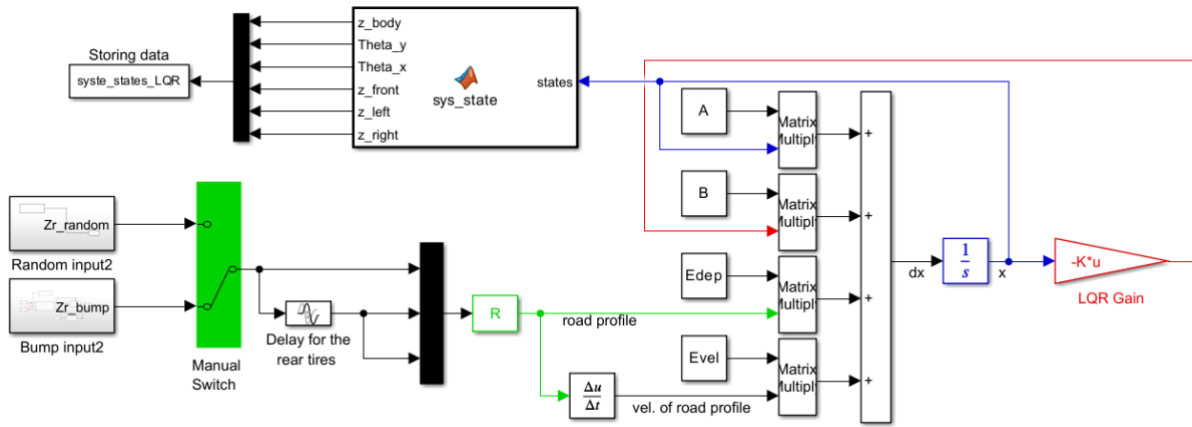


Figure 2. LQR state variable feedback structure

The weighting coefficients  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  and  $\rho_4$  provide the trade-off between the terms of the cost function. In MATLAB, the continuous time cost function is computed in the form of equation (15)

$$J_{LQR} = \int_0^{\infty} \{x(t)'Qx(t) + u(t)'Ru(t) + 2x(t)'N(t)u(t)\} dt \quad (15)$$

By utilizing a generated code in MATLAB, Q, N and R matrices were obtained automatically. The trial-error method was used in the specifying the weighting coefficients, the actuator capacity was considered for the  $\rho_4$ . The selected parameters are  $\rho_{i=1:4} = [2 \quad 0.05 \quad 5 \times 10^5 \quad 5 \times 10^{-7}]$ . The resulting control gain is calculated as:

$$K = 10^5 \times [-0.0668 \quad -0.9751 \quad 0 \quad -0.1482 \quad -0.2055 \quad -0.2055 \quad -0.0266 \quad -1.2252 \quad 0 \quad -0.0042 \quad -0.0041 \quad -0.0041] \quad (16)$$

### C. PID CONTROLLER

The PID control is frequently encountered in feedback control design especially in industrial applications because of its simplicity and effectiveness. The control system of a PID is shown in Figure 3 schematically. The desired performance of the PID is obtained by tuning of control parameters which are the proportional ( $K_p$ ), the integral ( $K_i$ ), and the derivative ( $K_d$ ) of the system error. PID controller can be expressed mathematically in equation (18). Here,  $f_{act}$  is the actuator force. The parameters are set by trial and error methods until the desired output is obtained. In this study,  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  are set to 66000, 2000 and 500 respectively.

$$e(s) = r_i(s) - y(s) \quad (17)$$

Here,  $y(s)$  is the deflection of the front suspension and the  $r_i(s)$  is set to zero. The resulting control force can be calculated by equation (18).

$$f_{act} = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (18)$$

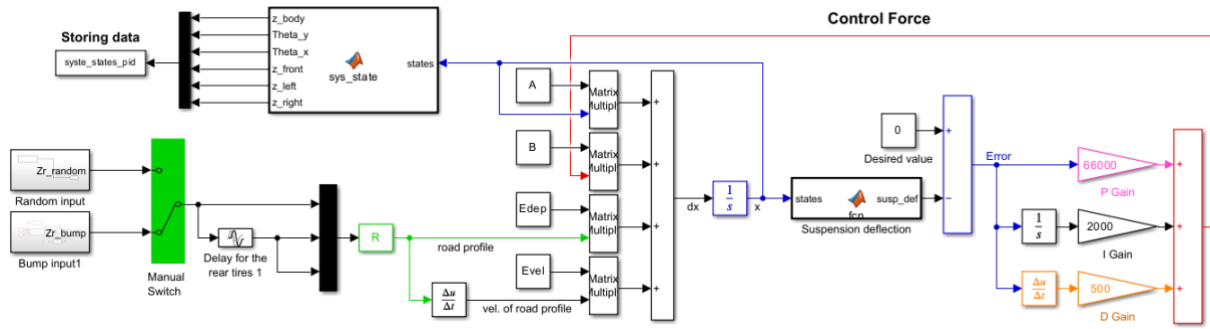


Figure 3. PID feedback structure

## D. NUMERICAL SIMULATION STUDY

In the simulation study, the landing gear LG that has no control (passive), LQR control, and PID control cases are modeled and simulated in the MATLAB environment. The parameters of aircraft used in this study are taken from [15] and given in Table 1. As shown in equation (19), the road roughness in this study is modeled as the sum of sinusoidal waves with variable amplitudes and frequencies. The velocity of the vehicle is constant and set to speed of 25 m/s.

$$z_r(x) = \sum_{i=0}^N \sqrt{2 \cdot G_{d0} \cdot (\Omega/\Omega_0)^{-w}} \cdot \Delta n \cos(2\pi \cdot \Omega \cdot x + \psi_r) \quad (19)$$

Here  $G_{d0}$  is the unevenness index that is selected as  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/cycles that correspond to the A-grade road class defined in ISO 8608 [16]. Also,  $\Omega$  is the spatial frequency,  $\Omega_0$  is reference spatial which is equal to 0.1 cycles/m, random phase angle is defined by  $\psi_r$ . The designed runway for a distance of 500 meters is given in Figure 4. After the random road, a bump input formed by equation (20) and in height of 20 mm is adopted to investigate the transient response of the system and evaluate the control performance under different road inputs.

$$z_r(t) = \begin{cases} 0.02(1 + \cos 8\pi t)/2 & 0.875 \leq t \leq 1.125 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

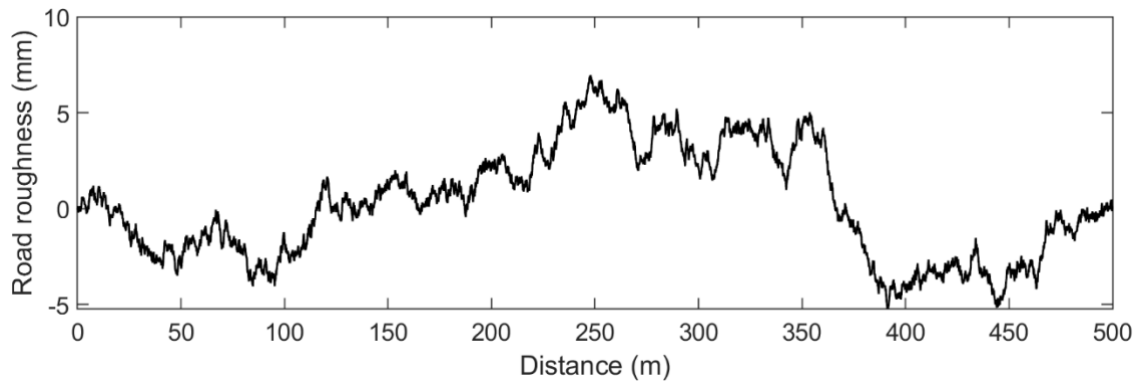


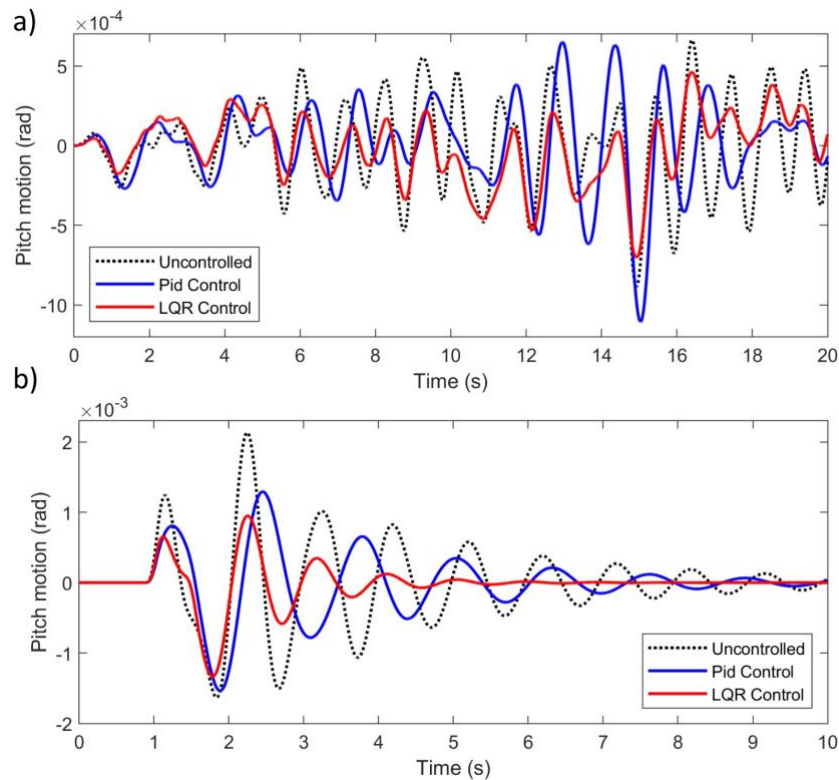
Figure 4. Designed A-grade runway roughness

**Table 1.** Parameters used in the study [13]

Parameters	Value	Units	Parameters	Value	Units
$M_s$	3345	[kg]	$k_{sl}$	102095	[N/m]
$m_f$	100	[kg]	$k_{sr}$	102095	[N/m]
$m_l$	150	[kg]	$k_{tf}$	1590000	[N/m]
$m_r$	150	[kg]	$k_{tl}$	1590000	[N/m]
$I_x$	200879	[kgm <sup>2</sup> ]	$k_{tr}$	1590000	[N/m]
$I_y$	56465.3	[kgm <sup>2</sup> ]	$c_{sf}$	1.9822e4	[Ns/m]
$L_f$	11.6	[m]	$c_{sl}$	1.9822e4	[Ns/m]
$L_b$	1.2	[m]	$c_{sr}$	1.9822e4	[Ns/m]
$L_l$	5.2	[m]	$c_{tf}$	1500	[Ns/m]
$L_r$	5.2	[m]	$c_{tl}$	1500	[Ns/m]
$k_{sf}$	102095	[N/m]	$c_{tr}$	1500	[Ns/m]

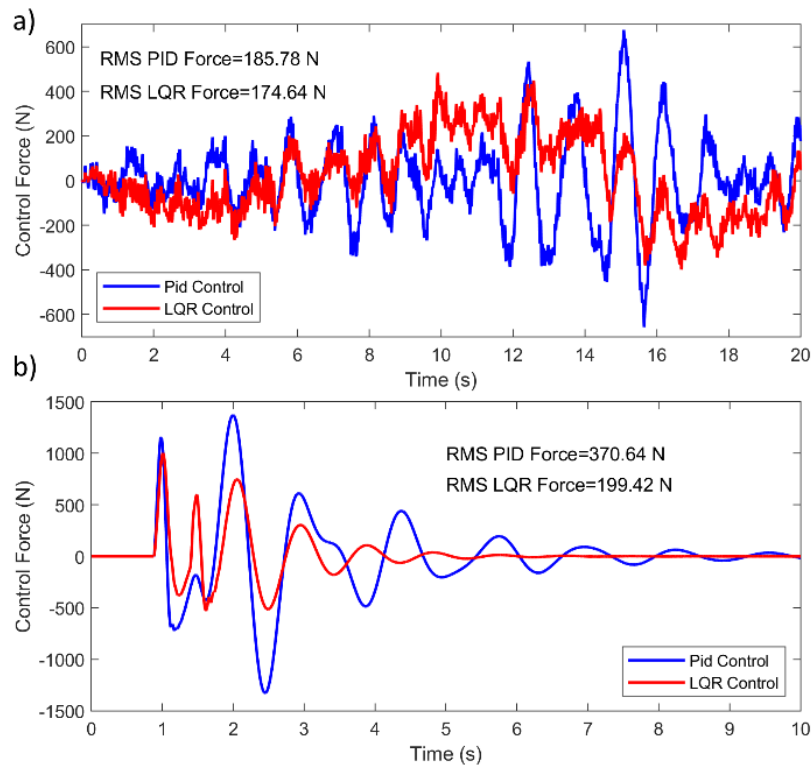
## II. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the dynamic model of aircraft explained in the previous section is simulated by using MATLAB/Simulink. The efficiency of the LQR controller algorithm is compared to PID control with regard to focused performance criteria which are vehicle body acceleration, body pitch motion (the rotation of an aircraft around its lateral axis) and the force output of front suspension. Figure 5 illustrates the comparison of passive suspension and active suspension systems considering the body pitching motion. As shown in Figure 5, the LQR control provides a better result in terms of overshoot on the random road and bump stages, also, the oscillations after the sudden input are absorbed faster than the PID control.



**Figure 5.** Pitch motion of the body, a) on the irregular runway, b) bump on the runway.

Another criterion for the performance evaluation, the force response of the designed controller should be considered. In addition, the peak value of the force is an indicator of the capacity of the actuator and the RMS (root-mean-square) value of the control force can be thought of as the average value of consumed energy. Figure 6 shows that the PTP (peak-to-peak) values of the controller both in the random and bump runway cases were decreased by 33.7% and 43.3% respectively. LQR control performs better than PID control besides it requires less energy than PID control.



**Figure 6.** Controller effort.

Besides RMS values of the vertical acceleration of the body and the control forces, the PTP values of the focused performance criteria in the case of the random and the bump runway road profiles are summarized in Table 2. In the case of a bump on the runway, the RMS value of the passive system is 0.2985, and this value is reduced to 0.2186 and 0.1898 for PID and LQR control, respectively. Also, both PID and LQR controllers provide 22.7% reduction in vertical acceleration when compared to uncontrolled (passive) case. These results show that the LQR controller provides better control performance in terms of all the selected criteria by consuming less energy.

**Table 2.** Comparison of simulation results.

	A Grade runway			Bump on runway		
	Uncontrolled	PID	LQR	Uncontrolled	PID	LQR
RMS $\ddot{z}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.1072	0.0828	0.0774	0.2985	0.2186	0.1898
Improvement %		22.7	27.7	-	26.77	36.42
RMS Force (N)		185.78	174.64	-	370.64	199.42
Improvement %		-	60	-	-	46.2
PTP $\ddot{z}$	0.6913	0.5575	0.4593	2.9416	2.2230	1.9447
PTP $\theta_y$	0.0015	0.0018	0.0012	0.0038	0.0028	0.0023
PTP Force	-	1332.3	883.5	-	2697.9	1530.1



### **III. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

In this study, active vibration control of the aircraft landing gear mechanism is presented by using PID and LQR control. The study is performed under A grade road and bump road when the aircraft is taxiing at a velocity of 25 m/s. The numerical simulations are utilized to demonstrate the feasibility of the proposed LQR control under various road conditions. LQR control requires up to 60% less force to achieve better performance in regard to considered indices when compared to the PID control. Also, peak to peak value of the vertical acceleration is decreased by 33.56% and 19.35% in the case of LQR and PID control, respectively. In physical application, LQR control needs all the system states but PID control can be implemented by only using suspension deflection. In physical application, PID control can be implemented by only measuring the suspension deflection but LQR control needs measurement of all system states. This condition increases the cost of the control implementation.

### **V. REFERENCES**

- [1] C. Han, B. H. Kang, S. B. Choi, J. M. Tak, and J. H. Hwang, "Control of landing efficiency of an aircraft landing gear system with magnetorheological dampers," *J. Aircr.*, vol. 56, no. 5, pp. 1980–1986, 2019, doi: 10.2514/1.C035298.
- [2] B. H. Kang, J. Y. Yoon, G. W. Kim, and S. B. Choi, "Landing efficiency control of a six-degree-of-freedom aircraft model with magnetorheological dampers: Part 1—Modeling," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 32, no. 12, pp. 1323–1335, 2021, doi: 10.1177/1045389X20942578.
- [3] S. Sivaprakasam, "Aircraft Random Vibration Analysis using Active Landing Gears," *J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control*, vol. 34, no. December, 2015.
- [4] S. Sivaprakasam and A. P. Haran, "Parametric Analysis and Vibration Control of Landing Gear with PID Controller," *Eur. J. Sci. Res.*, vol. 89, no. 3, pp. 441–453, 2012.
- [5] H. Yazici and M. Sever, "Observer based optimal vibration control of a full aircraft system having active landing gears and biodynamic pilot model," *Shock Vib.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/2150493.
- [6] S. Sivakumar and A. P. Haran, "Mathematical model and vibration analysis of aircraft with active landing gears," *JVC/Journal Vib. Control*, vol. 21, no. 2, pp. 229–245, 2015, doi: 10.1177/1077546313486908.
- [7] M. Pirooz, S. H. Mirmahdi, and S. R. Moafi, "Promoting both passenger comfort and aircraft handling of 6 DOF landing gear utilizing variable mechanical admittance approach," *Vibroengineering Procedia*, vol. 30, pp. 79–85, 2020, doi: 10.21595/vp.2019.21221.
- [8] A. Toloei, E. Aghamirbaha, and M. Zarchi, "Mathematical model and vibration analysis of aircraft with active landing gear system using linear quadratic regulator technique," *Int. J. Eng. Trans. B Appl.*, vol. 29, no. 2, pp. 137–144, 2016, doi: 10.5829/idosi.ije.2016.29.02b.01.
- [9] D. Y. Lee, Y. J. Nam, R. Yamane, and M. K. Park, "Performance evaluation on vibration control of MR landing gear," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 149, p. 012068, 2009, doi: 10.1088/1742-6596/149/1/012068.

- [10] W. Liu, W. Shi, and H. Ya, "Semi-Active Vibration Control of Landing Gear Using Magnetorheological Dampers," *SAE Int. J. Aerosp.*, vol. 4, no. 2, pp. 958–964, 2011, doi: 10.4271/2011-01-2583.
- [11] D. Saxena and H. Rathore, "Vibration Control of MR Damper Landing Gear," *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 3, pp. 72–76, 2013.
- [12] B. Sateesh and D. K. Maiti, "Closed-loop active vibration control of a typical nose landing gear with torsional MR fluid based damper," *Struct. Eng. Mech.*, vol. 31, no. 1, pp. 39–56, 2009, doi: 10.12989/sem.2009.31.1.039.
- [13] B.-H. Jo *et al.*, "Experimental Validation for the Performance of MR Damper Aircraft Landing Gear," 2021, doi: 10.3390/aerospace.
- [14] Q. V. Luong, B. H. Jo, J. H. Hwang, and D. S. Jang, "A Supervised Neural Network Control for Magnetorheological Damper in an Aircraft Landing Gear," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/app12010400.
- [15] A. A. Gharapurkar, A. F. Jahromi, R. B. Bhat, and W. F. Xie, "Semi-Active control of aircraft landing gear system using H-infinity control approach," *2013 Int. Conf. Connect. Veh. Expo, ICCVE 2013 - Proc.*, pp. 679–686, 2013, doi: 10.1109/ICCVE.2013.6799877.
- [16] Můčka, P. (2017). Simulated road profiles according to ISO 8608 in vibration analysis. *Journal of Testing and Evaluation*, 46(1), 405-418.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Analysis of dielectric properties of Fe and Co coated thin films on PbZrTiO<sub>3</sub>

 Aliye KAHYAOĞLU<sup>a,\*</sup>,  Ahmet DEMİRKAYA<sup>b</sup>,  Dilek KAFKAS<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Nigde Omer Halisdemir University, Nigde, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Physics, Duzce University, Duzce, TURKEY

<sup>c</sup> Department of Composite Material Technologies, Duzce University, Duzce, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: aliyekahyaoglu@ohu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1409595

### ABSTRACT

PbZr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub> ceramic material, which has ferroelectric properties, attracts great attention from researchers due to its electrical and electromechanical properties. In this study, Fe and Co materials with ferromagnetic properties were coated separately on the ferroelectric PbZr<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>O<sub>3</sub> (PZT) ceramic material by vacuum evaporation technique. The variation of dielectric properties such as dielectric constant, dielectric loss, loss tangent, cole-cole diagram of the prepared thin films with frequency was examined. Dielectric constant, dielectric loss, loss tangent, cole-cole diagram of pure PZT, Fe-coated PZT and Co-coated PZT thin films were measured with an impedance analyzer as a function of frequency (in the range of high frequency) at room temperature.

**Keywords:** dielectric properties, ferroelectric, piezoelectric, PZT, multiferroic

## PbZrTiO<sub>3</sub> üzerine Fe ve Co kaplanmış İnce Filmlerin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi

### ÖZET

Ferroelektrik özelliklere sahip PbZr<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>O<sub>3</sub> seramik malzemesi elektriksel ve elektromekanik özelliklerinden dolayı araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir. Bu çalışmada, Ferroelektrik PbZr<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>O<sub>3</sub> (PZT) seramik malzemesi üzerine vakum buharlaştırma tekniği ile ferromanyetik özelliklere sahip Fe ve Co malzemeleri ayrı ayrı kaplanmıştır. Hazırlanmış ince filmlerin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, kayıp tanjantı, cole-cole diyagram gibi dielektrik özelliklerin frekansla değişimi incelenmiştir. Saf PZT, Fe kaplı PZT ve Co kaplı PZT ince filmlerin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp, kayıp tanjantı, cole-cole diyagramı oda sıcaklığında frekansın bir fonksiyonu olarak yüksek frekans aralığında empedans analizörü ile ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** dielektrik özellik, ferroelektrik, piezoelektrik, PZT, multiferroik

## **I. INTRODUCTION**

The chemical and physical properties of materials at the macro scale differ greatly from the physical and chemical properties of the same materials prepared at the nano scale. In fact, a material that is conductive at macro dimensions can become an insulator when reduced to nano dimensions. The fact that materials at the nanometer level show new properties known as the quantum size effect has led to an increase in research on this subject. In this way, it creates potential for technological applications in a wide range of areas such as information storage, magnetic read and write heads in computers, magnetic sensors, magnetic memory, single electron-based quantum information processing devices, microwave electronic devices[1].

The magnetoelectric (ME) effect, that is, the control of magnetic properties by an electric field or the control of electrical polarization by a magnetic field, has been investigated since the 1960s. The ME effect is important for coupling magnetic and electrical properties. In materials with ME effect, control of magnetic domains by electric field and ferroelectric domains by magnetic field emerges. This effect can most clearly be achieved by combining ferroelectric and ferromagnetic materials, and such materials are called multiferroic. Ferroelectric materials are materials that have spontaneous polarization without the application of an electric field, and ferromagnetic materials are materials that have spontaneous magnetization without the application of a magnetic field. The fact that the dielectric and magnetic susceptibilities of these materials are higher than other materials and their non-linear response to external factors make them attractive in terms of application [1-4].

PZT (lead zirconium titanate) is the most commonly used form of ferroelectricity. Piezoelectric materials are materials that can produce electrical signals when mechanical stress is applied or, conversely, mechanical movement when an electric field is applied. Owing to these properties, PZT is used in many different applications such as sensors, transducers and actuators [5]. Iron and cobalt are two important elements known for their magnetic properties - especially ferromagnetic. Iron is naturally magnetic and capable of generating high amounts of magnetic fields. Owing to this feature, it is widely used in the production of magnetic materials. Iron, which is frequently used in devices such as electric motors, generators and transformers based on the principle of electromagnetism, enables strong magnetic interactions. Cobalt, similar to iron, is highly magnetic. Cobalt alloys are used in the medical field in the construction of implants, electronic devices and sensitive magneto-optical systems[6].

In this study, it was planned to produce multiferroic thin films with magnetoelectric properties. For this purpose, ferroelectric PZT material was chosen as the substrate, and two different materials (iron and cobalt) were chosen as the ferromagnetic material. The surface properties and dielectric properties of Pure PZT, Fe-coated PZT and Co-coated PZT thin films were investigated in a high frequency range at room temperature. Cole-Cole plots corresponding to the equivalent electrical circuit of these materials were obtained and the suitability of the samples for electrical circuit applications in technology was discussed.

## **II. MATERIAL AND METHOD**

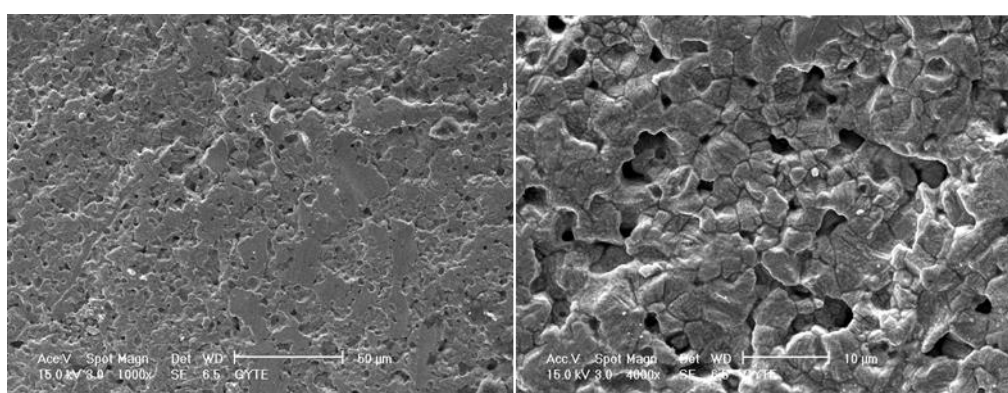
Fe and Co materials with ferromagnetic properties were coated separately on the  $\text{PbZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$  (PZT) ceramic material, which has ferroelectric properties, by vacuum evaporation technique. 100 nm thick Fe and Co films were coated on 0.5 mm thick PZT ceramic material.

Surface investigation of Fe-coated PZT (Fe/PZT) and Co-coated PZT (Co/PZT) thin films was carried out by Scanning Electron Microscope (SEM). Dielectric properties such as real part ( $\epsilon'$ ) and imaginary part ( $\epsilon''$ ) of the dielectric constant, tangent factor ( $\tan\delta$ ) and Cole-Cole plots of the prepared thin films with frequency were examined. The  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan\delta$ , Cole-Cole plots for pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT

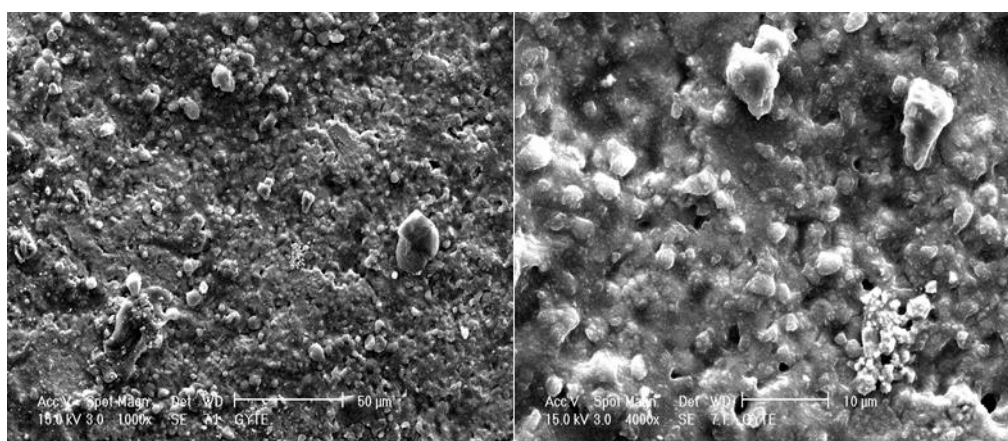
thin films were measured with an impedance analyzer as a function of frequency (in the range of high frequency) at room temperature.

### **III. EXPERIMENT RESULTS**

Surface control of ferromagnetic films coated on PZT by vacuum evaporation method was carried out with Scanning Electron Microscope (SEM). The purpose of SEM imaging is to ensure the quality control of the surfaces of the prepared films. The PZT substrate chosen as a ferroelectric material has a ceramic structure. It was determined that the prepared thin films were largely polycrystalline. At 50  $\mu\text{m}$  magnification, it was observed that Fe/PZT thin films had a smoother surface (Figure 1), while Co/PZT thin films had a rougher structure (Figure 2). At 10  $\mu\text{m}$  magnification, it was observed that Fe/PZT thin films had a tetrahedral structure and had more pores, while the surface structure of Co/PZT thin films changed and had a less porous structure and clusters formed. Additionally, it was observed that the grain size decreased in Co-coated thin films (Figure 1 and Figure 2).



*Figure 1. SEM images of Fe coated PZT thin film*



(b)

*Figure 2. SEM images of Co coated PZT thin film*

The frequency dependence of the dielectric constant, which is the phenomenon that best characterizes dielectric materials, is very important for technological applications of these materials. When an external electric field is applied to dielectric materials, electrically charged electrons, ions and molecules affected by the field change direction. Due to the change of direction of the electrical charges, the electrical charge centers shift and as a result, polarization occurs. It is a good method for examining composites because the response of the materials to alternating current provides important information about the structures of the materials (pores, interfacial polarization, etc.) [7,8,9]. The dielectric permittivity of a

material refers to its ability to absorb, transmit and reflect electromagnetic energy. Dielectric Permittivity is a quantity consisting of the  $\varepsilon'$  and the  $\varepsilon''$ :

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

where  $\varepsilon'$  is the real component and is related to the capacitance of the substance and its ability to store electrical energy. C is the capacitance of the material,  $C_0$  is the capacitance of the vacuum,

$$\varepsilon' = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

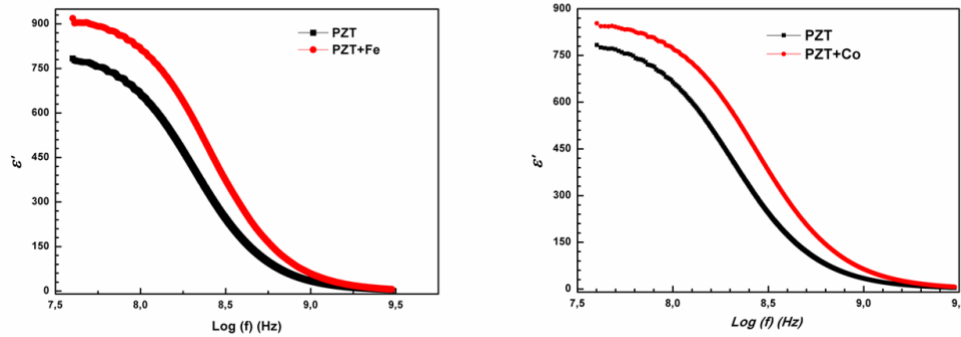
$\varepsilon''$  is the imaginary component and is related to various absorption mechanisms of energy distribution. It briefly provides information about losses [8-10]. G is the conductivity of the material,  $\omega$  is the angular frequency.

$$\varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_0} \quad (3)$$

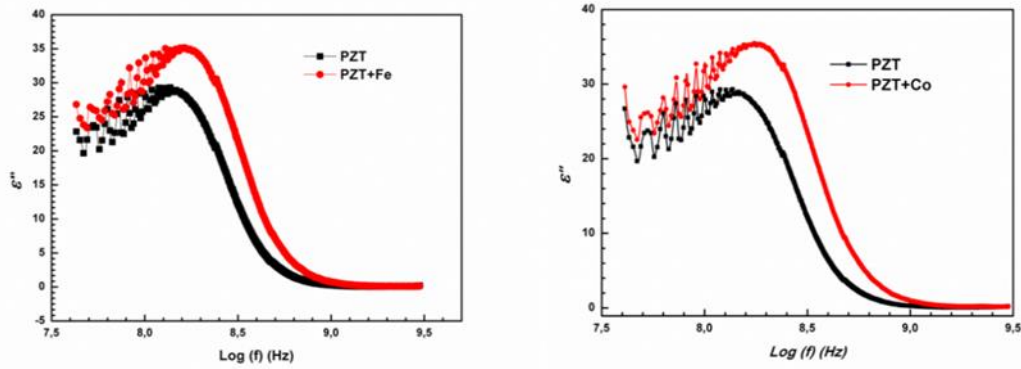
The tangent factor is the ratio of the imaginary part of the complex dielectric constant to the real part. It is used to evaluate the amount of energy released as heat in the dielectric [10, 11].

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (4)$$

The reason why the dielectric constant of pure PZT material at room temperature is so high is dipolar polarization[9].

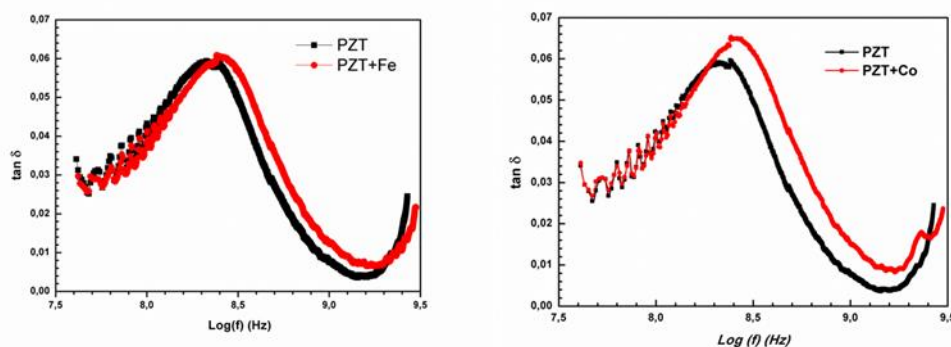


**Figure 3.** Real part of dielectric constant ( $\varepsilon'$ )-frequency graph of pure PZT, Co-coated PZT and Fe-coated PZT thin films

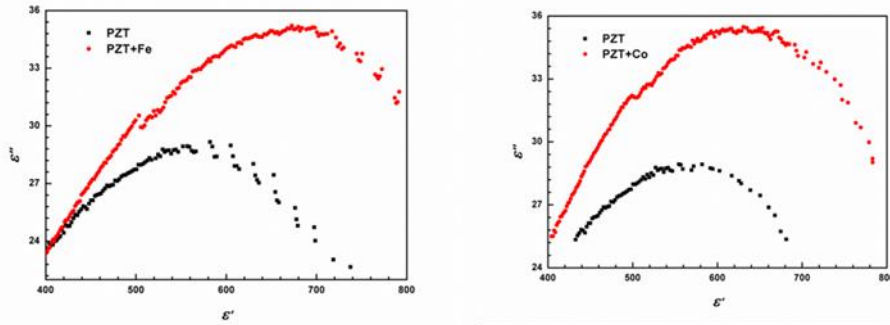


**Figure 4.** Imaginary part of dielectric constant ( $\epsilon''$ )-frequency graph of pure PZT, Co-coated PZT and Fe-coated PZT thin films

The frequency-dependent changes of  $\epsilon'$  of all thin films are given in Figure 3. It has been observed that  $\epsilon'$  of pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films decreases with increasing frequency. In general, it has been observed that while  $\epsilon'$  is higher in the relatively low frequency region,  $\epsilon'$  decreases in the high frequency region. In the low frequency region, the sample with the highest  $\epsilon'$  was Fe/PZT, while the sample with the lowest  $\epsilon'$  was pure PZT. It was observed that the dielectric behavior of all samples was similar. Charged particles moving through the material under the applied external electric field undergo dipolar polarization. This is why dielectric parameters have high values in the low frequency region. The exponential decrease of dielectric parameters with increasing frequency is a result of dielectric relaxation. The main reason the dipolar polarization effect increases in iron and cobalt coated thin films is their contribution to polarization. The fact that these contributions are higher in the iron-coated film is due to less interfacial interaction between Fe and PZT. Frequency-dependent changes in the  $\epsilon''$  of pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films are given in Figure 4. It was observed that in all samples, with increasing frequency, the  $\epsilon''$  first increased and then decreased parabolically. While the  $\epsilon''$  of Co/PZT and Fe/PZT samples have similar values in the low frequency region, the pure PZT sample has a lower  $\epsilon''$  value.



**Figure 5.** tangent loss factor ( $\tan\delta$ )-frequency graph of pure PZT, Co-coated PZT and Fe-coated PZT thin films



**Figure 6.**  $\epsilon'' - \epsilon'$  graph of pure PZT, Co-coated PZT and Fe-coated PZT thin films

Figure 5 shows the frequency-dependent variation of the tangent factor ( $\tan\delta$ ) of pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films.  $\epsilon''$  and  $\tan\delta$  both give information about dielectric losses but  $\tan\delta$  allows us to examine the material in more detail. As seen in figure 5, a repolarization effect is seen around 9.2 [9]. Figure 6 shows Cole-Cole plots for pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films. We obtain information about the energy storage and loss factor in dielectric materials from Cole-Cole relaxation models. Cole-Cole plots are very important for determining whether a dielectric material has a single relaxation time in a dielectric material. For a single relaxation time dielectric material, Cole-Cole plots correspond to a semicircle. As can be seen in the Figure 6, there is a single relaxation time for all samples and this corresponds to an RC circuit. Obtaining this equivalent circuit was found to be very important as it was inspiring in terms of the application of materials as electronic circuit elements.

## IV. CONCLUSION

In this study, multiferroic thin films were produced by vacuum evaporation method. Fe and Co materials (100 nm thick) with ferromagnetic properties were separately coated as thin films on ferroelectric  $\text{PbZrTiO}_3$  (PZT). Surface properties were examined with scanning electron microscopy (SEM), and it was observed that Fe-coated PZT thin films had a smoother structure, while Co-coated PZT thin films had a more porous structure. Real part of dielectric constant ( $\epsilon'$ ), imaginary part of dielectric constant ( $\epsilon''$ ), tangent factor ( $\tan\delta$ ), cole-cole plots of prepared Pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films as a function of frequency (in the range of 100 MHz to 3 GHz) at room temperature with an impedance analyzer measured. It has been observed that the  $\epsilon'$  of pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films decreases with increasing frequency. Because of the dielectric polarisation, it has been observed that while  $\epsilon'$  is higher in the relatively low frequency region,  $\epsilon'$  decreases in the high frequency region. In the low frequency region, the sample with the highest  $\epsilon'$  was Fe/PZT, while the sample with the lowest  $\epsilon'$  was pure PZT. In the figure 3, dipolar polarization was seen and it was observed that Fe had a greater contribution to polarization than cobalt. This is thought to be due to the weaker interfacial interaction between Fe and PZT. It has been observed that the  $\epsilon''$  value of pure PZT, Fe/PZT and Co/PZT thin films first increases with increasing frequency and then decreases parabolically. In the low frequency region,  $\epsilon''$  of the Co/PZT and Fe/PZT samples have similar values, while the pure PZT sample has a lower value. We obtain information about the energy storage and loss factor in dielectric materials from cole-cole relaxation models. Cole-Cole plots are very important for determining whether a dielectric material has a single relaxation time in a dielectric material. The figure 5 shows that the relaxation ends around 9.2 and the re-polarization begins at the same point. The cole-cole plots show that there is a single relaxation in all thin films and this corresponds to an RC circuit. Obtaining this equivalent circuit was found to be very important as it was inspiring in terms of the application of materials as electronic circuit elements. According to these results, it is possible to say that the Fe/PZT thin film shows better dielectric properties in the high frequency region. It is also possible to say that Fe/PZT film is an ideal candidate for application areas such as information storage, magnetic sensor, and magnetic memory[1-4, 12,13].



## **V. REFERENCES**

- [1] F. Mikailzade, B. Aktaş, M. Özdemir, “İnce film ve katmanlı yapıları yeni magnetoelektrik nanomalzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi” Project Report Tubitak, Gebze, 2009
- [2] G.A. Prinz, “Magnetoelectronics”, *Science*, 282, 1660-1663, 1998
- [3] G.A. Prinz, “Magnetoelectronics applications”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 200, 57–68, 1999
- [4] K. Ueda, H. Tabata, and T. Kawai, “Coexistence of ferroelectricity and ferromagnetism in BiFeO<sub>3</sub>-BaTiO<sub>3</sub> thin films at room temperature”, *Appl. Phys. Lett.* 75, 555-557, 1999
- [5] M. Y. Kaya, M. G. Özyazıcı, E. Menşur-Alkoy, S. Alkoy, “Kurşun Nikel Niyobat-Kurşun Zirkonat Titanat seramik kompozisyonun elektriksel ve elektromekanik özellikleri ve dönüştürücü uygulaması”, *AKÜ FEMÜBİD*, 19, 294-301, 2019
- [6] D.S. Schmool, D. Markó, “Magnetism in Solids: Hysteresis”, *Materials Science and Materials Engineering*, 2018
- [7] Tin Trong Dinh et. all, “ Dielectric material characterization of concrete in GHz range in dependence on pore volume and water content” *Construction and Building Materials*, 311, 125234, 2021
- [8] Muhittin Ozturk, “Bazı metal ve boya iyonları katkılı hidrojenlerin dielektrik özelliklerinin incelenmesi” Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Doktora Tezi, 2018
- [9] Gorur Govinda Raju. *Dielectric Loss and Relaxation—I from: Dielectrics in Electric Fields* CRC Press, 13 May 2016
- [10] Everard CD, Fagan CC, O’donnell CP, O’callaghan DJ, Lyng JG, “Dielectric Properties of Process Cheese from 0.3 to 3 GHz”. *Journal of Food Engineering*, 75(3): 415-422, 2006
- [11] Delipınar Didem, “Probertit, Elektrokoagülasyon Termal Atık Ve Elektrokoagülasyon Bor Atığın Dielektrik Özelliklerinin Empedans Spektroskopisi Yöntemi İle İncelenmesi”. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2013
- [12] M. Okutan et. all., Analysis of electromagnetic properties of Ce-Zn substituted barium hexaferrite for electronic circuit applications, *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 630, 2022
- [13] L.P. Silva Neto et. all, Characterization of ceramic dielectrics for sub-GHz applications in nonlinear transmission lines, *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*, 2013



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Review Article

## A Review on Galling of Aluminum in Cold Forming Processes

 Hatice SANDALLI YILDIZ<sup>a,\*</sup>,  Mert ÖZDOĞAN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Norm Fasteners Co., Izmir, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [hatice.sandalli@normfasteners.com](mailto:hatice.sandalli@normfasteners.com)

DOI: 10.29130/dubited.1385121

### ABSTRACT

As world's sustainability becomes the most influential topic, aluminum and its alloys are becoming the preferred material of the automotive industry because they allow vehicle weight to be reduced without compromising safety. Thus, aluminum has taken its place in the global industry as an alternative material that can be used instead of steel. The main drawback of forming aluminum at room temperature is galling. This phenomenon in cold forming of aluminum not only affects the quality of the produced parts but also the lifespan of production tools. This paper reviews the galling of aluminum alloys during bulk and sheet cold forming processes along with friction conditions. The available testing methods in order to simulate the actual cold forming process are introduced. Effect of process parameters such as lubrication, tool surface finish and tool coatings are discussed in detail.

**Keywords:** Galling, Aluminum alloys, Cold forming

## Soğuk Şekillendirme Proseslerinde Alüminyumun Yapışma Aşınması Üzerine Bir İnceleme

### ÖZ

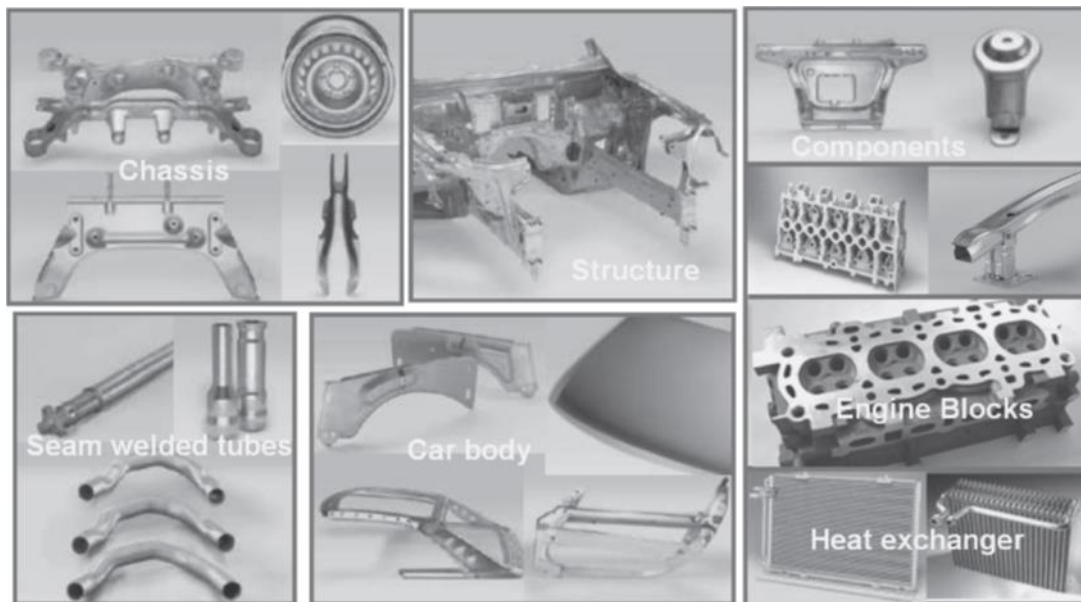
Sürdürülebilirlik dünyanın en etkili konusu haline gelirken, alüminyum ve alaşımları, güvenlikten ödün vermeden araç ağırlığının azaltılmasına olanak sağladığı için otomotiv sektörünün tercih edilen malzemesi haline gelmektedir. Böylece alüminyum çelik yerine kullanılabilecek alternatif bir malzeme olarak küresel endüstride yerini almaktadır. Alüminyumun oda sıcaklığında şekillendirilmesinin ana dezavantajı yapışma aşınmasıdır. Alüminyumun soğuk şekillendirilmesindeki bu olay, yalnızca üretilen parçaların kalitesini değil, aynı zamanda üretim takımlarının ömrünü de etkiler. Bu çalışmada, sürtünme koşullarıyla birlikte kütleli ve sac soğuk şekillendirme işlemleri sırasında alüminyum alaşımlarının adhesiv aşınmasını incelemektedir. Gerçek soğuk şekillendirme sürecini simüle etmek için mevcut test yöntemleri tanıtılmaktadır. Yağlama, takım yüzey kalitesi ve takım kaplamaları gibi proses parametrelerinin etkisi detaylı olarak tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapışma aşınması, Alüminyum alaşımları, Soğuk şekillendirme

## I. INTRODUCTION

Human activities throughout the centuries impacted the world that we live in. Among these, global warming became one of the most influential topic in recent years where carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) content in the atmosphere increased by 50% in less than 200 years ago. Naturally, countries took precautions to prevent the emission of more CO<sub>2</sub> into the atmosphere and released stringent legislative regulations. These precautions motivated companies to push their limits for innovative ideas to find carbon free alternatives for already existing applications. In this sense, automotive industry has focused on electric vehicles to overcome these regulations and contribute to world's sustainability. A report from the mobility of the future study by MIT Energy Initiative [1] revealed that an average CO<sub>2</sub> emission for petrol car is at least 350 gr where it decreases for hybrid cars around 260 gr per mile. Best carbon emissions are observed for fully battery-electric vehicles with only 200 gr. This shows that we can significantly decrease the carbon emission by only changing the type of fuel. However, electric cars have their own downsides and the biggest problem to be solved in these vehicles is the driving range. The simplest solution for such problem is to reduce overall weight of the car. This has two significant effects: firstly, many forces acting on a vehicle are directly related to its weight. A decrease in mass diminishes required driving force and thus yields to reduced energy consumption. Secondly, a lighter car is considered safer due to its lower inertia, meaning that it needs a shorter distance to halt than its heavier alternative [2].

The weight reduction is generally related to the material change and especially in lightweight cars; aluminum alloy is the main material choice [3-5]. Aluminum alloys possess a desirable combination of characteristics, including extended durability, low weight, high strength-to-weight ratio, malleability and exceptional resistance to corrosion. Additionally, 95-98% of aluminum can be recycled repeatedly with a high quality, which is another important criterion for sustainability [6]. Due to these desirable properties, many lightweight car designs and parts, in Figure 1, are introduced with already existing or improved aluminum alloys [7-8].



*Figure 1. Aluminum alloy applications for light-weight cars[9]*

Wrought alloys are classified into a two specific groups. First one is the non heat treatable alloys in which solid solution, strain hardening and dispersion hardening are the main methods to get required strength enhancements. This group consists of 1xxx, 3xxx, 4xxx and 5xxx series alloys. Other group is heat treatable alloys and their strengthening mechanisms are solution heat treatment and controlled aging. This group includes 2xxx, some of 4xxx, 6xxx and 7xxx series alloys [10]. Within aluminum alloys, 6xxx group have been widely researched due to its favourable properties such as heat treatability,

robustness and weldability. When all 6xxx series aluminum alloys compared, it can be seen that the 6082 alloy within this series is the most common one due to its attractive properties such as higher mechanical properties, excellent corrosion resistance and convenience for T6 aging [11]. Wrought aluminum designation system with major alloying elements and their features is given in Table 1.

*Table 1. Wrought alloy designation system [10]*

<b>Alloy Series</b>	<b>Major Alloying Element</b>	<b>Features</b>
1xxx	Pure aluminum, 99%	Electrical conductivity
2xxx	Copper	Increased strength
3xxx	Manganese	Food safe
4xxx	Silicon	Lower melting point
5xxx	Magnesium	High corrosion resistance
6xxx	Magnesium and Silicon	Heat-treatable
7xxx	Zinc	High Strength

Metal forming is broadly used in automotive industry to manufacture parts with various size and shapes by plastically deforming the materials. This plastic deformation can be categorized into two group as bulk deformation and sheet metalworking with their own sub-groups [12]. Among the bulk deformation techniques, forging is the most common metal forming technique, which uses compression forces in order to shape the work piece material between dies. Traditional forging is classified as hot, warm and cold forging according to application temperature. Cold forging is performed at temperatures below the recrystallization temperature of the work piece material, generally at room temperature, while hot forging is performed at temperatures above it. Warm forging is carried out at the temperatures between hot and cold forging application temperatures. The mentioned forging techniques have advantages and disadvantages compared with each other. In order to produce machine parts with hot forging, the work piece must be heated up to a certain temperature and this heating causes additional energy consumption. On the other hand, forging loads required to plastically deform the material decreases significantly and risk of damage in the work piece minimizes with the heating of the material. Better mechanical properties in the final product can be obtained with the cold forging thanks to the phenomenon of strain hardening. In addition, cold forging is a net-shape-forming technique, so generally there is no additional process required to obtain final shape of the product. In addition, this technique is suitable for mass production [13,14]. Due to these favourable properties, many vehicle parts such as nuts, bolts, bushes, joints and many more are manufactured by this forming method.

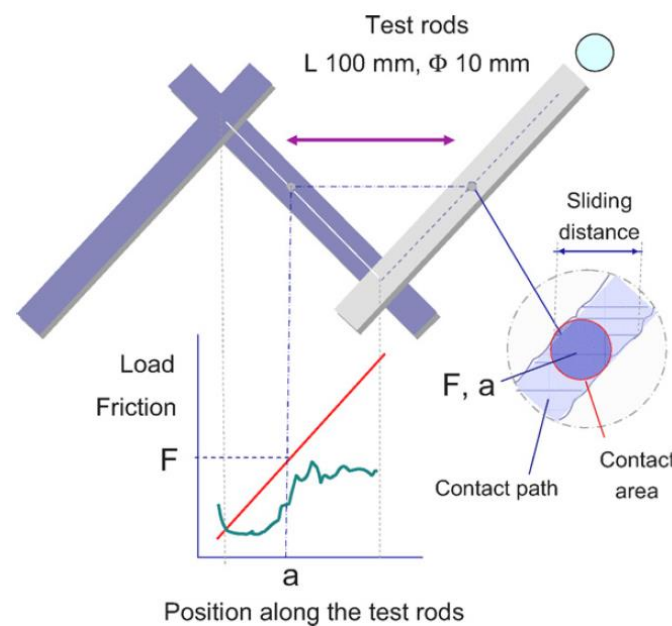
Despite its beneficial mechanical features, cold forming of aluminum is a challenging process due to its complicated nature. For instance, aluminum has tendency of sticking to tools during a cold forming process that can decrease the overall quality of the manufactured part. The work piece material that sticks to the tool surface undergoes hardening through oxidation, work hardening and grain refinement during the operation. Subsequently, it scratches the softer work piece material throughout the rest of the forming, which is commonly known as galling [15]. An example is shown in Figure 2. As a result of galling, surface finish of the manufactured parts deteriorates [16,17] and even in some severe cases, it can abrade the tool itself. There are many effecting factors on galling such as temperature, surface roughness, lubrication, sliding distance and contact pressure [18,19].



*Figure 2. Cylinder that galled on removal from a conforming cylinder [20]*

In literature, the majority of the studies related with cold forming of aluminum alloys are focused on the galling and the friction conditions between work piece and cold forming tool. In this review, the examination of the galling phenomenon in aluminum alloys is presented within the context of bulk and sheet cold forming processes, along with considerations of friction conditions. Various testing methods designed to simulate the cold forming process are also presented. Furthermore, the review delves into a detailed discussion of the effect of process parameters, including lubrication, tool surface finish and tool coatings.

Heinrichs and Jacobson (2009) investigated the effect of surface parameters on the tendency of galling during forming of aluminum using tool steel in laboratory tests. In this study, the parameters were selected as tool material, tool surface roughness and work piece surface preparation. AA6082 (1.2 %Si and 0.8 Mg), aluminum alloy, was used as a work piece material and samples were prepared by two different pre-treatments. First, aluminum samples were soft annealed, lubricated and extruded to 100 mm long cylinders with a diameter of 10 mm. Then, in order to obtain different surface quality, extruded cylindrical rods were separated into two equal groups. First group was soft-annealed and lubricated again whilst second group was only pickled. After these preparations, hardness of the soft-annealed and pickled samples were measured as 35 HV and 60 HV, respectively. To simulate the galling and the friction conditions between the work piece and the tool during cold forming, a load-scanner equipment was used in the sliding-contact tests. Brief illustration of their test set up is illustrated in Figure 3. Principle of the test was as follows, tool steel slides over the aluminum samples and deforms the contact surface. This sliding motion was performed in two different parts as single and multiple strokes. Then, contact surfaces were investigated by using scanning electron microscopy. The procedure was followed for both pickled and lubricated surfaces. Current testing method is proved to be an effective way to examine galling of various tool steels and is used in other studies as well [21,22]. Authors concluded that lubrication significantly effects galling. Experiments revealed that unlubricated surfaces were susceptible to galling even in the smoothest tool surfaces and it cannot be avoided. Similar outcome was obtained for the cases where lubrication wears off and maximum friction coefficient increases immediately. Another finding was about the occurrence of galling. It can be observed in both smooth and rough surfaces as thin layer and/or lumped together where aluminum transfer (galling) was not necessarily a function of high friction coefficient. Around the scratches in rough tool surfaces galling occurred in which aluminum deposits in and over these surface impurities. Thus, author suggested that in the forming process of aluminum, tool materials with smooth surfaces and proper lubrication were key parameters in terms of alleviating the adhesive wear [23].



**Figure 3.** Sketch showing the test set up [23]

Heinrichs and Jacobson (2010) investigated the effect of coating on the AA6082 aluminum's tendency of galling during cold forming. Various coatings, namely diamond like carbon (DLC), titanium aluminum nitride (TiAlN), titanium nitride (TiN) and titanium carbonitride (TiCN), were applied on 8 tool samples by using physical vapor deposition (PVD) technique as single layer or as multilayer combinations and compared with the uncoated tool. Briefly, these coatings are widely used in industrial applications for their superior characteristics such as high hardness, low friction, chemical inertness and self-lubrication. Due to these qualifications, they are widely used in forming and machining of metal parts [24-28] and special attention is given to it in this study. Coatings like TiN, TiCN, and TiAlN are generally used for tool life and performance purposes by decreasing the friction between work piece-tool contact in the literature. Technical data about the applied coatings in the paper are given in Table 2.

*Table 2. Main alloying elements and hardness of the tested tool steels [29]*

<b>Tool steel</b>	<b>Steel type</b>	<b>Hardness (HRC)</b>
Grade A	5Cr-Mo-V	50
Grade B	5Cr-Mo-V	55
Grade C	9V,4.5Cr-Mo-W	60

Influence of different coatings were examined by comparing results of the tests with uncoated tool. H13 was selected as tool material and two sets of tools were prepared in which the first group has higher roughness while other tools have smoother surface. Regarded surface roughnesses of the tools are given in Table 3.

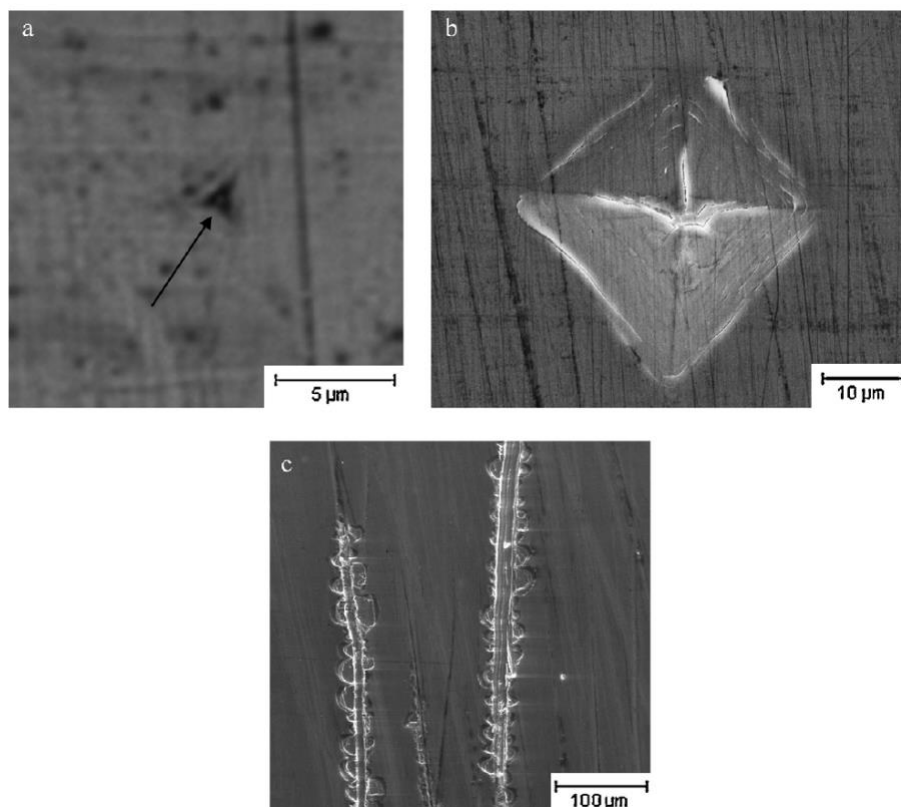
*Table 3. Roughness parameters of the rougher surfaces (white light interferometry) [29]*

	<b>Mean Ra (nm)</b>	<b>Mean Rt (nm)</b>	<b>Mean Rq (nm)</b>
Grade A	280	2900	350
Grade B	270	3200	340
Grade C	250	2900	310

The AA6082 samples were prepared with two different pre-treatment same as the authors previous study [23] and tests were carried out by using a load scanning rig. Conducted tests revealed that there is a significant difference between pre-lubricated and unlubricated pickled aluminum samples in the sense of friction performance. The effect of tool roughness was minimal in pre-lubricated aluminum rods and in some cases coating performance was same with the uncoated tools. On the other hand, some of the DLC coatings in unlubricated and pickled aluminum samples yielded to maximum performance in comparison by keeping low friction for more than 200 strokes. For the same conditions, other coatings and uncoated tools could keep low friction for less than 10 strokes. The occurrence of galling under high loads was also different in pre-lubricated samples where aluminum deposition observed as large bulky flakes on top of the tool rod where it was more integrated with the surface in pickled ones. In any circumstances the lubrication was found as the most important factor in terms of galling and friction conditions. Authors also highlighted that there is no clear correlation between hardness of the coating and the aluminum's galling tendency. Coatings with a higher hardness than aluminum oxide could or could not mitigate aluminum adhesion which leads to a unreliable outcomes. Even in combination of hard coating with a smooth surface could fail to prevent galling which shows that the chemical adherence is also an important parameter [29].

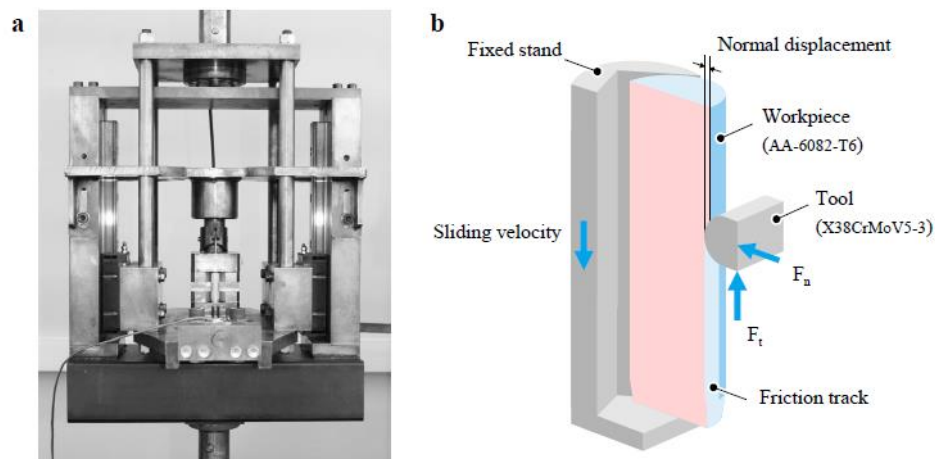
In order to examine the effect of tool defects on occurrence of galling, Heinrichs and Jacobson (2011) conducted another study. They used two layered DLC coated tools, first layer was Me-Doped and the

second layer was hydrated DLC. Controlled defects with various sizes on the tool surfaces were created with Berkovich, Vickers and spherical diamond tips. In order to create less controlled defects SiC grinding paper was also used. Illustration of these surface defects are given in Figure 4. They followed same experimental procedures with their previous studies where sliding-contact test with a load scanner equipment was used for investigating the galling and the friction conditions. AA6082 and AISI H13 were selected as work piece and tool material, respectively. The aluminum samples were not lubricated to get worst contact conditions possible. The tool materials were prepared with six different depths, scaling from nano to micro scale and one sample was left polished for comparison. Results of the sliding-contact test revealed that the effect of surface irregularities was negligible in the sense of friction coefficient at the first stroke. But, scanning electron microscope (SEM) image of the tool surface showed that aluminum was deposited inside dents which could excite galling in following strokes. Authors examined the transferred aluminum to tool by using electron spectroscopy for chemical analysis (ESCA) and found that transferred aluminum was mostly in the form of aluminum oxide and could not cover the whole tool surface. This could be achieved only if aluminium was transferred gradually while sliding, with each thin film being extensively oxidized before the subsequent film was transferred. One interesting finding was the hardness increment of deposited aluminum. Before experiment, hardness of the aluminum sample was 60 HV. After first stroke, it increased to 65 HV and after multiple strokes it became 95 HV. Authors explained this occurrence by mechanical entrapment of aluminum inside the dent. In first stroke, aluminum deposited into the dent in a blotchy manner. Then, rod slid back along the path and removed the tip of deposited aluminum while remaining metal was trapped inside the dent. This removing process highly sheared the top surface of trapped aluminum in which the metal was plastically deformed and authors believe that this repetitive passage could harden the aluminum. Even though these dented areas increased the friction locally, they had insignificant effect on the overall friction. In brief, the results of the study emphasized that the adherence of aluminum on the tool surface initially occurs around the scratches, and with a good surface finish of the tool, it can be avoided. However, this initial adherence didn't have a significant effect on tool life compared to overall surface finish [30].



**Figure 4.** Image of (a) nanoindentation with depth 160 nm (optical microscopy), (b) microindentation with depth 5.6 μm (SEM) and (c) scratches from 240 grit paper on the surface of a coated tool rod. [30]

Le Mercier et al. (2017) investigated the galling of Al6082-T6 aluminum alloy during cold forging process. Upsetting-sliding test (UST) was used for replicating metal-metal interface interactions, such as sliding velocity, contact pressure and temperature to evaluate the amount of deposited aluminum to tool surface. Schematic representation of the test set-up is illustrated in Figure 5 and the tested configuration is given in Table 4. Three trials were conducted for each test configuration in which a single tool and unworn aluminum sample surface was used. Cylindrical aluminum samples were lubricated with molybdenum disulphide. Combination of SEM and surface profilometry was used for surface analysis. This combined method was used and proved by Nosar [31] to be an efficient way of comprehending the mechanisms for controlling the transfer of materials. The main idea of this method came from the nature of topographical distinction between ground and polished surfaces. Surface topography image of the latter for steel tool consists of peaks with hard phase particles on nanoscale whereas grounded surfaces are characterized with macroscale scratches caused by abrasive particles such as SiC. Nosar [31] found that the optical surface profilometer alone was not adequate to define polished surface topography due to this difference and emphasized the importance of SEM addition to profilometer analysis for correctly identifying surfaces. Le Mercier performed this combined method to characterize topographies and make a quantitative analysis about galling. According to findings of the study, it was revealed that galling was observed in every test conditions and its regime was depend on the sliding velocity. At sliding velocities of 100 and 200 mm/s, the coefficient of linear regression was almost the same, indicating the same galling mechanism. At lower sliding velocities, such as 20 mm/s, a different linear regression coefficient was obtained, suggesting a different mechanism. Furthermore, a noteworthy relationship between wear volumes and the friction ratio has been emphasized which underscores the significance of considering a parameter that represents friction in adhesive wear models. The wear volumes exhibit similar trends as those noted in the friction ratio [17].



**Figure 5.** (a) Upsetting sliding test device, (b) Schematic diagram of the test [17]

**Table 4.** Tested configurations [17]

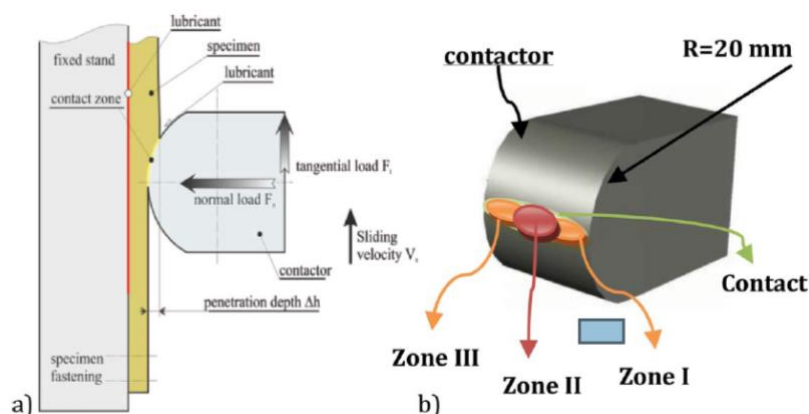
<b>Tool/Test configuration</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Sliding velocity (<math>mm.s^{-1}</math>)</b>	20	20	20	100	100	100	200	200	200	200
<b>Normal displacement (<math>\mu m</math>)</b>	30	60	100	30	60	100	30	40	60	100

Pujante (2013) conducted an experimental study on AA2017 aluminum balls with temperature ranging from 30-450°C to examine the effect of temperature on wear behaviour. They used ball-on-disc sliding test with H13 tool steel where AA2017 ball was securely affixed within a holder connected to an oscillating electro-mechanical drive. This drive exerted pressure against a fixed tool steel disc, which was in turn positioned atop a heating block. The applied load was kept constant during each test and the coefficient of friction was measured. Tests were conducted for three set of tool samples with varying surface roughnesses and orientations. All experiments were conducted at 30°C, 150°C, 250°C, 350°C



and 450°C. Backscattered electron imaging and confocal microscopy were used to monitor groove depths and other wear induced formations for 10s and 300s duration which corresponded to 250 and 7500 sliding cycles respectively. In 250 cycle, groove depths were measured to be similar in all temperatures which was around 2-3µm. From 30-250°C tool abrasion was not observed and there were thin layer of aluminum alongside with lumps up to 30 µm due to metallurgical junction between metal-metal contact. But they were all removed later with repetitive sliding motion. However, at higher temperatures (350-450°C) tool abrasion was apparent. At those temperatures, deposited aluminum was converted into aluminum oxide and assisted abrasive wear mechanism on tool surface. In 7500 cycle, grooves were more deeper around 10µm without any material transfer, lumps of aluminum were detected but later abraded, for just above the room temperature. After 2500 cycle, coefficient of friction was stabilized. In between 150-250°C, material transfer was more pronounced and lumps that formed during the initial stages of the tests became a sites for nucleation growth and accelerated further material transfer. At the highest temperatures, 350-450°C, case groove depths were measured as 20µm which is the highest depth in all cases. Abrasion was so severe that it even removed material from tool steel. Authors didn't focus on the material loss from the tool but they reminded that H13 metal could operate around these temperatures without any disturbances caused by softening. So, this material loss could not be explained by thermal softening of the tool steel. In overall, conducted experiments demonstrated that temperature had significant effect on the wear behavior and it is an important parameter for forging process of aluminum. Authors also examined the effect of surface finish in some extend, but they concluded that its effect was negligible due to low surface roughness [32].

Pruncu et al. (2018) investigated the material transfer mechanism from Al6082 T6 alloy to tool steel under upsetting-sliding tests. The test set-up is shown in Figure 4. The tests were performed with various contactor penetration depths ranging from 0.04 to 0.18 mm and two different sliding velocities as 10 mm/s and 60 mm/s, respectively. Samples were separated into two groups, with one of the groups being lubricated with MoS<sub>2</sub> to prevent early damage. The results of lubricated and unlubricated samples were compared. Additionally, a new contactor was used for each test. The amount of transferred aluminum on contactor was assessed by measuring the initial and final thicknesses of the sample. In order to do that, maximum 10-point height method was used within the study. The results of the study revealed that, the amount of transferred material tended to increase with increasing plastic deformation. At high plastic deformation levels, the transferred material almost covered whole contact surface of the contactor. Even for low plastic deformation levels, aluminum adherence to contactor surface was observed. The transfer mechanism was explained as the initiation of aluminum adherence to the tool and the delamination of aluminum particles. As the deformation continued, the initial interactions between aluminum and the tool at the microscopic level gradually shifted towards interactions between aluminum to aluminum. The results of the study also highlighted that, as the amount of transferred aluminum increased, the coefficient of friction was also increased. When the tests were performed with MoS<sub>2</sub> lubricant, the effect of transferred aluminum on coefficient of friction was low since metal to metal contact was minimized with the use of lubricant [33].



**Figure 6.** (a) Schematic view of the upsetting-sliding test and (b) zones of analysis considered for the contactor surface [33]

Vidales et al. (2023) studied the wear behavior of Al5754 with a focus on surface roughness and tool geometry. The authors also investigated the effect of coating and lubrication on the wear behavior. Experiments conducted in two parts: in the first part, effect of surface roughness and geometry of tools was studied while in the second part, performance of coating with various lubricants was examined. To analyze the effect of surface roughness, a modified version of scratch test was used in which aluminum ball was rubbed on the unworn surface of tools. Schematic diagram of scratch test is illustrated in Figure 7 and test parameters are given in Table 5. The tool surfaces were prepared with different surface finishes as polished, machined and sand blasted. In order to investigate the wear and friction behavior of coated balls, ball-on-disc test with a tribometer was used. Tests were performed both with and without lubricants to reveal the effect of lubrication. The balls were manufactured with WC/Co and coated with two different bi-layered DLC coatings. The tests parameters and lubricant details are given in Table 6 and Table 7, respectively. Ball-on-disc tests with lubricants were carried out with the submerged system in lubricant. This was not an accurate simulation of the industrial operations. To simulate the real process and to verify the lab results, semi-industrial tests was also conducted. During these tests, two different punch geometries, straight or back-tapered were used. Additionally, within the study, used industrial punching tools provided by a company, was also investigated with field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), energy dispersive X-ray (EDX) and infinite focus microscopy to reveal failure modes. These punching tools were used for the trimming of Al5754 parts. Through the surface investigation of industrial tools, the authors observed that the most visible damage was the galling on the side faces of the tools. The minimum aluminum adherence was observed with the polished tools, while highest adherence was observed with the machined tools. Although sand blasted tools had highest roughness within all tools, they showed less adherence than machined tools because of the anisotropy in surface roughness. Coating irregularities, such as micro-droplets, found to be adhesion provoker where thin aluminum layer was observed on polished tool with low friction coating. The results of the study also indicated that, the applied bi-layered DLC coatings showed similar behavior in terms of friction without lubrication during lab tests. When the lubricants were applied to the system, friction decreased regardless of the type of lubricant used. The best results in terms of galling was obtained with the use of back-tapered and polished punching tools coated with a-C:H/Cr DLC. In brief, tool surface roughness had an important effect on aluminum adhesion and with the combination of suitable tool geometry and coating, aluminum adherence could be reduced significantly [34].

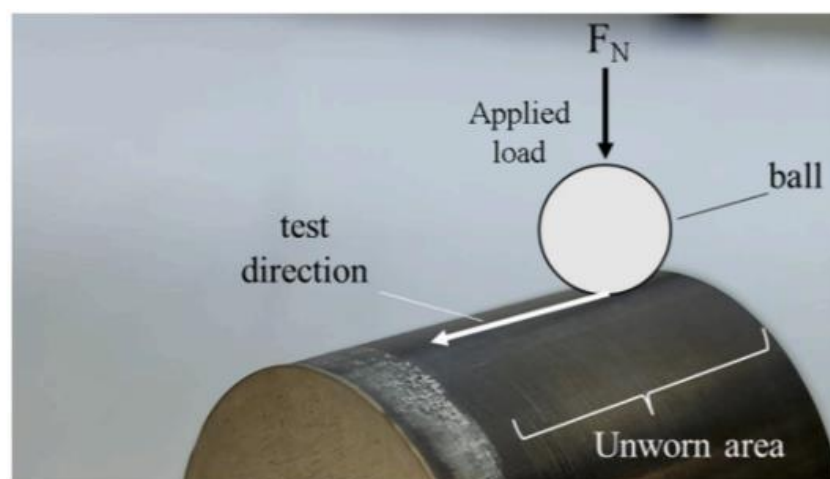


Figure 7. Scratch test schematic diagram. [34]

Table 5. Experimental parameters of modified scratch test [34]

<b>Ball</b>	Ø2.5 mm 99% Al
<b>Load</b>	1 N
<b>Length</b>	10 mm
<b>Speed</b>	20 mm/min

**Table 6. Friction test parameters [34]**

<b>Spherical Indenter</b>	Ø10 mm-coated WC/Co balls
<b>Disc</b>	Ø40 mm x 3 mm of aluminum 5754
<b>Load</b>	10N
<b>Test environment</b>	Dry & Lubricated
<b>Total distance</b>	85.5 m
<b>Speed</b>	95 mm/s

**Table 7. Lubricant characteristics [34]**

<b>Lubricant</b>	<b>Formulation</b>	<b>Viscosity (ISO 40°C)</b>	<b>Weld Load (kg)</b>
LUB 1	Mineral Oil + Ester additives	130 cSt	180
LUB 2	Mineral Oil + Ester additives	150 cSt	760
LUB 3	Ester Base + Additives	110 cSt	320

In literature, many experimental studies were performed to understand the effecting factors on aluminum adherence and friction conditions. However, there are a few studies related with the numerical approach to predict these phenomenon [35-37]. Given that cost of tools in metal forming processes can account for as much as 30% of the overall production cost [38] and considering that wear, galling, and friction conditions significantly shorten the lifespan of these tools, it becomes crucial to investigate numerical approaches for predictive purposes [39,40].

A simple example can be given for numerical investigation of maximum contact pressure on die-blank interfaces. Finite element modeling can be utilized to model contact pressure distribution over these parts and its response might yield to a favorable result to comprehend tool wear [41,42]. Similarly, coupling the friction models into finite element analysis is a favored method for evaluating friction [43,44] to increase die life in cold forming process. In this sense, there are several numerical studies related to galling of aluminum alloys. For instance, a methodology on predicting the galling onset was proposed by Filali for AA6082-T4 aluminum alloy in cold forming. Strip reduction test (STR) was utilized to investigate lubrication and onset occurrence of galling, then, obtained results were compared with finite element results. Ductile failure and adhesive wear mechanisms were related to each other in order to predict galling. First adhesion of soft material to harder surface was taken as the beginning of galling and authors assumed that this material transfer was achieved for a critical damage value at the contact region. Since adhesion wear is related to friction at the surfaces, they suggested that the damage model used for such problem must include the effect of shear stresses. For instance, classical damage models such as Lemaitre's and Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) could only predict galling under extreme contact conditions where excessive tensile stresses are observed. Because these methods only consider tensile stress at the contact area and required critical damage values could be achieved only under such extreme contact conditions which is not applicable to common forming processes. Friction model was derived from work piece-tool contact and it was controlled by the lubricant. Wilson's lubrication model was implemented for normalized thin-film thickness,  $z$ , to determine this contact conditions and modify the finite element model accordingly. Three separate contact conditions were considered. If the contact was within a thick lubricant film, shearing of lubrication film was chosen as the main cause of friction stress and it was written as a function of lubrication viscosity. For thinner films, a shear stress factor was utilized to include the effect of surface roughness. In the thinnest case, two types of regimes were defined: mixed and boundary lubrication for direct and partial contact. Friction stresses were subsequently taken into account with parameters such as adhesion coefficient, fractional area of contact, contact pressures and strain rate. Comparison between purposed model and experiments showed general agreement with some deviations. Model had some errors in the sense of

starting location of galling where it always predicted the location to be further than its experimental equivalent. Also, local adhesion of aluminum was found to be smaller than it was expected. Authors related these problems to mesh effect and Wilson model where it might overestimated ploughing friction stress. But in overall, their model was able to predict the onset of galling for both lubricated-unlubricated cases, and strip rupture due to traction [45].

## **II. CONCLUSION**

The demand for aluminum and its alloys in the automotive industry is increasing day by day due to regulations aimed at reducing greenhouse gas emissions and improvements in electric vehicles. For both purposes, aluminum stands out as a lighter but durable material that can be used instead of steel. Despite its beneficial features, forming of aluminum at room temperatures is a challenging process due to complicated nature of the material. Aluminum has tendency of sticking to tools during cold forming processes that can decrease the overall quality of the manufactured part. Friction conditions and other forming parameters are crucial in order to delay the onset of the sticking. Many researchers have focused on the galling phenomenon that occurs during the forming of aluminum and its alloys and investigated the parameters that affect it. As a result of all the studies carried out, although galling cannot be completely prevented, critical and necessary conditions have been introduced to delay it. The effect of proper lubrication and coating is highlighted as a conclusion of studies. Also, DLC coatings gets attention of researchers and promise good results depending on the application. In addition to experimental studies, numerical studies are also presented to predict the galling onset before production and to reduce the trial and error.

## **III. REFERENCES**

- [1] MIT Energy Initiative. 2019. *Insights into Future Mobility*. Cambridge, MA: MIT Energy Initiative.
- [2] J. Bouquerel, B. Diawara, A. Dubois, A. Dubar, J.-B. Vogt, D. Najjar, “Investigations of the microstructural response to a cold forging process of the 6082-T6 alloy,” *Materials and Design*, vol. 68, pp.245-258, 2015.
- [3] A. Kumar, R.Maithani, A. Kumar, D. Kumar, S. Sharma, “An all-aluminium vehicle’s design and feasibility analysis”, *Materials Today: Proceedings*, vol.64, pp. 1244-1249, 2022.
- [4] M. Goede, “Sustainable Production Technologies of Emission reduced Lightweight car concepts (SuperLIGHT-CAR)”, TIP4-CT-2005-516465, 2009.
- [5] M. Goede, M. Stehlin, L. Rafflenbeul, G. Kopp, E. Beeh, “Super Light Car—lightweight construction thanks to a multi-material design and function integration”, *European Transport Research Review*, vol. 1, pp. 5–10, 2009.
- [6] W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P. De Smet, A. Haszler, A.Viergge, “Recent development in aluminium alloys for the automotive industry”, *Materials Science and Engineering A- Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, vol. 280, no. 1, pp.37-49, 2000.
- [7] J. Hirsch, “Automotive Trends in Aluminium-The European Perspective”, *Materials Forum*, vol.28, pp. 15-23, 2004.
- [8] J. Hirsch, “Aluminium Alloys for Automotive Application”, *Materials Science Forum*, vol.242, pp. 33-50, 1997.

- [9] J. Hirsch, "Aluminium in Innovative Light-Weight Car Design", *MATERIALS TRANSACTIONS*, vol.52, pp. 818-824, 2011.
- [10] R. Howard, N. Bogh, D. S. MacKenzie, "Heat Treating Processes and Equipment," in *Handbook of Aluminum: Volume 1 Physical Metallurgy and Processes*, New York: Marcel Dekker, 2003, pp. 882.
- [11] B. Karahan, U. İnce, S. Yurtdaş, N.E. Kılıncdemir, F.C. Ağarer, C. Kılıçaslan, "On the Cold Forging of 6082 H13 and T4 Aluminum Alloy Bushes" in *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Baku, 2017.
- [12] P. C. Sharath, "Multi directional forging: an advanced deforming technique for severe plastic deformation," in *Advanced Welding and Deforming*, Elsevier, 2021, pp. 529-556.
- [13] C. Kılıçaslan, U. İnce, "Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma Sebeplerinin Nümerik Olarak İncelenmesi", *Mühendis ve Makina*, vol. 57, pp. 65-71, 2016.
- [14] M. B. Toparlı, "Soğuk Dövme Kalıplarında Ömür Artışı Elde Etmek için Baskın Hasar Mekanizmasının Belirlenmesi," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 24, pp. 157-172, 2019.
- [15] J. Heinrichs, M. Olsson, S. Jacobson, "Initiation of Galling in Metal Forming: Differences Between Aluminium and Austenitic Stainless Steel Studied In Situ in the SEM", *Tribology Letters*, vol.50, pp.431-438, 2013.
- [16] J. Heinrichs, S. Jacobson, "Mechanisms of material transfer studied in situ in the SEM: Explanations to the success of DLC coated tools in aluminium forming," *Wear*, vol. 292, pp. 49-60, 2012.
- [17] K. Le Mercier, M. Dubar, K. Mocellin, A. Dubois, L. Dubar, "Quantitative analysis of galling in cold forging of a commercial Al-Mg-Si alloy," in *International Conference on the Technology of Plasticity*, Cambridge, 2017.
- [18] M. Hanson, "On adhesion and galling in metal forming", Ph.D. Dissertation, Faculty of Science and Technology, Uppsala University, 2008.
- [19] V. Westlund, J. Heinrichs, S. Jacobson, "On the Role of Material Transfer in Friction Between Metals: Initial Phenomena and Effects of Roughness and Boundary Lubrication in Sliding Between Aluminium and Tool Steels", *Tribology Letters*, vol. 66, pp. 1-15, 2018.
- [20] K. G. Budinski, S. T. Budinski, "Interpretation of galling tests", *Wear*, vol. 332-333, pp. 1185-1192, 2015.
- [21] B. Podgornik, S. Hogmark, J. Pezdinik, "Comparison between different test methods for evaluation of galling properties of surface engineered tool surfaces", *Wear*, vol. 257, pp. 843-851, 2004.
- [22] M. Hanson, A. Gaard, P. Krakhmalev, S. Hogmark, J. Bergström, "Comparison of two test methods for evaluation of forming tool materials", *Tribotest*, vol. 14, pp. 147-158, 2008.
- [23] J. Heinrichs, S. Jacobson, "Laboratory test simulation of galling in cold forming of aluminium," *Wear*, vol. 267, pp. 2278-2286, 2009.
- [24] M. H. Sulaiman, R. N. Farahana, K. Bienk, C. V. Nielsen, N. Bay, "Effects of DLC/TiAlN-coated die on friction and wear in sheet-metal forming under dry and oil-lubricated conditions: Experimental and numerical studies", *Wear*, vol.438-439, 2019.

- [25] A. Ghiotti, S. Bruschi, "Tribological behaviour of DLC coatings for sheet metal forming tools", *Wear*, vol. 271, pp. 2454-2458, 2011.
- [26] C. Kayış, E. A. Diler, H. Sandallı, F.C. Ağarer, "Effects of TiN/CrN, CrAlN, and TiN Coatings on the Performance of AISI M2 Tool Steel", *Düzce University Journal of Science & Technology*, vol. 10, pp. 1344-1358, 2022.
- [27] J. Heinrichs, S. Jacobson, "Mechanisms of Transfer of Aluminium to PVD- Coated Forming Tools", *Tribology Letters*, vol. 46, pp. 299-312, 2012.
- [28] J. Heinrichs, S. Jacobson, "Evaluation of TiB<sub>2</sub> coatings in cold forming of aluminium", *Surface Engineering*, vol. 28, pp. 517-525, 2012.
- [29] J. Heinrichs, S. Jacobson, "Laboratory test simulation of aluminium cold forming- influence from PVD tool coatings on the tendency to galling," *Surface & Coating Technology*, vol. 204, pp.3606-3613, 2010.
- [30] J. Heinrichs, S. Jacobson, "The influence from shape and size of tool surface defects on the occurrence of galling in cold forming of aluminium," *Wear*, vol. 271, pp.2517-2524, 2011.
- [31] N. S. Nosar, M. Olsson, "Influence of tool steel surface topography on adhesion and material transfer in stainless steel/tool steel sliding contact", *Wear*, vol. 303, pp. 30-39, 2013.
- [32] J. Pujante, L. Pelcastre, M. Vilaseca, D. Casellas, B. Prakash, "Investigations into wear and galling mechanism of aluminium alloy-tool steel tribopair at different temperatures", *Wear*, vol. 308, pp. 193-198, 2013.
- [33] C. I. Pruncu, T. T. Pham, A. Dubois, M. Dubar, L. Dubar, "Morphology of Surface Integrity as Effect of Cold Forging of Aluminum Alloy", *Tribology Transactions*, vol. 61, pp. 632-639, 2018.
- [34] E. Vidales, N. Cuadrado, E. Garcia-Llamas, J. T. Garitano, I. Aseguinolaza, M. Carranza, M. Vilaseca, G. Ramirez, "Surface roughness analysis for improving punching tools performance of 5754 aluminium alloy", *Wear*, vol. 524-525, 2023.
- [35] J. Tenner, K. Andreas, A. Radius, M. Merklein, "Numerical and experimental investigation of dry deep drawing of aluminum alloys with conventional and coated tool surfaces", in *International Conference on the Technology of Plasticity (ICTP)*, Cambridge, 2017.
- [36] M. P. Pereira, W. Yan, B.F. Rolfe, "Contact pressure evolution and its relation to wear in sheet metal forming", *Wear*, vol. 265, pp. 1687-1699, 2008.
- [37] W. Dong, L. Xu, Q. Lin, Z. Wang, "Experimental and numerical investigation on galling behavior in sheet metal forming process", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.88 (1-4), pp. 1101-1109, 2016.
- [38] M. Hawryluk, "Review of selected methods of increasing the life of forging tools in hot die forging processes", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol.16, pp.845-866, 2016.
- [39] X. Yang, Y. Hu, L. Zhang, Y. Zheng, D. J. Politis, X. Liu, L. Wang, "Experimental and modelling study of interaction between friction and galling under contact load change conditions", *Friction*, vol.10, pp.454-472, 2022.
- [40] Y. Hou, W. Zhang, Z. Yu, S. Li, "Selection of tool materials and surface treatments for improved galling performance in sheet metal forming", *The International Journal of Advanced Manufacturing*

*Technology*, vol.43, pp.1010-1017, 2009.

[41] W. Yan, E. P. Bus so, N. P. O'Dowd, "A micromechanics investigation of sliding wear in coated components", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol.456, pp.2387-2407, 2000.

[42] W. Yan, "Theoretical investigation of wear-resistance mechanism of superelastic shape memory alloy NiTi", *Materials Science and Engineering: A*, vol.427, pp.348-355, 2006.

[43] J. Hol, M.V. Cid Alfaro, M. B. De Rooij, T. Meinders, "Advanced friction modeling for sheet metal forming", *Wear*, vol.286-287, pp.66-78, 2012.

[44] F. Klocke, D. Trauth, A. Shirobokov, P. Mattfeld, "FE-analysis and in situ visualization of pressure-, slip-rate-, and temperature-dependent coefficients of friction for advanced sheet metal forming: development of a novel coupled user subroutine for shell and continuum discretization", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.81, pp.397-410, 2015.

[45] O. Filali, A. Dubois, M. Moghadam, C. V. Nielsen, L. Dubar, "Numerical prediction of the galling of aluminium alloys in cold strip drawing", *Journal of Manufacturing Processes*, vol.73, pp.340-353, 2022.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Dengesiz Veri Kümelerinde İnme Tahmini İçin Özel Seçimli Hibrit Dengeleme Yöntemi Tasarımı ve Uygulaması

 Şerife Çelikbaş <sup>\*a</sup>,  Zeynep ORMAN <sup>b</sup>,  Türker Togay Aksoy <sup>a</sup>,  
 Derya Yılmaz Baysoy <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Aydın, İstanbul, TÜRKİYE  
<sup>b</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, TÜRKİYE

\* Corresponding author's e-mail address: serifecelikbas@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1268348

### ÖZ

İnme, beyinde kanama ya da tıkanma sonucu oluşan nörolojik bir hastalıktır ve dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Doğrudan ölümlere sebep olabildiği gibi sakatlıklara da yol açabilmektedir. Genel geçer öngörülebilir bir teşhis yöntemi bulunmadığından erken teşhisi oldukça zordur. Bununla birlikte, tekrarlanabilecek inme durumlarını tespit etmek de hayati bir önem taşımaktadır. Yapay zekâ teknikleri kullanılarak erken inme tahmini konusu literatürde birçok kez ele alınarak üzerinde çalışmalar yapılmış; ancak hala geliştirilmeye açık alanlardan birisidir. Bu çalışmada, hasta verilerinin azınlıkta olduğu bir inme veri kümesi üzerinde dengeleme sorununu gidermek amacıyla bir model önerilmektedir. Önerilen bu modelde, veri dengeleme işlemi için parametreleri Ateş Böceği Algoritmasına göre güncellenen bir yapay bağışıklık sistemi algoritması kullanılmıştır. Kullanılan algoritma çıktıları, azınlık sınıfın performansını arttırmak amacıyla Tek Taraflı Seçim modeline göre düzenlenmiştir. Modelin verimliliği, Kategorik Artırma Algoritması (CatBoost), Hafif Gradyan Artırma Makinesi (LightGBMBoost), Gradyan Artırma (Gradient Boosting - GB), Ekstrem Gradyan Artırma (Extreme Gradient Boosting - XGBoost), Destek Vektör Makinası (Support Vector Machine - SVM) ve Lojistik Regresyon (Logistic Regression - LR) algoritması olmak üzere altı farklı sınıflandırma algoritmasına göre değerlendirilerek performans metrikleriyle sunulmuştur. Önerilen yaklaşımda doğruluk %86, özgülük %43, hassasiyet %87 oranlarında elde edilerek literatürdeki çalışmalara kıyasla etkili sonuçlar üretildiği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnme hastalığı, Dengesiz veri kümesi, Yapay bağışıklık sistemi, Ateş böceği algoritması

## Design and Implementation of a Specialized Selective Hybrid Balancing Method for Stroke Prediction in Imbalanced Datasets

### ABSTRACT

Stroke is a neurological disease caused by either bleeding or blockage in the brain, and it is becoming increasingly common worldwide. It can lead to direct deaths as well as disabilities. Due to the lack of a generally accepted and predictable diagnosis method, early diagnosis is a challenging topic. However, detecting recurrent stroke incidents is also crucial. Early stroke prediction has been studied numerous times in the literature by using artificial intelligence techniques, however, it remains an area open to development. In this study, a model is proposed to address the imbalance issue on a stroke dataset with limited patient data. An artificial immune system algorithm with parameters updated by the Firefly algorithm is used for data balancing. The outputs of the algorithm were



adjusted according to the One-Sided Selection model to improve the performance of the minority class. The model's efficiency is presented with performance metrics evaluated based on six different classification algorithms, namely Categorical Boosting Algorithm (CatBoost), Light Gradient Boosting Machine (LightGBMBoost), Gradient Boosting (GB), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Support Vector Machine (SVM), and Logistic Regression (LR). The proposed approach achieved effective results compared to previous studies, with accuracy, specificity, and sensitivity rates of 86%, 43%, and 87%, respectively.

**Keywords:** Stroke disease, Imbalanced data set, Artificial immune system, Firefly algorithm

## I. GİRİŞ

İnme, son yıllarda insidansı giderek artan, ölümcül olmasının yanında hastaların yaşam koşullarını olumsuz etkileyebilen zorlayıcı bir hastalıktır [1]. İnsanlarda yaş ilerlemesine bağlı olarak görülme sıklığı artan bu hastalık tedavi edildikten sonraki aşamalarda fiziksel özelliklerin kaybı, uzun süre yataklı tedavi dönemi gerektirebilmektedir. Hastalık sonrası dönemde yaşanan zorluklar psikolojik olarak da kötü sonuçlar oluşturmaktadır [2]. Hastalığın getireceği ölüm riskine ve çeşitli zorluklara önlem almak açısından teşhisinin erken zamanlarda yapılması gerekmektedir. Bilgisayarlı tomografi cihazıyla klinik doktor muayenesinde teşhisi gerçekleştirilmektedir. Teşhis yönteminde ulaşım zorluğu, pahalılık gibi faktörlere bağlı olarak yeterli teşhis hızı ve verimi elde edilememektedir [3]. Makine öğrenmesi teknikleri, ucuz ve daha hızlı sonuç üreten bir hastalık teşhis etme tekniği olduğundan son yıllarda oldukça sık kullanılmakta ve geliştirilmeye açık bir alan sunmaktadır. İnme hastalığının teşhisinde de birçok yapay zekâ algoritması ve makine öğrenim tekniği kullanılmıştır [2]-[14]. Arslan ve diğ. [4] 80 hasta 112 sağlıklı bireyden oluşan veri kümesini, SVM, stokastik gradyan artırma (Stochastic Gradient boost - SGB) ve cezalandırılmış lojistik regresyon (Penalized Logistic Regression - PLR) olmak üzere üç farklı veri madenciliği yaklaşımı kullanarak, SVM ve SGB modellerinde kabul edilebilir sonuçlar elde etmiştir. Puspitasari ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışmada, inme tahmini için açık veri tabanı sitesi Kaggle'da yayınlanan 5110 veriye sahip "Stroke Prediction Dataset" isimli veritabanı kullanılmıştır. Karar Ağacı (Decision Tree - DT) ve Rasgele Orman (Random Forest - RF) sınıflandırma algoritmalarının etkisini incelemiş RF algoritmasında daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Makine öğrenmesi teknikleri ile hastalık tespiti çalışmalarında genel problemlerden en önemlilerinin biri veri kümesi dengesizliğidir. Hasta bilgilerinin eksik girilmesi, hasta olmayan kişilerden çok veri toplanması gibi gerekçelere bağlı olarak oluşturulan veri kümelerinde genellikle sağlıklı veriler daha fazla olmaktadır [6]. Bu şekilde oluşan veri kümelerinin işlenmesi aşamasında, kullanılan öğrenme algoritmaları doğruluk seviyelerini yüksek tutma eğiliminde olduklarından, çoğunluk sınıfındaki örnekleri azınlık sınıfına göre daha çok sıralama eğilimindedir. Bu eğilim elde edilen sonuçların hastalık tespitinde yetersiz olmasına sebep olmaktadır [7]. Farklı birçok çalışmada ele alınan bu durum inme hastalığının teşhis edilmesini de zorlaştırmaktadır. Bu duruma bağlı olarak yapılan çalışmalarda, hastalık tespiti verilerinin genel problemi olan kayıp veriler, dengesiz veri kümesi ve özellik seçimi konuları inme hastalığı verilerinde de ele alınmış ve çözümler geliştirilmiştir. Çeşitli sürü zekâsı algoritmaları, inme teşhisini verimli ve doğru bir şekilde gerçekleştirme konusunda çeşitli başarılar elde etmiştir [4]-[13]. Yagin ve diğ. [8] Kaggle açık erişim sitesinde yayınlanan 5110 veriye sahip dengesiz inme veri kümesinde, gradyan artan ağaç sınıflandırma yöntemi ile hastalığı sınıflandırmaktadır. Dengeleme yönteminde, aşırı örnekleme yöntemi olan Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (Synthetic Minority Over-Sampling Technique - SMOTE) kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. SMOTE uygulanan veriler daha tutarlı ve gerçekçi sonuçlar sunduğundan veri kümesi dengeleme adımı kullanılması önerilmiştir. Sailasya ve diğ. [9], aynı veri kümesi için kayıp veriler için ortalama değer ve veri dengelemesinde Eksik Örnekleme (undersampling) yöntemini kullandıktan sonra LR, DT, RF, K-En Yakın Komşu (k-Nearest Neighbor - KNN), SVM ve Naive Bayes sınıflandırması gibi makine öğrenme algoritmalarını kullanarak inme tahmininde bulunmuştur. En iyi öğrenmeyi Naive Bayes yönteminde elde etmiştir. Rana ve diğ. [10] aynı veri kümesi için yaptığı çalışmada, kayıp verileri KNN yükleme yöntemi ile tamamlamıştır ve denge problemi SMOTE-Tomek yöntemi kullanılarak giderilmiştir. Birçok farklı sınıflandırıcı ile sınıflandırılmış en iyi performans sonuç değerini veren

yöntem yapay zekâ yöntemi olmuştur. Dev ve diğ. [11] ise önceki zamanlarda yine Kaggle' da yayınlanan 43400 veriden oluşan dengesiz ve eksik veriye sahip "Stroke Prediction Dataset" isimli veri tabanını kullanmıştır. Kayıp veriler için ortalama değerler atadıktan sonra Yapay Arı Koloni algoritmasına dayalı öznelik seçimi algoritması (Artificial Bee Colony-Feature Selection - ABC-FS) ile inme hastalığı tahmini yapmıştır. En yararlı özelliklerin seçildiği ABC-FS algoritması uygulanarak gerçekleşen eğitim sonuçları daha doğruluğu yüksek sonuçlar vermiştir. Liu ve diğ. [12] aynı veri kümesinde bulunan kayıp veri problemini RF algoritması, veri dengeleme adımıyla ise temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis - PCA) ve K-means kümeleme (K-means Clustering) yöntemleri kullanmıştır. Ön işleme adımlarının ardından hiper parametreleri otomatik seçilen gerçek zamanlı bir sınıflandırıcı ile sınıf tahmini gerçekleştirmiştir. Santos ve diğ. [13] de aynı veri kümesini ele alarak veriyi, OSS ve hiper parametreleri Kohonen ağına göre güncellenmiş yapay bağıklık algoritması ile dengelemiştir. Sınıflandırma adımıyla genetik programlamayla indüklenmiş karar ağacı (Decision trees generated by genetic programming – DT-GP) algoritması kullanılmıştır. Kullanılan karar ağaçları yorumlanabilir yapıda düzenlenmiş ve tatmin edici performans değerleri elde edilmiş ve sonuçlarını Liu ve diğ. [12]' nin oluşturduğu sonuçlar ile karşılaştırarak sunmuştur.

Bu çalışma, inme hastalığı teşhisi için kullanılan veri kümelerinde sıklıkla rastlanılan veri dengesizliği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sınıflandırma yöntemlerinin performanslarının olumsuz yönde etkilenmesi problemine odaklanmaktadır. Bu probleme çözüm sunmak amacıyla yapay zekâ tabanlı bir dengeleme modeli önermektedir. Modelde veri dengeleme işlemi için OSS modeline göre düzenlenmiş, FFA' ya göre güncellenen Klonal Seçim Algoritması (ClonALG) algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak, çeşitli sınıflandırma yöntemleri ile gerçekleştirilen başarımlar literatürdeki güncel çalışmalarla karşılaştırılarak etkili sonuçların elde edildiği gösterilmiştir. Özetle, bu çalışmanın katkıları aşağıdaki şekilde verilebilir:

- Eksik ve dengesiz tıbbi veri kümesi aracılığıyla inmeyi tahmin etmek için literatürde kullanılan yöntemlerden farklı hibrit yapay zekâ tabanlı bir veri dengeleme yaklaşımı önerilmektedir.
- Literatürde yapılmış ilgili mevcut çalışmalarla karşılaştırıldığında, önerilen yaklaşım azınlık sınıfını daha yüksek bir oranda artırarak denge seviyesini yükseltmektedir. Bu denge artışı, öğrenme ve başarı oranlarında etkili sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.
- AIS' de FFA çekiciliğine göre güncellenen seçim algoritması ile yeterli sayıda ve çeşitlilikte antikor oluşturulmaktadır. Önerilen bu algoritma, veri artışı sağlayarak dengelemeye olumlu katkı vermektedir. Oluşan mutasyonların çeşitliliğinin fazla olması da performans metriklerinde etkili sonuçlar üretilmesini sağlamaktadır.
- İnme hastalığı tespitinde veri dengeleme problemi için, literatürde aynı veri kümesi kullanılarak yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuç elde edildiği gösterilmiştir.

Makalenin diğer kısımlarının akışı şu şekilde planlanmıştır: Bölüm II' de, veri kümesi tanıtılmakta ve kullanılan yöntemler ile metodların açıklaması yer almaktadır. Bölüm III' de, önerilen dengeleme modelinin genel işleyişi ve algoritma yapısı açıklanmaktadır. Bölüm IV' te, önerilen yaklaşımın etkinliğini gösteren deneysel sonuçlar ve karşılaştırmalı analizler sunulmaktadır. Son olarak, Bölüm V 'te ise sonuçlarla ilgili değerlendirme yapılarak, gelecekteki araştırmalar için olası görüşler sunulmaktadır.

## **II. MATERYAL ve METOT**

### **A. VERİ KÜMESİ**

Önerilen yaklaşımı değerlendirmek için, çalışmada inme tahmini veri kümesi [25] kullanılmıştır. Veri kümesi, on özelliğe sahip 43.400 örnekten oluşmaktadır. Veri kümesinde inme hastası olan veriler tüm veri kümesinin %1,89'unu içermektedir. Ele alınan bu veri kümesi hastalık tespitinde kullanılan diğer veri kümelerinde sıklıkla rastlanıldığı gibi tipik dengesiz bir yapıdadır. Veri kümesinde yer alan verilerin özellikleri ve değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Buna göre, veri kümesinde sigara içme durumu %30, vücut kitle indeksi (Body Mass Index- BMI) %3 oranında eksiktir. Eksik veriler ihmal edilmeden olduğu

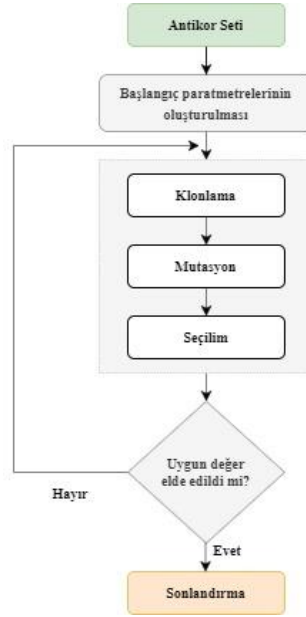
gibi kullanılmaktadır. Ön işlem adımında sadece, label encoder fonksiyonundan geçirilerek kategorik veriler sayısal veriler olarak güncelleştirilmektedir. Bu çalışmanın deneyleri, yüksek işlemciye sahip yapay zeka destekli bir sunucu ve Dataspell IDE'deki Python 3.11.1 ve torch 2.0.1+cpu sürümü kullanılarak yürütülmüştür. Sistemde 64GB RAM bulunmaktadır.

*Tablo 1. Veri kümesi Açıklaması*

Öznitelikler	Değerler
Hasta ID	1-43400
Cinsiyet(gen)	Erkek/Kadın
İkamet Tipi	Kırsal/Kentsel
Avg-glucose(glu)	55-291
İş türü(work)	Özel/Çalışan
Sigara içme durumu	Sigara İçmiş/Eskiden/Hiç
Hipertansiyon hyp)	Evet/Hayır
Evli(mar)	Evet/Hayır
Yaş	0.08-82
Kalp Hastalığı(htd)	Evet/Hayır
Vücut Kitle İndeksi (BMI)	10.1-97.6

## B. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

Omurgalı canlılarda dışarıdan gelen zararlı antijenlerin yok edilmesi için organize şekilde çalışan  $\beta$  ve T lenfosit hücreleri bulunmaktadır. Bu hücreler, bir tehdit faktörüyle karşılaştıklarında antijenlere karşı savaşabilecek yapıda antikorlar üretmekte ve zararlı etmenleri yok etmektedir. Bu antikorlar ileride daha fazla zararlı etmenle karşılaşma ihtimaline karşın, mutasyonlara uğrayarak çoğalmaktadır. Mutasyona uğramamış hücreler ise mutasyona uğrayanlara göre daha az miktarda artmakta böylece hastalıklara daha dirençli bir bağışıklık sistemi sağlanmış olmaktadır [17]. AIS, bağışıklık sistemi fizyolojisinde bulunan  $\beta$  lenfosit hücreleri ve T lenfosit hücrelerinin işlevlerinden ilham alan bir meta-sezgisel yöntem türü olarak kategorize edilmektedir [18]. AIS' de, dış etmenlerden gelen maddelerin zararlılık durumunu, negatif seçim algoritması nitelendirirken, zararlı etmenlere karşı antikor ve mutasyonların oluştuğu kısmını ClonALG temsil etmektedir. Şekil 1 ClonALG genel çalışma mekanizmasını göstermektedir. Algoritma, farklılaştırma, çeşitlendirme ve doğal seçim olarak adlandırılan evrim teorisinin üç özelliğini referans alarak çalışmaktadır. Hiper mutasyon mekanizmaları yoluyla afinite olgunlaşması ve antijenik afinitelerine göre klonların seçilmesine dayanmaktadır. İlk aşamada başlangıç popülasyonu belirlenmektedir. Popülasyon, antikorların bağışıklık sistemini oluşturduğu, antijenlerin ise tanınması gereken bireyleri oluşturduğu şekilde gruplandırılmaktadır. Her bir antikor AIS uygunluk fonksiyonuna verilmekte ve ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Hesaplanan değerler uygunluk değerleri oranında kopyalanmaktadır. Oluşturulan kopyalar antijen tanınırlığını arttırmak amacıyla mutasyona uğratılmaktadır. Oluşturulan mutasyonların uygunluk değerlerine göre kullanılmasına izin verilmektedir. Uygun değerde olmayanlar ise rasgele başka klonlar ile yer değiştirilmektedir.



**Şekil 1.** Yapay bağışıklık sistemi genel diyagramı [24]

Bu çalışmada önerilen dengeleme mekanizması, veri kümeleri içinde daha nitelikli örnekler elde etmek için klonal seçim teorisine dayalı bir AIS kullanmaktadır. ClonALG, uyarılmamış antikorları budamakta ve en çok uyarılmış antikorların seçilmesi ve klonlanması yoluyla belirli bir belleğin korunmasını sağlamaktadır. Klonlama sonrası rasgele mutasyonlar gerçekleşmektedir. Ardından gerçekleşen hiper mutasyon mekanizmaları yolu ile afinite hesaplaması gerçekleşmekte ve antijenik afinitelerine göre seçim yapılmaktadır. Hiper mutasyon mekanizması, antijenler ve antikorlar arasındaki mesafelerle doğrudan ilişkili olduğundan, antikorların afiniteleriyle orantılıdır. Uygun afinite değerinin altında kalan klonlar silinmekte ve uygun değerde olanlar tutulmaktadır.

### C. ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI

Ateş böceklerindeki tüm bireyler cinsiyetsiz olduğundan birbirilerini etkileyebilmektedirler bu açıdan, ışıklarını belirli parlaklıkta yakıp söndürerek diğer bireyler ile etkileşim kurmaktadır. Oluşturdukları ışıkların parlaklık seviyesine ve mesafeye göre çevresindeki diğer ateş böceklerini kendilerine çekmektedirler. İki ateş böceği birbirine ne kadar yakınsa, o kadar çekici görünmektedir. Optimizasyon algoritmalarından olan, ateş böceği algoritması (FFA) da, bu fizyolojik davranışları kendine referans almaktadır. FFA' da her ateş böceği arama uzayındaki bir noktayı temsil etmektedir. Çekicilik, içerdiği amaç fonksiyonu ile orantılı olduğunda, ateş böceklerini daha çekici komşulara doğru hareket ettirerek arama uzayı keşfedilmektedir [19].

Bu çalışmada, yapay bağışıklık sistemine göre gerçekleşecek olan klonlamanın daha etkili değerler üretmesini sağlamak amacıyla max iterasyon  $i$  değeri ve alt sınır  $lb$  değeri her adımda belirli sınırlarda rastgele güncellenen amaç fonksiyonu kullanan bir ateş böceği algoritması kullanılmaktadır. Kullanılan amaç fonksiyonu Eş. 1 ile gösterilmiştir.

$$Amaç\ Fonksiyonu = \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (1)$$

$n$  değeri hesaplanacak fonksiyon için boyutu ifade etmektedir.  $x$  ise belirli alt sınır  $lb$ -üst sınır  $ub$  değerleri arasında alınan her bir parametreyi göstermektedir. FFA algoritmasında en çekici ateşböceği bulunurken, öncelikle rasgele konumlar ve parametreler belirlenmektedir. Ardından bu konumlar seçilen amaç fonksiyonuna göre hesaplanmaktadır. Bu amaç fonksiyonu, yapılan çalışmalarda her

probleme uygun olarak farklı seçilebilmektedir. Belirlenen sonuçların konumlarını netleştirmek amacıyla, fonksiyon çıktıları parametre atama işleminden Eş. 2'deki gibi geçirilmektedir.

$$X_{ik} = lb_j + rand(0,1)x(ub_j - lb_j) \quad (2)$$

Eş. 2'de seçilen  $i$  çözüm kümesinin indeks numarası  $i$ 'deki seçilen parametrenin indeks numarası ise  $k$ 'yi ifade etmektedir.  $X_{ik}$ , seçilen parametre numarasını, 0 ile 1 arasında rasgele sayıyı  $rand(0,1)$ ,  $lb_j$ , parametrenin minimum değerini  $ub_j$ , parametrenin maksimum sayı değerini nitelendirmektedir. Bu işlemin ardından bulunan değerler arasındaki uzaklık hesabı Eş. 3 'deki gibi yapılmaktadır.

$$r_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^d (X_{i,k} - X_{j,k})^2} \quad (3)$$

$i$  ve  $j$  ateşböceği arasındaki uzaklığı  $r_{ij}$  ifade etmektedir.  $d$  parametre boyutu iken  $k$  ise parametre indeksidir.  $i$ . ateş böceğinin çözüm kümesinin  $k$ . parametresi  $k_{ij}$ 'yi tanımlamaktadır. Son aşamada ateşböceklerinin çekiciliğini hesaplamak için kullanılan  $B(r)$ , ise Eş. 4'te gösterildiği şekliyle hesaplanmaktadır. Uzaktaki bir ateşböceğinin çekiciliği  $r$ ,  $B0$ , mesafe ( $r$ ) sıfır olduğunda çekiciliktir.  $\gamma$ , sabit ışık emme katsayısıdır ve genellikle 1 olarak alınmaktadır.

$$B(r) = B0e^{-\gamma r^2} \quad (4)$$

Bu çalışmada kullanılan amaç fonksiyonu, FFA döngüsüne göre en çekici özelliğin, belirli bir parabolik alanda tutulmasına imkân tanımaktadır. Bu özelliği itibariyle, literatürden farklı olarak AIS algoritmasının seçim adımında, hafızadaki veri ya da klonlanmış yeni veri arasındaki seçim için yeni bir seçim adımı oluşmasını sağlamaktadır. AIS algoritmasında tek bir değere göre seçim olması yerine algoritmanın her döngüsünde FFA çekicilik fonksiyonuna göre belirlenen ve belirli sınırlar arasında rasgele değişen bir değere göre seçim yapılmaktadır. Bu yaklaşımın, AIS algoritması ile oluşan klon sayısı ve çeşitliliğini arttırdığı deneysel sonuçlarla Bölüm IV 'de gösterilmektedir.

#### D. TEK TARAFLI SEÇİLİM ALGORİTMASI

Tek taraflı seçim (OSS) algoritması bir alt örnekleme yöntemidir. Dengesiz verilerin sınıflandırmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dengesiz verileri belirli kurallara göre ayırarak tekrar yapılandırma işlemleri içermektedir [20]. OSS modelinde azınlık sınıfının tüm örnekleri korunurken, çoğunluk sınıfının en temsili örnekleri verilen bir referanstan seçilir. Çoğunluk sınıfından örnek seçimi üç adımda yapılmaktadır:

**1.adım:** Çoğunluk sınıfından rastgele bir örneklem seçimi yapılmaktadır;

**2.adım:** Tüm azınlık sınıfı örnekleri ve ilk adımda seçilen örnek ile bir veri kümesi oluşturmak;

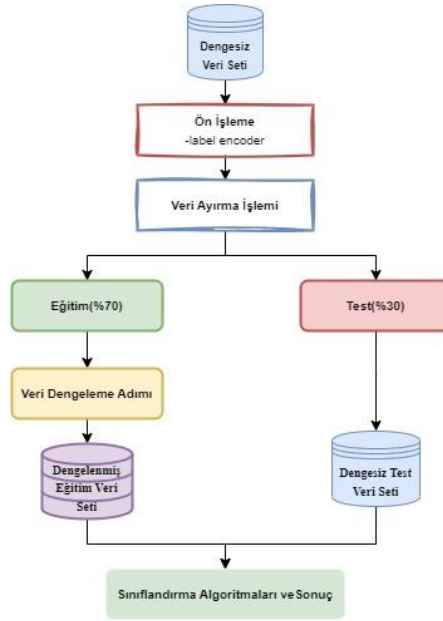
**3.adım:** Çoğunluk sınıfının kalan örnekleri, 2. adımda oluşturulan kümeye ait en yakın komşu etiketi kullanılarak sınıflandırılır.

Doğru sınıflandırılan örnekler veri kümesinden çıkarılır. Ardından dengeli veri kümesi azınlık sınıfından, 1. adımda seçilen örnekten ve 3. adımda yanlış sınıflandırılan örneklerden oluşmaktadır.

### III. ÖNERİLEN MODEL

Çalışmada genel işleyiş, verilerin elde edilmesi, ön işleme, verilerin test ve eğitim için ayrılması, dengeleme algoritmalarının uygulanması, eğitim ve sınıflandırma adımlarından oluşmaktadır. Gerçek yaşam hikâyelerinde oluşan verilerde de eksik veriler olabildiğinden eksik veriler veri tabanından silinmemektedir. Ön işlemede sadece kategorik veriler sayısal verilere label encoder işleviyle

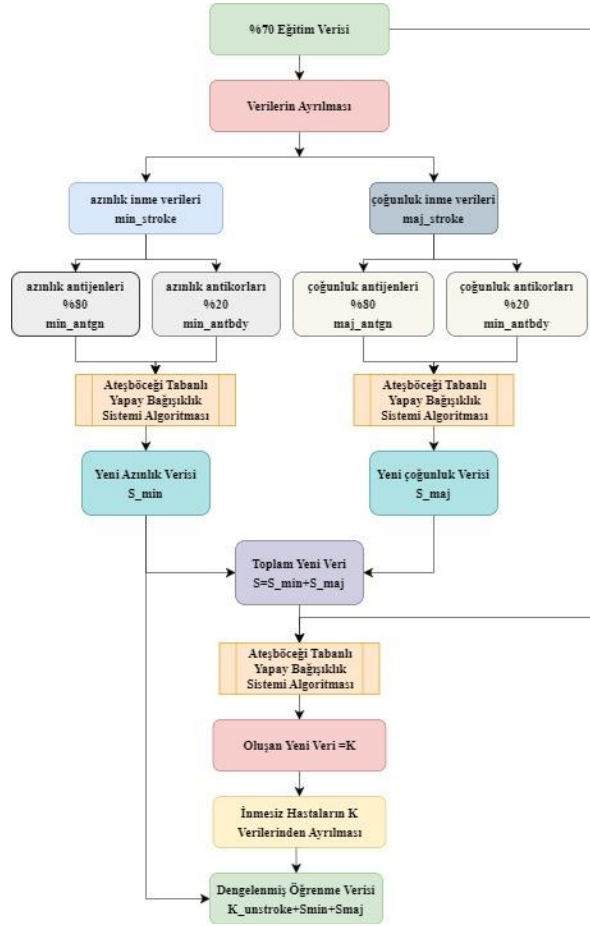
dönüştürülmektedir. Ardından dengeleme prosedürü uygulanmakta ve oluşan dengeli veri sınıflandırıcılar ile eğitilmektedir. Modelin genel işleyişi Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Önerilen model genel blok diyagramı

Dengeleme adımı öncesinde verinin % 30’u test için ayrılmaktadır. Ardından dengeleme prosedürü önerilen modele uygun olarak Şekil 3’te gösterildiği gibi oluşturulmaktadır. Öğrenme için ayrılan veri kümesi dengeleme işlemlerinin ardından eğitilmektedir. Son aşamada ise belirlenen sınıflandırma algoritmalarına göre test verisi doğrulukları değerlendirilmektedir.

Verinin %70’inin eğitim için ayrılmasının ardından, eğitim parametreleri azınlık (inme hastası) ve çoğunluk sınıfı (inme hastası olmayan) olarak belirlenmiştir. Yapay bağışıklık sisteminde kullanılmak üzere hem azınlık hem çoğunluk sınıfı için antikorlar %20 oranında seçilmiştir. Azınlık ve çoğunluk veri kümeleri öncelikle kendi antikor ve antijenleri ile hibrit ClonALG algoritmasında işlenerek yeni klon veriler oluşturulmuştur. Ardından oluşturulan azınlık ve çoğunluk klon verileri tek bir veri kümesinde toplanmıştır. Bu veri kümesi, eğitim için ayrılan veri ile hibrit ClonALG algoritmasında işlenerek yeni klon veriler elde edilmiştir. Son aşamada, veri kümesi elde edilen klon verilerdeki çoğunluk sınıfı verisi ile diğer adımlarda oluşturulan azınlık sınıfı verileri birleştirilerek dengeli hale getirilmiştir.



Şekil 3. Önerilen Veri Dengeleme Algoritması Akış Şeması

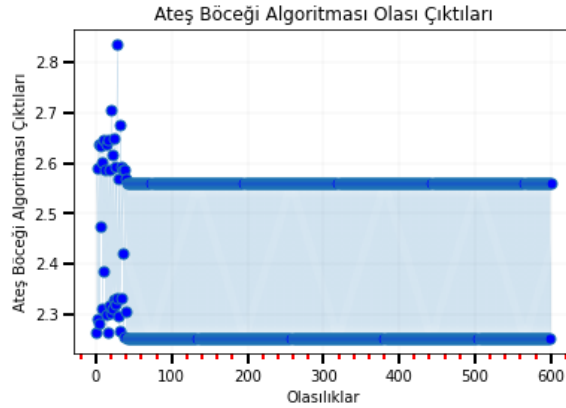
Dengesiz inme veri kümesinde, başarılı eğitim sonuçları üretilebilmesi için çok sayıda verimli inme hastası verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan çeşitli klonlar üretilmesini sağlayan ClonALG algoritması tercih edilmiştir. Algoritmanın ürettiği klon sayı ve kalitesini arttırmak amacıyla seçim adımında FFA kullanılmıştır. FFA'nın Algoritma 1.'de yapay bağışıklık algoritmasında eklendiği kısım temsili olarak gösterilmektedir. FFA küre fonksiyonuna göre üretilen uygunluk değerlerine göre, antikor popülasyonundaki en yüksek afinite değerini ( $q$ ) minimum ateş böceği afinitesi ( $f$ ) değerinde tutmaktadır. Klonlanan antikorlardaki en yüksek afinite ( $p$ ) ise  $f$ 'nin altında olduğu durumlarda klon verisi hafızadaki ile yer değiştirmektedir. Bu adım afinite değerini belirli bir küresel alan sınırında tutmakta ve tutarlı klonlar üretilmesini sağlamaktadır. Çalışmada eklenen FFA algoritmasında kullanılan giriş parametreleri Tablo 2'de sunulmaktadır.  $lb$  ve maksimum iterasyon değerleri rasgele belirlenerek her defasında aynı çekicilik değerinin oluşmasının önüne geçilmekte ve üretilen klonların çeşitliliği geliştirilmektedir.

Tablo 2: Ateş böceği algoritması parametre değerleri

Parametre	Değer
Boyut değeri	1
Alt sınır değeri ( $lb$ )	rasgele [1.5,1.6]
Üst sınır değeri ( $ub$ )	2
Maksimum iterasyon sayısı	rasgele [280,330]

Her iterasyonda farklı FFA algoritma çıktıları üretilmektedir. Şekil 4'te alt sınır değeri 1.5 ve 1.6 ya göre oluşturulan FFA en iyi değerleri gösterilmektedir. Değerler 1.2-2.9 aralığında sonuçlar

üretmektedir. Algoritmanın değerleri belirli sınır arasında tutularak seçim adımı gerçekleştirilmektedir. Bu adım oluşan klonlarda tutarlı sonuçlar üretilmesine katkı sağlamaktadır.



**Şekil 4.** Önerilen FFA algoritması giriş parametlerine göre oluşan en iyi değerlerin gösterimi

Önerilen algoritmanın ilk aşamasında bağışıklık dizeleri oluşturmak amacıyla, Şekil 3’ te belirtildiği gibi veri kümeleri ile antikor ve antijen vektörleri oluşturulmuştur. Uygunluk değerlerinin başlangıcı oluşturulan veri kümesi vektöründen alınan başlangıç değerlerine göre ve ateş böceği algoritması ile belirlenen en uygun değere göre alınmaktadır. Algoritma boyunca kullanılacak olan sabit giriş parametre değerleri ise klon boyutunun çoğalma faktörü  $\beta$ , klonlama için seçilen popülasyonun büyüklük faktörü  $n$ , tüm işlemlerin kaç nesil tekrarlanacağını ifade eden değer ise  $G$  olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin miktarı algoritma çalışma hızını ve üretim miktarını etkilemektedir. Bu açıdan farklı giriş değerleri için tam faktöriyel deney tasarımı [21], yöntemine göre Tablo 3’te belirtilen değerlerde sistem optimize edilmiş ve tablo 4’te verilen parametreler için en iyi dengeleme sonuçları elde edilmiştir.

**Tablo 3:** Yapay bağışıklık algoritması giriş parametre değerleri

Giriş Parametreleri	Değerler
Klon boyutunun çoğalma faktörü ( $\beta$ )	0.5, 0.7, 1
Döngü yinleme nesil sayısı ( $G$ )	1, 2, 3, 4
Popülasyon büyüklük katsayısı ( $n$ )	1, 2

**Tablo 4:** Önerilen Yapay bağışıklık algoritması giriş parametre değerlerine göre dengeleme miktarı ve işlem süresi sonuçları

Parametre	Değerler	Dengeleme miktarı	İşlem Süresi
Klon boyutunun çoğalma faktörü ( $\beta$ )	<b>1</b>	<b>%27,8</b>	S_min=~11.83 sn S_maj=~29835sn K_all=~177835sn
Döngü yinleme nesil sayısı ( $G$ )	<b>4</b>		
Popülasyon büyüklük katsayısı ( $n$ )	<b>1</b>		



Belirlenen antijen kümesi tek tek algoritmaya gönderilir. Belirlenen her antikorun antijene göre afinite değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler sıraya konur. Sıralanan ilk antikor vektör uzunluğuna göre her bir antikor için;

$$x = (\beta * N)/i \quad (5)$$

Seçilen antikor boyutunu ifade eden  $N$  ve klon boyutunun çoğalma faktörü  $\beta$  değerlerinin döngünün yinleme miktarıyla  $i$  ilişkisinden elde edilen  $x$  değeri kadar klon üretilir. Ardından klonlar gauss mutasyon fonksiyonu ile mutasyona uğratılır. Mutasyona uğramış klon kümesi  $km$  olarak ifade edilmiştir.  $km$  kümesinde en yüksek afiniteye sahip antikor değeri  $p$ , veri kümesindeki en yüksek afiniteye sahip antikor değeri  $q$  ve ateş böceği algoritması ile belirlenen en uygun değer  $f$  olarak belirlendikten sonra  $f$  değerinin üstünde kalan klonları ihmal eden seçim adımları uygulanmıştır. Böylece her bir döngü için değişen, ateş böceği en iyi uygunluk değeri dışında kalan afiniteye sahip klonlar ihmal edilmiş olmaktadır. Algoritmanın sözde kodu algoritma 1’de temsili olarak sunulmaktadır. Başlangıç sabit değişkenleri olarak  $\beta$ ,  $n$  ve  $G$  kullanılmaktadır. Bu değişkenler  $S_{min}$  ve  $S_{maj}$  klonları üretiminde sırasıyla, klon boyutunun çoğalma faktörü  $\beta = 1$ , klonlama için seçilen popülasyonun büyüklük faktörü  $n = 1$ , ve nesil sayısı  $G=4$  olacak şekilde belirlenerek işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler,  $S_{min}$  klonlarının üretimi için ~11,83 sn.,  $S_{maj}$  klonları için ~29835 sn. ve  $K_{all}$  klonları için ise ~177835 sn. zaman almaktadır.

*Algoritma 1. Önerilen AIS Algoritması Sözde Kodu*

---

```

Başlangıç sabit değişkenleri belirle ( $\beta, n, G$ )
1. while antijen veri uzunluğuna ulaşıldığında do
2.   // Klonlama bölümünü başlat
3.   for  $j=1$  to  $N$  (antikor veri uzunluğu)
4.     for  $g=1$  to  $G$  (nesil)
5.       her bir antikor için afinite hesapla
6.       afinite listesine ekle
7.       listeyi sırala
8.     for  $i=1$  to  $range(0, n)$ 
9.        $x = (\beta * N)/i$ 
10.       $x$  kadar klon üret
11.      klonları mutasyona uğrat ( $km$ )
12.       $p = km$ 'de en yüksek afiniteye sahip antikor değeri
13.       $q =$  veri kümesindeki en yüksek afiniteye sahip antikor
14.       $f =$  ateş böceği algoritması ile belirlenen en uygun değer
15.    for end
16.    if  $f > q$ :
17.       $f = q$ 
18.    if end
19.    if  $f > p$ :
20.      hafızadaki veri ile klonlanmış veriyi yer değiştir
21.    if end
22.    Belirlenen iterasyondaki veriyi .csv dosyasına ekle
23.  for end
24. for end
25. while end

```

---

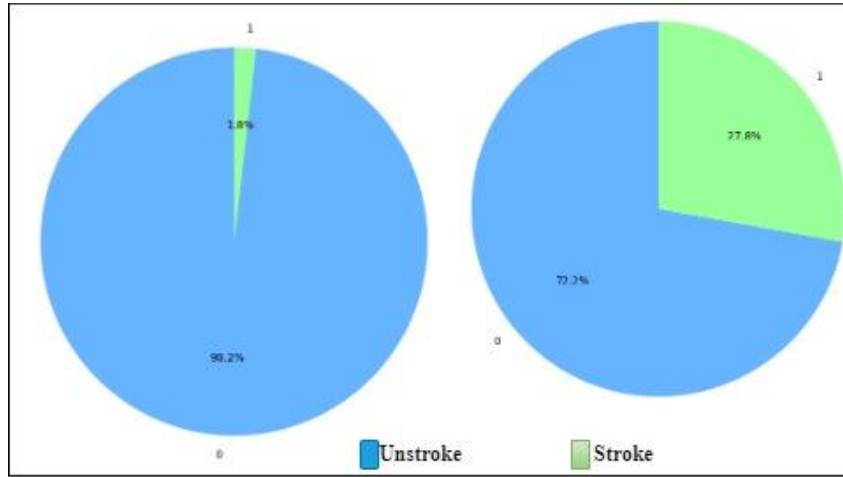
Önerilen hibrit model ile elde edilen klonlar, azınlık ve çoğunluk sınıfının dengelenmesi için OSS algoritmasına uygun olarak düzenlenmiştir. OSS algoritması için öncelikle, azınlık sınıfını oluşturan

antijen ve antikorlar ve çoğunluk sınıfını oluşturan antijen ve antikorlar ayrı ayrı Algoritma 1.' de önerilen algoritmadan geçirilmiştir. Her iki algoritmadan elde edilen verimli klonlardaki inme hastası verileri alınarak son aşama için oluşturulan dengeli veri kümesine eklenmiştir. Bu işlemin ardından, azınlık ve çoğunluk sınıfının kendi antijen ve antikorlarıyla hibrit modelden geçirilerek elde edilen tüm çıktılar birleştirilmiştir. Elde edilen bu yeni veri kümesi ve öğrenme veri kümesinin tamamı ise hasta olmayan verilerin oluşturulması amacıyla hibrit modelde kullanılmıştır. Eğitim için ayrılan verinin tamamı antijen olarak belirlenirken daha önce oluşan klonların da eklenmesiyle birleşen veri kümesi antikorları oluşturmuştur. Bu adımda elde edilen veri kümesinde inme hastası olmayan veriler dengeli veri kümesine eklenmiştir. Tüm bu adımların sonucunda, %1.8 oranında olan inme hastası verileri %27.8 oranında olacak şekilde artmıştır.

Önerilen model, dengeleme işlemlerinin ardından CatBoost, LightGBMBoost, GB, XGBoost, SVM ve LR algoritması olmak üzere altı farklı öğrenme algoritması ile değerlendirilmiş ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bölüm IV.' de önerilen çalışma modelinin değerlendirme sonuçları sunulmuştur.

## **IV. DENEYSEL SONUÇLAR**

Bu çalışmada Bölüm III.' de anlatılan çalışma modeli uygulanmış ve veri dengelemesi algoritma sonucunda %1,8 seviyelerinde olan veri, inme hastası seviyesini %27.8 seviyesine çıkarmaktadır. Şekil 5'te dairesel dilim grafikleriyle veri dengeleme artışı gösterilmektedir. Santos ve diğ. [13] yaptığı dengeleme çalışması sonrası azınlık sınıfı veri kümesinin yaklaşık %11'ini temsil edecek şekilde oluşturmuş olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, çalışmada önerilen dengeleme yaklaşımının daha etkin olduğu görülmektedir.



*Şekil 5. Dengeleme öncesi(%1.8) dengeleme sonrası(%27.8) inme oranları*

Çalışmada, dengelenmiş veri kümesi performansı, Tablo 5'te gösterildiği gibi CatBoost, LightGBMBoost gibi yeni geliştirilmiş algoritmalar, GB, XGBoost, SVM ve LR algoritması olmak üzere altı farklı öğrenme algoritması ile değerlendirilmektedir. Bu sınıflandırma algoritmalarının önerilen modeldeki etkinliğini kanıtlamak için kullanılan değerlendirme ölçütleri sırasıyla, doğruluk(acc), duyarlılık(sen.), özgüllük(spec.) ve geometrik ortalama (G-mean)'dır. Sınıf dengesizliği sorununu çözmek için performans metrikleri hesaplanırken ilk adımda, tahmin sonuçlarına dayalı dört metrik bir karışıklık matrisi oluşturmaktadır. Bu metrikler sırasıyla gerçek pozitif (True Positive - TP), yanlış negatif (False Negative - FN), yanlış pozitif (False Positive - FP) ve gerçek negatiftir (True Negative - TN) [22].

Doğruluk değeri (Acc.), modelin yaptığı tahminin doğruluk oranını ifade etmektedir.

$$\text{Doğruluk}(Acc.) = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (6)$$

Duyarlılık, her kategorinin gerçek pozitiflerini tahmin etme yeteneğini ifade eden ölçüttür. Kişinin hasta olduğunu doğru tahmin etme oranını ifade etmektedir.

$$\text{Duyarlılık}(Sens.) = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

Spesifiklik(özgüllük), algoritmadaki, her kategorinin gerçek negatiflerini tahmin edilmesini sağlamaktadır. Kişinin hasta olmadığına doğru tahmin edilmesini ifade etmektedir.

$$\text{Özgüllük}(Spec.) = \frac{TN}{TN + FP} \quad (8)$$

Geometrik ortalama(G-Mean), özellikle dengesiz sınıflı veriler için algoritma denge derecesini değerlendirmek için kullanılmaktadır ve değer ne kadar büyükse, o kadar iyi sonuç üretmektedir.

$$\text{Geometrik Ortalama}(G - mean) = \sqrt{Sens. \times Spec.} \quad (9)$$

Performans metriklerinin kullanılarak değerlendirildiği sınıflandırıcılardan biri olan SVM, verilerde bulunan düzlemler arasındaki optimum düzlemin belirlenmesini sağlayarak doğrusal olmayan sınıflandırma yapmakta ve verileri yüksek boyutlarda düzenleyebilmektedir. Bu açıdan farklı alanlardaki çalışmalarda da etkili sınıflandırıcılar olarak kullanılabilir [23]. Önerilen çalışmada da; Gradyan arttırma (GradientBoost) ile iki performans metriğinde, hassasiyet %95, doğruluk %94 olmak üzere diğer sınıflandırıcılara göre daha yüksek sonuçlar üretilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak belirleyen LR algoritması verilerdeki bağlantı karmaşası ve gürültülerden fazla etkilenmemektedir. Bu avantajından dolayı bu çalışmada tercih edilen yöntemlerden biri olmuş ve kıyaslanabilir tutarlı sonuçlar üretilmiştir. Genellikle öğrenmesi zayıf olan algoritmaları güçlendirmede kullanılan arttırma algoritmaları, yinelemeli öğrenme yöntemiyle her yinelemede atadığı ağırlıklar sayesinde zayıf verilerden güçlü sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmada kullanılan algoritmalar; Gradyan arttırma, Aşırı Gradyan Arttırma (XGBoost), LightGBMBoost ve CatBoost'dur. GradientBoost; eğitimde, bir önceki hatayı hesaplayarak ilerleyen ve tahminleri oluştururken önceki tahminleri ekleyen bir algoritmadır. XGBoost; GradientBoost'un geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. İçeriğinde budama, eksik değerleri tolere etme sapmaları giderme gibi iyileştirmeler bulunmaktadır. Ayrıca, fazla takılmaları önlemek ve eğitim hızı konusunda GradientBoost a göre daha iyidir. LGBMBoost; Gradyan Tabanlı Tek Taraflı Örnekleme (Gradient-based One-Side Sampling - GOSS) ve Özel Değişken Paketi (Exclusive Feature Bundling – EFB) gibi özellikler önererek, eğitim hızını arttırmaktadır. Ayrıca, değişkenleri kesikli şekilde kullanarak hesaplamalarda kolaylık oluşturmaktadır. CatBoost ise farklı yapıda bulunan verileri daha hızlı işleyebilmesi açısından diğer arttırma algoritmalarına göre daha etkilidir. Çalışmada, arttırma algoritmaları ile elde edilen performans sonuçlarına göre, en iyi doğruluk ve hassasiyet değerini GradientBoost, özgüllük ve geometrik ortalama değerini ise LightGBMBoost vermektedir. Sonuç tablosu değerlendirildiğinde, Lojistik Regresyon algoritmasının %43 özgüllük, %61 geometrik ortalama, %86 doğruluk ve %87 hassasiyet değerleriyle hasta olmayanların hasta olmadıklarının ve hasta olanların ise hasta olduklarının doğru tahmininde en tutarlı sonuçları verdiği görülmektedir.

*Tablo 5 . Farklı sınıflandırma yöntemlerine göre performans metriklerinin kıyaslanması*

Sınıflandırıcı	Doğruluk (Acc.)	Özgüllük (Spec.)	Duyarlılık (Sens.)	Geometrik Ortalama (G-mean)
Kategorik Artırma Algoritması (CatBoost)	0.90	0.29	0.91	0.51
Gradyan Artırma (GradientBoost)	<b>0.94</b>	0.23	<b>0.95</b>	0.47
Ekstrem Gradyan Artırma (XGBoost)	0.93	0.26	0.94	0.49
Hafif Gradyan Artırma Makinesi (LightGBMBoost)	0.90	0.33	0.91	0.55
Lojistik Regresyon (LR)	0.86	<b>0.43</b>	0.87	<b>0.61</b>
Destek Vektör Makinası (SVM)	0.85	0.41	0.86	0.59

İnme verisi dengeleme problemi için, bu çalışma ile aynı veri kümesini kullanan hiper parametreleri otomatik seçilen gerçek zamanlı bir sınıflandırıcı ile sınıf tahmini gerçekleştiren Liu ve diğ. [12] veride bulunan kayıp veri problemini RF algoritması, veri dengeleme adımında ise PCA ve K-means Kümeleme yöntemleri kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, %47 geometrik ortalama, %67 hassasiyet, %32 özgüllük ve %71 doğruluk sonuçları üretilmiştir. Liu ve diğ. [12]'nin yaptığı çalışmayı geliştiren Santos ve diğ. [13] ise ön işleme adımında kayıp verileri silmiştir. Bunun yanı sıra, hiper parametreleri Kohonen ağına göre güncellenen yapay bağışıklık algoritması ile OSS modelinde kullanarak veriyi dengelemiştir. Ardından genetik programlamayla indüklenmiş, yorumlanabilir yapıda düzenlenmiş karar ağaçları kullanarak %74 geometrik ortalama, %78 hassasiyet, %70 özgüllük ve %70 doğruluk sonuçları elde etmiş ve sonuçlarını Liu ve diğ. [12] sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunmuştur. Önerilen modelin, literatürde daha önce yapılmış olan bu çalışmalarla kıyaslanabilir nitelikte sonuçlar ürettiği Tablo 6'da gösterilmektedir.

*Tablo 6. Literatür çalışmaları ve önerilen modelin karşılaştırması*

Çalışma	Ön İşleme	Veri Dengeleme	Sınıflandırıcı	Doğruluk (Acc.)	Özgüllük (Spec.)	Duyarlılık (Sens.)	Geometrik Ortalama (G-mean)
[13]	Eksik verileri yok etme	Kohonen seçilimli AIS,OSS	DT-GP	0,7	<b>0,7</b>	0,78	<b>0.74</b>

[12]	RF ile eksik veri tamamlama	PCA, K-Mean	AutoHPO	0,71	0,32	0,67	0,47
Önerilen Model	Kategorik verilerin sayısallaşması	FFA seçilimli AIS, OSS	LR	<b>0.86</b>	0,43	<b>0.87</b>	0.61

Çalışmada Liu ve diğ. [12]'nin yaptığı çalışma çıktılarına göre performans metriklerinin tamamı daha iyi sonuçlar üretmiştir. Eksik verileri silerek çalışma modelini uygulayan Santos ve diğ. [13]'nin çalışmasına göre ise hassasiyet ve doğruluk oranında daha iyi sonuçlar sağlanmıştır. Çalışmada etkili bir ön işleme adımı uygulanmamasına rağmen kıyaslanabilir sonuçlar üretilmesi önerilen modelin etkinliğini kanıtlamaktadır.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada, veri dengesizlik problemi ele alınarak, hastaların fizyolojik özelliklerine bağlı olarak yapılan inme teşhisinin güvenilirlik düzeyini arttırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, FFA ile seçilimi gerçekleşen AIS algoritması kullanılarak OSS modeline göre dengelenen inme veri tahmin modeli önerilmiştir. Çalışmada hasta ve hasta olmayan iki sınıftaki dengesizlik problemi için birçok performans metriği ile karşılaştırılabilir tutarlı sonuçlar sağlanmıştır. Önerilen model ile elde edilen sonuçların literatürde daha önce yapılmış güncel çalışmalarda önerilen iki model ile elde edilen sonuçlara kıyasla hassasiyet ve doğruluk konusunda daha etkili olduğu gösterilmiştir. Gelecek çalışmalarda inme hastalığı teşhisi için önerilen model ile birlikte eksik değer ataması konusu ele alınabilir. Ayrıca, FFA algoritmasında daha yüksek boyutlu seçim sınır değerleri belirlenerek, oluşan klonların daha homojen ve çeşitli üretilmesi sağlanabilir. Bu şekilde, eğitim performansının geliştirilebilmesi mümkün olabilir. Bunun yanı sıra, benzerlik ölçüsüne göre en az uyarılan klonların ihmal edilme şartları konusunda farklı bakış açıları değerlendirilebilir. En iyi değerlerin yalnızca belirli bir bölgeyle sınırlı kalmamasını sağlamak amacıyla farklı veri kümeleri için farklı koşullar ele alınarak daha spesifik ve odaklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, mevcut çalışma, en iyi öznitelik seçimi konusu üzerinde durularak performans metriklerinde artış sağlanması şeklinde geliştirilebilir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] M. O. Owolabi *et al.*, “The state of stroke services across the globe: Report of World Stroke Organization–World Health Organization surveys,” *International Journal of Stroke*, vol. 16, no. 8, pp. 889–901, May 2021, doi: <https://doi.org/10.1177/17474930211019568>.
- [2] Y. Chen, K. T. Abel, J. T. Janecek, Y. Chen, K. Zheng, and S. C. Cramer, “Home-based technologies for stroke rehabilitation: A systematic review,” *International Journal of Medical Informatics*, vol. 123, pp. 11–22, Mar. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2018.12.001>.
- [3] M. J. O’Donnell *et al.*, “Global and regional effects of potentially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study,” *Lancet (London, England)*, vol. 388, no. 10046, pp. 761–75, 2016, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30506-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30506-2).

- [4] A. K. Arslan, C. Colak, and M. E. Sarihan, "Different medical data mining approaches based prediction of ischemic stroke," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 130, pp. 87–92, Jul. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.03.022>.
- [5] D. I. Puspitasari, A. F. Riza Kholdani, A. Dharmawati, M. E. Rosadi, and W. Mega Pradnya Duhita, "Stroke Disease Analysis and Classification Using Decision Tree and Random Forest Methods," *IEEE Xplore*, Nov. 01, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9632906> (accessed Dec. 10, 2022).
- [6] G. Haixiang, L. Yijing, J. Shang, G. Mingyun, H. Yuanyue, and G. Bing, "Learning from class-imbalanced data: Review of methods and applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 73, pp. 220–239, May 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.035>.
- [7] J. Li *et al.*, "Adaptive Swarm Balancing Algorithms for rare-event prediction in imbalanced healthcare data," *PLOS ONE*, vol. 12, no. 7, p. e0180830, Jul. 2017, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180830>.
- [8] F. Yagin, I. Cicek, and Z. Kucukakcali, "Classification of stroke with gradient boosting tree using smote-based oversampling method," *Medicine Science / International Medical Journal*, vol. 10, no. 4, p. 1510, 2021, doi: <https://doi.org/10.5455/medscience.2021.09.322>.
- [9] G. Sailasya and G. L. A. Kumari, "Analyzing the Performance of Stroke Prediction using ML Classification Algorithms," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 6, 2021, doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120662>.
- [10] C. Rana, N. Chitre, B. Poyekar, and P. Bide, "Stroke Prediction Using Smote-Tomek and Neural Network," *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/icccnt51525.2021.9579763>.
- [11] A. Dev and S. K. Malik, "Artificial Bee Colony Optimized Deep Neural Network Model for Handling Imbalanced Stroke Data," *International Journal of E-Health and Medical Communications*, vol. 12, no. 5, pp. 67–83, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.4018/ijehmc.20210901.0a5>.
- [12] T. Liu, W. Fan, and C. Wu, "A hybrid machine learning approach to cerebral stroke prediction based on imbalanced medical dataset," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 101, p. 101723, Nov. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2019.101723>.
- [13] L. I. Santos *et al.*, "Decision tree and artificial immune systems for stroke prediction in imbalanced data," *Expert Systems with Applications*, vol. 191, p. 116221, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116221>.
- [14] S. M. Hassan, S. A. Ali, B. Hassan, I. Hussain, M. Rafiq, and S. A. Awan, "Hybrid Features Binary Classification of Imbalance Stroke Patients Using Different Machine Learning Algorithms," *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*, vol. 16, pp. 154–160, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.46300/91011.2022.16.20>.
- [15] T. Ahammad, "Risk factors identification for stroke prognosis using machine learning algorithms," *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, no. 0, p. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.5455/jjcit.71-1652725746>.
- [16] E. L. Cooper, "Evolution of immune systems from self/not self to danger to artificial immune systems (AIS)," *Physics of Life Reviews*, vol. 7, no. 1, pp. 55–78, Mar. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2009.12.001>.

- [17] J. Timmis, A. Hone, T. Stibor, and E. Clark, "Theoretical advances in artificial immune systems," *Theoretical Computer Science*, vol. 403, no. 1, pp. 11–32, Aug. 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2008.02.011>.
- [18] E. L. Cooper, "Evolution of immune systems from self/not self to danger to artificial immune systems (AIS)," *Physics of Life Reviews*, vol. 7, no. 1, pp. 55–78, Mar. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2009.12.001>.
- [19] I. Fister Jr, X.-S. Yang, I. Fister, and J. Brest, "Memetic firefly algorithm for combinatorial optimization," *arXiv:1204.5165 [math]*, May 2012, Accessed: Feb. 19, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1204.5165>.
- [20] N. V. Chawla, "Data Mining for Imbalanced Datasets: An Overview," in *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, 2009, pp. 875–886. doi: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-09823-4\\_45](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09823-4_45).
- [21] Kahraman, C., Engin, O. and Yilmaz, M.K. (2009) 'A new artificial immune system algorithm for Multiobjective Fuzzy Flow Shop', *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2(3), pp. 236–247. doi:10.1080/18756891.2009.9727656.
- [22] M. Galar, A. Fernandez, E. Barrenechea, H. Bustince, and F. Herrera, "A Review on Ensembles for the Class Imbalance Problem: Bagging-, Boosting-, and Hybrid-Based Approaches," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 42, no. 4, pp. 463–484, Jul. 2012, doi: <https://doi.org/10.1109/tsmcc.2011.2161285>.
- [23] E.-H. A. Rady and A. S. Anwar, "Prediction of kidney disease stages using data mining algorithms," *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 15, p. 100178, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2019.100178>.
- [24] M. F. S. V. D'Angelo, R. M. Palhares, M. C. O. Camargos Filho, R. D. Maia, J. B. Mendes, and P. Ya. Ekel, "A new fault classification approach applied to Tennessee Eastman benchmark process," *Applied Soft Computing*, vol. 49, pp. 676–686, Dec. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.08.040>.
- [25] T. Liu, "Data for: A hybrid machine learning approach to cerebral stroke prediction based on imbalanced medical-datasets," *Mendeley*, <http://dx.doi.org/10.17632/X8YGRW87JW.1>, 2019, URL: <https://data.mendeley.com/datasets/x8ygrw87jw/1>.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Pilot Assignment for Cell Free Massive MIMO Systems: A Successive Interference Cancellation Approach

 Osman DİKMEN<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Electric-Electronics, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: osmandikmen@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1448494

### ABSTRACT

In the contemporary era, considerable attention has been directed towards exploring cell-free massive multiple-input multiple-output (CF-M-MIMO) systems. A potential solution for tackling the persistent challenge of inter-cell interference prevalent in traditional cellular MIMO networks, this novel network paradigm has gained prominence. This study investigates a pilot assignment approach based on Successive Interference Cancellation (SIC) aimed at alleviating pilot contamination issues inherent in CF-M-MIMO systems. Through comprehensive numerical analyses and simulations, we demonstrate the efficacy and enhanced performance of the SIC-based approach competed with common random and greedy pilot assignment strategies. The proposed methodology addresses the critical challenge of pilot contamination, a phenomenon that severely impacts system performance and spectral efficiency. By iteratively decoding signals and canceling interference, the SIC algorithm optimizes pilot assignments, resulting in improved data rates and more efficient resource utilization. Our findings underscore the robustness and scalability of the SIC-based scheme across diverse system parameters and deployment scenarios, affirming its potential as a promising solution for enhancing the performance of CF-M-MIMO systems. Overall, this study contributes valuable insights into the design and optimization of pilot assignment strategies, offering a pathway for further research and development in the field of CF-M-MIMO systems.

**Keywords:** Cell-free massive MIMO, Pilot assignment scheme, Successive interference cancellation (SIC), Spectrum efficiency

## Hücresiz Büyük MIMO Sistemleri için Pilot Atama: Ardışık Girişim İptali Yaklaşımı

### ÖZET

Son yıllarda, hücreli MIMO ağlarında yaygın olan hücreler arası girişim sorununu hafifletmek için yeni bir ağ mimarisi olarak hücreli devasa çoklu giriş-çoklu çıkış (CF-M-MIMO) sistemlerinin keşfi önemli ölçüde dikkat çekmektedir. Bu çalışma, CF-M-MIMO sistemlerinde yaygın olarak görülen pilot kirliliği sorunlarını hafifletmeyi amaçlayan Ardışık Girişim İptal (SIC) temelli yeni bir pilot atama şemasını incelemektedir. Kapsamlı sayısal analizler ve simülasyonlar yoluyla, SIC tabanlı yaklaşımın geleneksel rastgele ve açgözlü pilot atama şemalarına göre etkinliğini ve gelişmiş performansını gösteriyoruz. Önerilen şema, sistem performansı ve spektral verimlilik üzerinde ciddi etkisi olan pilot kirliliği sorununu ele almaktadır. Sinyalleri ardışık olarak çözerek ve girişimi iptal ederek, SIC algoritması pilot atamalarını optimize eder, bu da daha iyi veri oranlarına ve daha verimli kaynak



kullanımına yol açar. Bulgularımız, SIC tabanlı şemanın çeşitli sistem parametreleri ve dağıtım senaryoları üzerindeki sağlamlığını ve ölçeklenebilirliğini vurgulayarak, hücreless devasa MIMO sistemlerinin performansını artırmak için umut vadeden bir çözüm olarak potansiyelini doğrulamaktadır. Genel olarak, bu çalışma, pilot atama stratejilerinin tasarımı ve optimizasyonu konusunda değerli bilgiler sunarak, CF-M-MIMO sistemleri alanında daha fazla araştırma ve geliştirme için bir yol haritası sunmaktadır.

*Anahtar Kelimeler: Hücreless büyük MIMO, Pilot atama şeması, Ardışık girişim iptali (SIC), Spektrum verimliliği*

## **I. INTRODUCTION**

There has been an increasing focus on investigating cell-free multiple-input multiple-output (CF-M-MIMO) systems as an innovative architectural paradigm aimed at reducing inter-cell interference common in traditional cellular MIMO networks [1]–[5]. These systems involve the deployment of a multitude of distributed access points (APs) to collectively cater to a limited number of user equipments (UEs), diverging from the constraints imposed by conventional cell boundaries within the same time-frequency domain. Typically, CF-M-MIMO systems are characterized by their operation under a time-division duplex (TDD) mode [6].

In CF-M-MIMO systems, the assurance of precise channel state information (CSI) at the APs are imperative, necessitating the employment of uplink (UL) training [7]–[9]. While the conventional approach to coordinated multipoint joint processing (CoMP) focuses on network-centric strategies, CF-M-MIMO systems depart from this norm by embracing a user-centric perspective. However, challenges ensue owing to the restricted coherence interval in wireless fading channels, posing obstacles to preserving orthogonality among training pilots for all UEs. This restriction results in pilot contamination, a phenomenon that can significantly degrade system performance and become a critical bottleneck in the effectiveness of CF-M-MIMO systems [10], [11].

Substantial initiatives have been directed towards alleviating the adverse effects of pilot contamination [1], [12]–[18]. Initially, researchers proposed a random pilot assignment strategy, which was subsequently iteratively refined to enhance performance by optimizing pilot assignments to maximize the minimum rate across all UEs [1]. In order to improve spectral efficiency through optimal pilot allocation, a Tabu-search-based approach is presented in [15]. This method utilizes a Tabu list to avoid local optima and enhance the effectiveness of pilot allocation. However, the efficacy of this approach hinges on a number of elements, with the size of the Tabu list and the choice of initial pilot assignment being particularly influential in determining its success. Another approach proposed in [16] suggests using a weighted graph to optimize uplink throughput. This is achieved by treating the pilot assignment as a max k-cut problem. Since max k-cut is typically an NP-hard problem, this method may encounter scalability challenges when applied to larger networks or more complex scenarios. Essentially, it's a sophisticated way to allocate resources efficiently, but it might struggle to maintain that efficiency as the system grows. Pilot assignment strategies presented in [17], [18] centered on user grouping, wherein users are partitioned into groups based on shared serving APs. An iterative process is employed to determine a pre-defined threshold ensuring the equivalence between the number of user groups and available pilot numbers. Nonetheless, these iterative methods entail high computational complexity, often necessitating multiple iterations to identify an appropriate threshold. Furthermore, the implementation of the pilot assignment algorithm in [18] requires identifying centroid APs, a challenging task in CF-M-MIMO networks.

The pilot assignment procedure plays a pivotal role in the performance and efficiency of wireless communication systems, particularly in the context of MIMO deployments [19]–[21]. Efficient pilot

assignment directly impacts the accuracy of channel estimation, which is essential for coherent signal detection and interference management. However, the presence of pilot contamination, arising from the reuse of pilot sequences among neighboring cells or users, poses significant challenges to system performance. Pilot contamination introduces inter-cell interference, leading to reduced signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR), degraded user throughput, and overall system capacity limitations. Moreover, pilot contamination exacerbates the near-far effect, where users with stronger channel conditions dominate the system resources, further exacerbating interference for weaker users. Consequently, mitigating pilot contamination through intelligent pilot assignment schemes becomes imperative for ensuring reliable and efficient operation of wireless communication systems, particularly in dense urban environments where interference is prevalent.

The process of precoding and decoding operates efficiently when the channel estimation is precise, which is typically obtained through pilot signals sent by UEs throughout the uplink phase. Nevertheless, due to the scarcity of orthogonal pilot signals and the large number of UEs, these pilots must be reused. This reuse can result in pilot contamination (PC), a widespread problem that affects the accuracy of channel estimation and, consequently, the performance of the communication system. In essence, while pilot signals are essential for accurate channel estimation, their limited number and the necessity for reuse among numerous UEs create a significant challenge in maintaining the integrity of the signal information. This interference complicates channel state information estimation, inducing errors in the process. Consequently, spectrum efficiency (SE) in CF-M-MIMO systems suffers akin to multicell massive MIMO setups. Thus, the implementation of a meticulously devised pilot assignment strategy becomes imperative to ameliorate SE performance and effectively manage interference in densely populated CF-M-MIMO networks. Hence, this study examines a pilot assignment scheme founded on the successive interference cancellation (SIC) method. The numerical results unequivocally highlight the efficacy of the SIC-based pilot assignment strategy, highlighting its robust performance in CF-M-MIMO systems. This indicates that the SIC method is a promising solution for tackling the challenges of pilot assignment in environments with a high density of user equipment, contributing to the advancement of CF-M-MIMO technology.

## **II. SYSTEM MODEL**

In the context of uplink transmissions within CF-M-MIMO architectures, the considered topology comprises  $M$  single-antenna APs and  $K$  single-antenna UEs, where ( $K \ll M$ ). These UEs are dispersed stochastically across an expansive geographic expanse. Each AP maintains a connection to a Central Processing Unit (CPU) via a hypothetical ideal fronthaul link, as delineated in reference [22]. This configuration is postulated to optimize uplink communication efficacy by capitalizing on the distributed deployment of APs to serve a relatively diminutive cohort of UEs, with the presupposed flawless fronthaul connectivity precluding any potential throughput constraints between the APs and the CPU. The channel propagation coefficient  $g_{mk}$ , representing the link between the  $m$ th AP and the  $k$ th UE, is modeled as  $g_{mk} = \sqrt{\beta_{mk}}h_{mk}$ , where  $\beta_{mk}$  encapsulates the influence of large-scale fading phenomena such as path loss and shadowing, while  $h_{mk}$  embodies the small-scale fading characteristics through an independent and identically distributed (i.i.d.) complex normal (CN) distribution with zero mean and unit variance.

### **A. UPLINK PILOT TRAINING**

During the initial phase of uplink pilot training in CF-M-MIMO systems, all  $K$  users concurrently transmit pilot signals to the APs. These pilot signals, characterized by their length  $\tau_p$ , serve as crucial reference signals for channel estimation. Every UE  $k$  transmits a pilot signal denoted as  $\sqrt{\tau_p}\boldsymbol{\varphi}_k$ , where  $\|\boldsymbol{\varphi}_k\|^2 = 1$ , implying unit power. These signals propagate through the wireless medium and are acquired by the APs.

The signal received during pilot training at AP  $m$ , represented by  $\mathbf{Y}_{p,m}$ , encompasses contributions from the desired signal as well as the additive noise as [15]:

$$\mathbf{Y}_{p,m} = \sqrt{\tau_p \rho} \sum_{k=1}^K \mathbf{g}_{mk} \boldsymbol{\varphi}_k^H + \mathbf{n}_{p,m} \quad (1)$$

here,  $\rho$  symbolizes the normalized signal-to-noise ratio (SNR) of individual pilot symbols, capturing the trade-off between signal power and noise contamination. The coefficient  $\mathbf{g}_{mk}$  characterizes the channel link between user  $k$  and AP  $m$ , while  $\mathbf{n}_{p,m}$  stands for the additive white Gaussian noise (AWGN) present between them. The elements of  $\mathbf{n}_{p,m}$  are drawn from a complex Gaussian distribution  $\mathcal{CN}(0,1)$ .

Leveraging the received pilot training signals, AP  $m$  performs channel  $\mathbf{g}_{mk}$  between itself and each user  $k$ . This estimation is crucial for subsequent data transmission and reception. Utilizing the minimum mean square error (MMSE) method, AP  $m$  computes the channel estimate  $\hat{\mathbf{g}}_{mk}$  as a linear combination of the received signal components:

$$\hat{\mathbf{g}}_{mk} = c_{mk} \hat{\mathbf{y}}_{p,mk} \quad (2)$$

here,  $\hat{\mathbf{y}}_{p,mk}$  represents the projection of the received signal onto the pilot signal  $\boldsymbol{\varphi}_k$ , encapsulating the channel information. The scaling factor  $c_{mk}$  is determined to optimize the balance between signal power and noise contamination, ensuring accurate channel estimation.

However, the existence of pilot contamination, stemming from the shared usage of pilot signals among users, complicates the estimation process. Strategies aimed at mitigating pilot contamination and enhancing the accuracy of channel estimation remain active areas of research within the realm of massive MIMO systems. Fig.1 shows a CF-M-MIMO network.

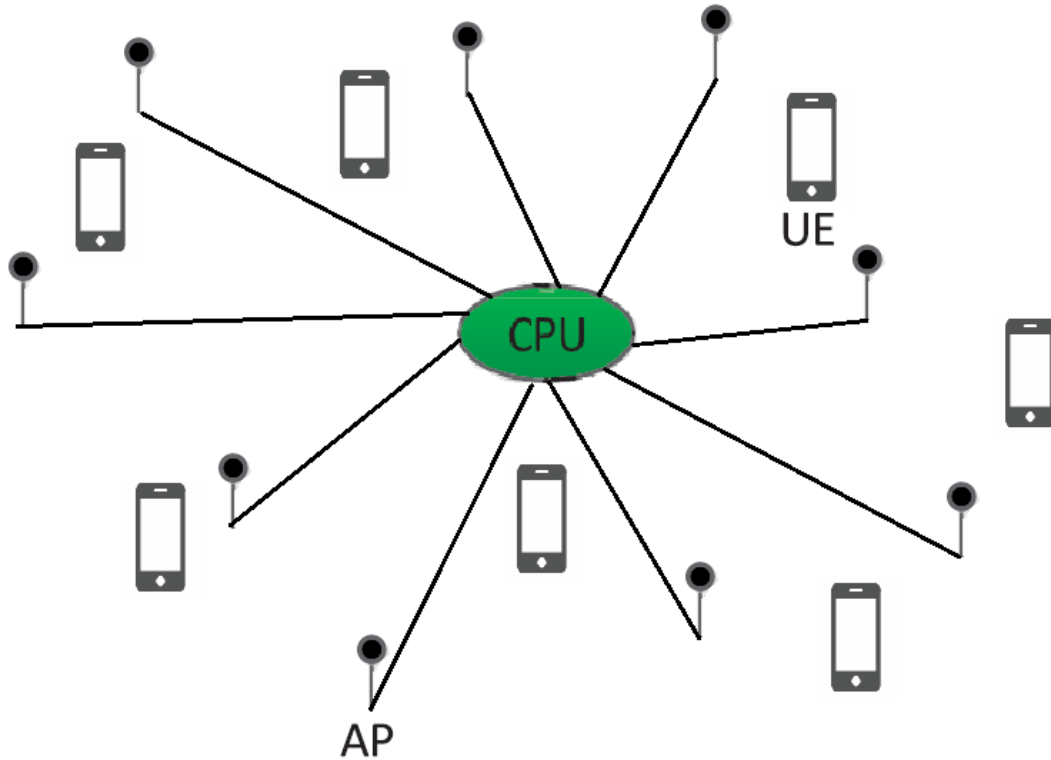


Figure 1. A cell-free massive MIMO system

## B. UPLINK DATA TRANSMISSION PHASE

During the uplink data transmission phase, each of the  $k$  users concomitantly send their data symbols to the  $m$  APs. Before transmission, each user  $k$  adjusts the power of its data symbol to ensure that the expected value of the squared magnitude of the symbol is 1, employing a power control coefficient  $\sqrt{\eta_k}$ , where  $0 \leq \sqrt{\eta_k} \leq 1$ . The data signal received at AP  $m$  is expressed as [23]:

$$\mathbf{y}_{u,m} = \sqrt{\rho_u} \sum_{k=1}^K \mathbf{g}_{mk} s_k + \mathbf{n}_{u,m} \quad (3)$$

here,  $\rho_u$  represents the SNR for uplink data transmission, and  $\mathbf{n}_{u,m}$  stands for the AWGN characterized by elements with a mean of zero and a variance of one.

To retrieve the signal transmitted by user  $k$ , AP  $m$  performs multiplication between the received signal  $\mathbf{y}_{u,m}$  and the conjugate transpose of the channel estimate  $\hat{\mathbf{g}}_{mk}^*$ , sending the resulting data to the CPU via the backhaul network. The mathematical expression for the received data signal at the CPU can be articulated as follows:

$$\mathbf{y}_{u,CPU} = \sum_{m=1}^M \hat{\mathbf{g}}_{mk}^* \mathbf{y}_{u,m} \quad (4)$$

From equation (4), the signal received at the CPU undergoes further processing to extract the desired signal from user  $k$ :

$$DS_k + BU_k - UI_{kk'} + NO_k \quad (5)$$

here, the terms  $DS_k$ , refers to the desired signal pertaining to user  $k$ , representing the signal intended to be transmitted by the user and accurately received by the receiver.  $BU_k$ , represents the beamforming uncertainty associated with user  $k$ , stemming from the uncertainty in the estimated channel state by the receiver and reflecting the challenge of forming an accurate beam.  $UI_{kk'}$  denotes the mutual interference of user  $k$  with user  $k'$ , arising from the transmissions of other users affecting the transmission of user  $k$ . and  $NO_k$  signifies the additive white Gaussian noise (AWGN) specific to user  $k$ , originating from random thermal noise in the channel and receiver hardware. These terms are defined as follows as [23]:

$$DS_k = \sqrt{\rho_u \eta_k} \sum_{m=1}^M \mathbb{E}\{\mathbf{g}_{mk}^H \mathbf{g}_{mk}\} \quad (6)$$

$$BU_k = \sqrt{\rho_u \eta_k} \left( \sum_{m=1}^M \mathbf{g}_{mk}^H \mathbf{g}_{mk} - \sum_{m=1}^M \mathbb{E}\{\mathbf{g}_{mk}^H \mathbf{g}_{mk}\} \right) \quad (7)$$

$$UI_{kk'} = \sum_{m=1}^M \sqrt{\rho_u \eta_{k'}} \mathbf{g}_{mk}^H \mathbf{g}_{mk'} \quad (8)$$

$$NO_k = \sum_{m=1}^M \mathbf{g}_{mk}^H \mathbf{w}_{u,m} \quad (9)$$

By employing the method proposed in [24] for bounding channel capacity, we further analyze equation (5) to obtain a closed-form expression for the SINR, as detailed in equation (10) and elaborated upon in [23].

$$\text{SINR}_k = \frac{|DS_k|^2}{\mathbb{E}\{|BU_k|^2\} + \sum_{k' \neq k}^K \mathbb{E}\{|UI_{kk'}|^2\} + \sum_{m=1}^M \mathbb{E}\{|A_{mk} \mathbf{g}_{mk}^* \mathbf{w}_{u,m}|^2\}} \quad (10)$$

This formulation, coupled with the definition of the SINR specific to user  $k$ , enables the determination of the uplink ergodic rate for that user:

$$\text{Rate}_k = \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau_p}\right) \log_2(1 + \text{SINR}_k) \quad (11)$$

The uplink ergodic rate is contingent upon various factors including the characteristics of the large-scale fading coefficients, which account for phenomena like path loss and shadowing, as well as the statistical attributes of the channel estimates. These channel estimates capture the complex dynamics of the wireless channel, incorporating information about signal propagation, interference, and noise. By considering these factors comprehensively, the uplink ergodic rate offers profound insights into the overall performance and efficiency of the communication system.

### III. SUCCESSIVE INTERFERENCE CANCELLATION BASED PILOT ASSIGNMENT

In this section, we delve into the intricate mechanics of the Successive Interference Cancellation (SIC) algorithm for pilot assignment, a method extensively utilized within wireless communication systems [25]. The Successive Interference Cancellation (SIC) algorithm presents a compelling solution to the challenges posed by pilot contamination in CF-M-MIMO systems. One of the primary reasons for its preference lies in its ability to effectively mitigate interference by iteratively decoding signals and canceling interference from neighboring users. Unlike conventional random or greedy pilot assignment schemes, which may result in inefficient resource allocation and reduced spectral efficiency, the SIC algorithm optimally assigns pilots to users based on their channel conditions, thereby maximizing the overall system throughput. Moreover, the SIC-based pilot assignment scheme demonstrates robustness and scalability across diverse deployment scenarios and varying system parameters. By leveraging the inherent spatial diversity of massive MIMO systems, the SIC algorithm offers improved spectral efficiency and enhanced performance, particularly in dense wireless environments. Overall, the SIC algorithm emerges as a promising solution for improving the reliability, efficiency, and capacity of cell-free massive MIMO systems, making it a preferred choice for next-generation wireless communication networks. In recent years, SIC-based methods have been observed to be employed in systems such as non-orthogonal multiple access (NOMA), multi-user mobile underwater acoustic communication, and massive ultrareliable low-latency communications [26]–[28].

#### *Neighborhood Definition:*

The set  $\mathcal{N}(\mathbf{p})$  defines the neighborhood of a specific pilot assignment result vector  $\mathbf{p}$  within the context of the SIC algorithm. Unlike some other algorithms, which defines neighborhoods based on pilot usage frequency, SIC focuses on canceling interference iteratively. In SIC, the neighborhood consists of pilot assignment vectors where one UE's pilot assignment is modified while keeping other assignments intact. Each neighboring vector represents a different interference cancellation strategy.

#### *Stopping Rule:*

Similar to Tabu Search (TS) algorithm [15], the search iteration stops when it reaches a predefined maximum number of iterations  $N_{\text{iter}}$ .

#### *Aspiration Criterion:*

In SIC, the aspiration criterion is defined based on the achieved SINR improvement. The algorithm aims to improve SINR iteratively by cancelling interference from previously decoded signals. The aspiration criterion compares the SINR improvement of the current candidate solution with the historical best solution.

#### *SIC-based Pilot Assignment Steps:*

**Initialization:** Start with an initial pilot assignment solution  $\mathbf{p}^0 = \{p_1, p_2, \dots, p_K\}$ .

**Iterative Interference Cancellation:** For each UE in the system, decode its signal using the assigned pilot and cancel interference from other signals using SIC. After decoding, update the interference covariance matrix to remove interference from the decoded signal. Iterate this process for all UEs in the system, progressively cancelling interference from previously decoded signals.

**Pilot Reassignment:** After interference cancellation, reassign pilots to UEs based on the updated interference covariance matrix and SINR improvement. Each UE is assigned a pilot that maximizes its SINR while minimizing interference to other UEs.

**Stopping Criterion:** Terminate the algorithm when the maximum number of iterations  $N_{\text{iter}}$  is reached or when the SINR improvement falls below a predefined threshold.

**SIC-based Pilot Assignment Algorithm:** The SIC-based pilot assignment algorithm iteratively improves SINR by cancelling interference from previously decoded signals. The algorithm aims to maximize overall system throughput by optimizing pilot assignments.

*Table 1. Algorithm 1: Successive Interference Cancellation (SIC) Algorithm-based Pilot Assignment.*

---

**Require:**  $K, M, \tau, N_{\text{iter}}$ , initial pilot assignment  $\mathbf{p}^0$ .  
**Ensure:** Final pilot assignment  $\mathbf{p}^*$  and throughput.  
1: Initialize interference covariance matrix.  
2: Decode signals using assigned pilots and cancel interference iteratively.  
3: **for**  $n = 1$  to  $N_{\text{iter}}$  **do**  
4: Reassign pilots based on updated interference covariance matrix and SINR improvement.  
5: **end for**  
6: **return** Final pilot assignment  $\mathbf{p}^*$ .

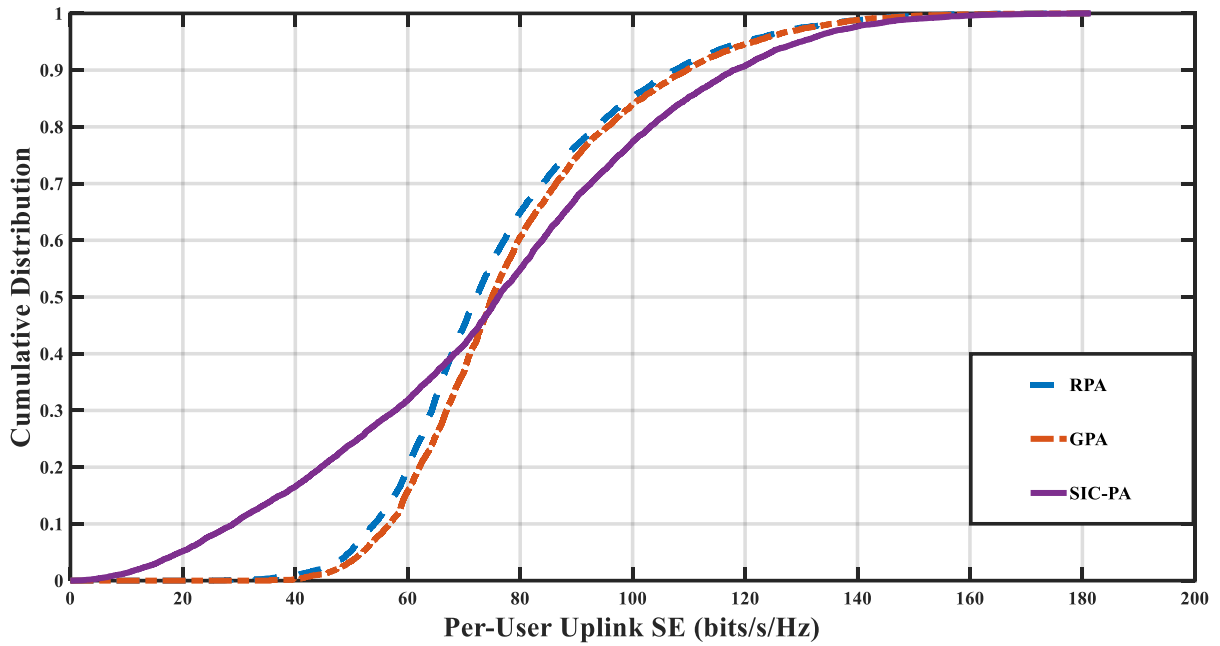
---

## IV. NUMERICAL RESULTS

We analyze a setup featuring  $M$  distributed APs and  $K$  UEs evenly distributed within a  $1 \text{ km}^2$  area. To alleviate the impact of boundary effects, the square region is handled as if it wraps around its edges, ensuring the presence of additional access points surrounding it. For our simulation framework, we employ an uncorrelated shadowing model along with a three-slope path loss model, consistent with the approach detailed in reference [1]. Additionally, noise power parameters akin to those outlined in [1] are employed. The power levels designated for pilot signals ( $\bar{\rho}_p$ ) and data transmission ( $\bar{\rho}_u$ ) are consistently configured at 100mW for each. Furthermore, to enhance throughput efficiency across the network, a max-min power control scheme is incorporated. The per-user throughput ( $SE_{u,k}$ ) is calculated considering channel estimation overhead, represented by the formula  $SE_{u,k} = B \frac{1 - \frac{\tau_c}{\tau_p}}{2} \log_2(1 + \text{SINR}_{u,k})$  as [15], where  $\tau_c = 200$  samples.

The proposed methodology undergoes rigorous evaluation against several established pilot assignment strategies. Among these, the random pilot assignment scheme [1] stands out, wherein users are allocated pilots randomly by establishing connections with all available APs. This strategy is denoted as "RPA" in the figures. Furthermore, we explore the greedy-based pilot assignment known as "GPA," in which every user establishes connections with all APs. Subsequently, the data rate for the least performing user is iteratively optimized using a greedy algorithmic approach.

Fig. 2 depicts the cumulative distribution of per-user uplink throughput, providing insights into the performance of various pilot assignment strategies across the network under the conditions of  $M = 100, K = 40, \tau_p = 30, \tau_c = 200$ , and a bandwidth of  $B = 20$  MHz. It is evident from the plot that the performance achieved by the SIC-PA scheme closely matches that of the exhaustive scheme. This suggests that SIC-PA is capable of exploring solutions in close proximity to the optimal solution, thereby enhancing the system's overall performance. Furthermore, it effectively addresses the challenge of pilot contamination, surpassing traditional pilot assignment methods in performance.



**Figure 2.** The per-user uplink throughput distribution is examined across different pilot assignment strategies, considering a scenario with 100 access points (APs) and 40 user equipments (UEs).

Figure 3 investigates how the average uplink throughput is affected by varying the number of APs  $M$ . The trend reveals that as the number of APs  $M$  increases, the average uplink throughput of all pilot assignment schemes also increases. This phenomenon stems from the amplified received signal strength resulting from the densification of the network. Moreover, our proposed SIC-PA scheme consistently surpasses alternative approaches in terms of average uplink throughput, underscoring its effectiveness and superiority across diverse AP layout scenarios. Figure 2 demonstrates the average uplink throughput as a function of the number of APs  $M$ , while maintaining  $K = 40$  and  $\tau_p = 30$ . The increase in the number of access points  $M$  contributes significantly to the improvement in the average uplink throughput across all pilot assignment strategies. This enhancement is attributed to the broader macro diversity gain facilitated by a larger AP deployment, which consequently boosts the received signal strength owing to the densification of the network. Additionally, our proposed AP selection algorithm prioritizes APs with higher gains for users as the number of APs increases, leading to an average uplink throughput exceeding that of the Greedy Pilot Assignment (GPA) scheme and the Random Pilot Assignment (RPA) scheme by approximately 1.02 bits/s and 1.04 bits/s, respectively. Furthermore, our proposed SIC-PA scheme consistently outperforms alternative approaches in terms of average uplink throughput. This observation underscores the efficacy and superiority of our scheme, particularly in scenarios characterized by a broad deployment of access points.



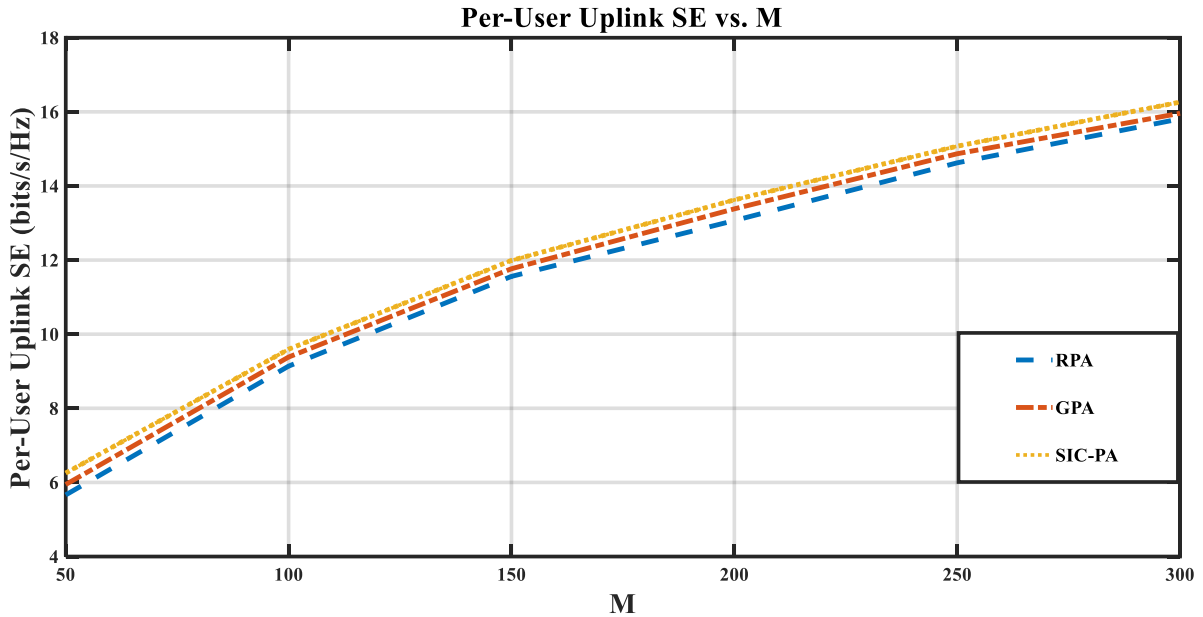


Figure 3. Uplink throughput in relation to the AP count  $M$ .

## V. CONCLUSION

This study delves into the exploration of a novel pilot assignment strategy grounded in SIC to address the pervasive issue of pilot contamination challenges in CF-M-MIMO systems. Through comprehensive numerical analyses and simulations, we have unveiled the substantial benefits and enhanced performance brought forth by the SIC-based strategy, significantly surpassing conventional random and greedy pilot assignment methods.

Our investigation underscores that the employment of the SIC-based pilot assignment approach successfully mitigates the adverse ramifications of pilot contamination, resulting in notable improvements in both system throughput and spectral efficiency. By iteratively decoding signals and canceling interference, the SIC algorithm optimally assigns pilots to users, leading to enhanced data rates and improved utilization of system resources.

Furthermore, our simulations elucidate the robustness and scalability of the SIC-based scheme across varying system parameters and deployment scenarios. The scheme exhibits superior performance in achieving higher spectral efficiency and mitigating interference, particularly in dense wireless environments.

In conclusion, our study underscores the considerable promise of employing the SIC-based pilot assignment scheme to bolster the effectiveness of cell-free massive MIMO systems. This approach emerges as a notable avenue for future investigations and advancements in the realm of wireless communication technologies. The outcomes shed valuable light on an in-depth exploration of the design and optimization of pilot assignment strategies, paving the way for further research and development in this area.

## VI. REFERENCES

- [1] H. Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, "Cell-Free Massive MIMO Versus Small Cells," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 3, pp. 1834–1850, Mar. 2017, doi: 10.1109/TWC.2017.2655515.

- [2] E. Nayebi, A. Ashikhmin, T. L. Marzetta, H. Yang, and B. D. Rao, "Precoding and Power Optimization in Cell-Free Massive MIMO Systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 7, pp. 4445–4459, Jul. 2017, doi: 10.1109/TWC.2017.2698449.
- [3] J. Zhang, E. Bjornson, M. Matthaiou, D. W. K. Ng, H. Yang, and D. J. Love, "Prospective Multiple Antenna Technologies for Beyond 5G," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 38, no. 8, pp. 1637–1660, Aug. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3000826.
- [4] O. Ozdogan, E. Bjornson, and J. Zhang, "Performance of Cell-Free Massive MIMO With Rician Fading and Phase Shifts," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 11, pp. 5299–5315, Nov. 2019, doi: 10.1109/TWC.2019.2935434.
- [5] M. Bashar, K. Cumanan, A. G. Burr, M. Debbah, and H. Q. Ngo, "On the Uplink Max–Min SINR of Cell-Free Massive MIMO Systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 4, pp. 2021–2036, Apr. 2019, doi: 10.1109/TWC.2019.2892463.
- [6] D. Maryopi, M. Bashar, and A. Burr, "On the Uplink Throughput of Zero Forcing in Cell-Free Massive MIMO With Coarse Quantization," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 7, pp. 7220–7224, 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2920070.
- [7] Y. Jin, J. Zhang, S. Jin, and B. Ai, "Channel Estimation for Cell-Free mmWave Massive MIMO Through Deep Learning," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 10, pp. 10325–10329, Oct. 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2937543.
- [8] H. Huang, J. Yang, H. Huang, Y. Song, and G. Gui, "Deep Learning for Super-Resolution Channel Estimation and DOA Estimation Based Massive MIMO System," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 9, pp. 8549–8560, Sep. 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2851783.
- [9] J. Zhang, S. Chen, Y. Lin, J. Zheng, B. Ai, and L. Hanzo, "Cell-free massive MIMO: A new next-generation paradigm," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 99878–99888, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2930208.
- [10] H. Huang, Y. Song, J. Yang, G. Gui, and F. Adachi, "Deep-Learning-Based Millimeter-Wave Massive MIMO for Hybrid Precoding," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 3, pp. 3027–3032, Mar. 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2893928.
- [11] W. Fan, J. Zhang, E. Bjornson, S. Chen, and Z. Zhong, "Performance Analysis of Cell-Free Massive MIMO Over Spatially Correlated Fading Channels," in *ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, IEEE, May 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICC.2019.8762051.
- [12] S. Buzzi, C. D'Andrea, M. Fresia, Y.-P. Zhang, and S. Feng, "Pilot Assignment in Cell-Free Massive MIMO Based on the Hungarian Algorithm," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 34–37, Jan. 2021, doi: 10.1109/LWC.2020.3020003.
- [13] M. Attarifar, A. Abbasfar, and A. Lozano, "Random vs Structured Pilot Assignment in Cell-Free Massive MIMO Wireless Networks," in *2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, IEEE, May 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCW.2018.8403508.
- [14] C. Pan, H. Mehrpouyan, Y. Liu, M. El Kashlan, and N. Arumugam, "Joint Pilot Allocation and Robust Transmission Design for Ultra-Dense User-Centric TDD C-RAN With Imperfect CSI," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 3, pp. 2038–2053, Mar. 2018, doi: 10.1109/TWC.2017.2788001.

- [15] H. Liu, J. Zhang, X. Zhang, A. Kurniawan, T. Juhana, and B. Ai, "Tabu-Search-Based Pilot Assignment for Cell-Free Massive MIMO Systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 2, pp. 2286–2290, Feb. 2020, doi: 10.1109/TVT.2019.2956217.
- [16] W. Zeng, Y. He, B. Li, and S. Wang, "Pilot Assignment for Cell Free Massive MIMO Systems Using a Weighted Graphic Framework," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 70, no. 6, pp. 6190–6194, Jun. 2021, doi: 10.1109/TVT.2021.3076440.
- [17] H. Liu, J. Zhang, S. Jin, and B. Ai, "Graph Coloring Based Pilot Assignment for Cell-Free Massive MIMO Systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 8, pp. 9180–9184, Aug. 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.3000496.
- [18] S. Chen, J. Zhang, E. Bjornson, J. Zhang, and B. Ai, "Structured Massive Access for Scalable Cell-Free Massive MIMO Systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 39, no. 4, pp. 1086–1100, Apr. 2021, doi: 10.1109/JSAC.2020.3018836.
- [19] R. Khan, L. Jan, S. Khan, M. H. Zafar, W. Ahmad, and G. Husnain, "An effective algorithm in uplink massive MIMO systems for pilot decontamination," *Results Eng.*, vol. 21, p. 101873, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.101873.
- [20] A. Misso and M. Kissaka, "Pilot contamination mitigation by pilot assignment and adaptive linear precoding for massive MIMO multi-cell systems," *Telecommun. Syst.*, vol. 85, no. 3, pp. 389–400, Mar. 2024, doi: 10.1007/s11235-023-01093-3.
- [21] A. Misso, "Enhanced resource allocation strategies to improve the spectral efficiency in massive MIMO systems," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.* 2024 111, vol. 11, no. 1, pp. 1–16, Mar. 2024, doi: 10.1186/S43067-023-00132-Y.
- [22] J. Zhang, Y. Wei, E. Bjornson, Y. Han, and S. Jin, "Performance Analysis and Power Control of Cell-Free Massive MIMO Systems with Hardware Impairments," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 55302–55314, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2872715.
- [23] T. H. Nguyen, L. T. Phan, and T. Van Chien, "An efficient location-based pilot assignment in Cell-Free Massive MIMO," *ICT Express*, vol. 9, no. 5, pp. 795–802, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.icte.2022.09.005.
- [24] T. Van Chien, H. Q. Ngo, S. Chatzinotas, M. Di Renzo, and B. Ottersten, "Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Cell-Free Massive MIMO Systems Over Spatially-Correlated Channels," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 21, no. 7, pp. 5106–5128, Jul. 2022, doi: 10.1109/TWC.2021.3136925.
- [25] L. Valentini, M. Chiani, and E. Paolini, "Interference Cancellation Algorithms for Grant-Free Multiple Access With Massive MIMO," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 8, pp. 4665–4677, Aug. 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3277891.
- [26] A. J. Muhammed, H. Chen, A. M. Seid, Z. Han, and Q. Yu, "Energy-Efficient Resource Allocation for NOMA HetNets in Millimeter Wave Communications," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 22, no. 6, pp. 3790–3804, Jun. 2023, doi: 10.1109/TWC.2022.3221469.
- [27] A. Pottier, P.-J. Bouvet, B. Tomasi, and C. Vanwysberghe, "Data Rate Performance of Mobile Multiuser MIMO Underwater Acoustic Communication Systems," *IEEE J. Ocean. Eng.*, pp. 1–12, 2024, doi: 10.1109/JOE.2023.3331774.
- [28] J. Wang, J. Li, P. Zhu, D. Wang, B. Sheng, and X. You, "Adaptive Feedback-Aided Hybrid

Random Access for mURLLC Service Over Cell-Free Networks,” *IEEE Syst. J.*, pp. 1–8, 2024, doi: 10.1109/JSYST.2024.3379281.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## A HRTEM-EDS-SAED Study of Precipitates in Mg-Zn-Zr Alloy

 Ozgur DUYGULU <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Materials Technologies, TUBITAK MAM, Kocaeli,, TURKEY*

\* *Corresponding author's e-mail address: ozgur.duygulu@tubitak.gov.tr*

DOI: 10.29130/dubited.1397327

### ABSTRACT

In this study, aging heat treatment was performed on extruded Mg-Zn-Zr alloy. Aging was performed on as-extruded samples at 180°C for 1-2-4-8 and 24 hours. Microhardness tests were made to obtain the aging curve. Detailed transmission electron microscopy (TEM) examinations such as selected area electron diffraction (SAED), energy dispersive spectrometry (EDS), and high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) were used to investigate the microstructure, second phases, and precipitates. Size, type, and morphologies of second phases and precipitates were studied aided by advanced transmission electron microscopy techniques. With the help of hardness test results peak aged condition was found to be 8 hour aging. TEM examinations were detailed for the 8-hour aged sample. It was observed that the precipitates responsible for age hardening were MgZn<sub>2</sub>. Moreover, the majority of these precipitates were β<sub>1</sub> phase.

**Keywords:** TEM, EDS, SAED, Magnesium alloys, Extrusion, Aging

## Mg-Zn-Zr Alaşımında Çökeltilerin HRTEM-EDS-SAED Çalışması

### ÖZET

Bu çalışmada, ekstrüde edilmiş Mg-Zn-Zr alaşımına yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma, ekstrüzyon sonrası numuneler üzerinde 180°C'de 1-2-4-8 ve 24 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Yaşlanma eğrisinin elde edilmesi için mikrosertlik testleri yapılmıştır. Mikroyapıyı, ikinci fazları ve çökeltileri araştırmak için seçili alan elektron kırınımı (SAED), enerji dağılım spektrometrisi (EDS) ve yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu (HRTEM) gibi ayrıntılı geçirimli elektron mikroskobu (TEM) incelemeleri kullanılmıştır. İkinci fazların ve çökeltilerin boyut, tip ve morfolojileri ileri geçirimli elektron mikroskobu teknikleri desteğiyle incelenmiştir. Sertlik sonuçları yardımı ile pik yaşlanma noktasının 8-saat yaşlanma olduğu bulunmuştur. TEM incelemeleri 8-saat yaşlanma numunesinde detaylandırılmıştır. Yaşlanma sertleşmesinden sorumlu çökeltilerin MgZn<sub>2</sub> olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çökeltilerin çoğu β<sub>1</sub> fazıdır.

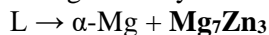
**Anahtar Kelimeler:** TEM, EDS, SAED, Magnezyum alaşımları, Ekstrüzyon, Yaşlandırma

# I. INTRODUCTION

Magnesium alloys, the lightest structural metal alloys, hold significant potential for diverse applications, including automotive, aerospace, defense, and electronic components [1-5]. Traditionally, these parts are mostly made out of cast magnesium alloys. Using wrought magnesium alloys is very limited due to poor cold workability [5]. Another main reason for this is the limited precipitation hardening of wrought magnesium alloys. Wrought magnesium alloys may not match the mechanical properties of wrought aluminum alloys which are precipitation hardenable [4]. Moreover, there are a few industrially available precipitation hardenable magnesium alloys [1-5]. Magnesium-Zinc alloy system is one of the first wrought magnesium alloys that was studied for precipitation hardening. In magnesium alloys zinc element is used for precipitation hardener and increases strength at room temperature [4]. It is also known that magnesium-zinc alloys are generally precipitation-hardened at a temperature range of 120 to 200°C [6]. There are also studies to reduce the aging temperature of these alloys [7]. To understand the age hardening response of Mg-Zn alloys we need to know the phases that are formed during production and the heat treatments.

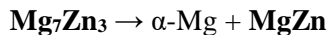
According to the phase diagram of Mg-Zn, five intermetallic phases are observed:  $\text{Mg}_7\text{Zn}_3$  (or  $\text{Mg}_{51}\text{Zn}_{20}$ ),  $\text{MgZn}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Zn}_3$  (or  $\text{Mg}_4\text{Zn}_7$ ),  $\text{MgZn}_2$  and  $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$  [1-2, 8]. Solubility limit of Zn is 2.4 wt.% (6.2 at.%) [4].

In Mg-Zn alloys eutectic reaction formula is:



The  $\text{Mg}_7\text{Zn}_3$  (also known as  $\text{Mg}_{51}\text{Zn}_{20}$ ) phase is body centered orthorhombic (space group: Immm,  $a = 1.408$  nm,  $b = 1.449$  nm, and  $c = 1.403$  nm). This phase is thermodynamically stable above 598K (325°C) [8-9].

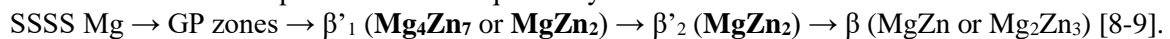
Below and at 598K an eutectoid reaction occurs:



$\text{MgZn}$  intermetallic has base-centered monoclinic crystal structure with lattice parameters:  $a = 1.610$  nm,  $b = 2.579$  nm,  $c = 0.880$  nm and  $\beta = 112.4$  deg. [8-9].

Below 598K with heat treatments  $\text{Mg}_7\text{Zn}_3$  may also change to divorced lamellar structure of  $\alpha\text{-Mg}$  and  $\text{Mg}_4\text{Zn}_7$ . Metastable  $\text{Mg}_4\text{Zn}_7$  phase is base-centered monoclinic (space group: B/2m,  $a = 2.596$  nm,  $b = 1.428$  nm,  $c = 0.524$  nm and  $\gamma = 102.5$  deg) [9].

Age hardening of magnesium alloys are generally complex and difficult to understand. Transmission electron microscopy is an unique technique for the investigations of precipitates responsible from age hardening. A series of phase transformations involve in aging of Mg-Zn alloys. The isothermal aging between 120 to 200°C products occur sequentially as:

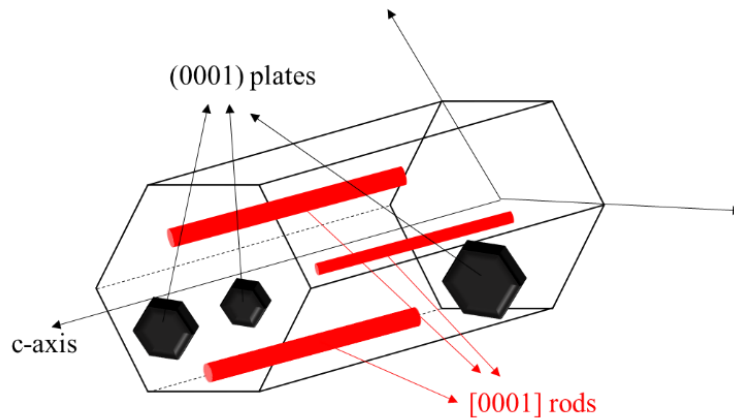


The GP zones generally have two types: GP1 and GP2. GP1 zone plates occur below 60°C on {11-20}. GP2 zones are observed below 80°C as oblate spheroids on (0001) planes. GP zones are known to be coherent [9].

Peak aging forms mainly coherent rod-like  $\beta'_1$  which grows parallel to  $[0001]_\alpha$  or c-axis direction. When the peak aged condition is passed,  $\beta'_2$  increases in sacrifice of  $\beta'_1$  with time [10].  $\beta'_1$  rods are believed to be typically  $\text{Mg}_4\text{Zn}_7$  or  $\text{MgZn}_2$ .  $\text{MgZn}_2$  is a HCP structure ( $a = 0.520$  nm,  $c = 0.857$  nm).  $\text{Mg}_4\text{Zn}_7$  is base-centered monoclinic structure ( $a = 2.596$  nm,  $b = 1.428$  nm,  $c = 0.524$  nm and  $\gamma = 102.5^\circ$ ). Orientation relationship (OR) between  $\beta'_1\text{-Mg}_4\text{Zn}_7$  and magnesium matrix is as follows:  $[001]_{\beta'_1\text{-Mg}_4\text{Zn}_7} // [0001]_\alpha$  and  $(630)_{\beta'_1\text{-Mg}_4\text{Zn}_7} // (01-10)_\alpha$  [9]. On the other hand, orientation relationship between  $\beta'_1\text{-MgZn}_2$  rod and Mg matrix is  $[0001]_{\beta'_1\text{-MgZn}_2} // [11-20]_\alpha$  and  $(11-20)_{\beta'_1\text{-MgZn}_2} // (0001)_\alpha$ . [6, 8-9, 11-12].

Semi-coherent  $\beta'_2$  precipitate is  $\text{MgZn}_2$  with several shapes and ORs.  $\beta'_2$  may form as hexagon-shaped parallel to (0001). These are called (0001) plates. OR of these plates is:  $(0001)_{\beta'_2\text{-MgZn}_2} // (0001)_\alpha$  and  $[11-20]_{\beta'_2\text{-MgZn}_2} // [10-10]_\alpha$ . [9]. Another type of  $\beta'_2$  -  $\text{MgZn}_2$  is rod or lath shaped. Orientation relationship between laths and magnesium is  $[11-20]_{\beta'_2} // [0001]_\alpha$  and  $(0001)_{\beta'_2} // (11-20)_\alpha$ . These laths are oriented approximately  $6^\circ$  to  $\{10-10\}$  plane of magnesium matrix [9-11].

Generally,  $\beta_1'$  forms as  $[0001]_\alpha$  rods, whereas the metastable phase  $\beta_2'$  forms as  $(0001)_\alpha$  plates or discs [9, 12]. These rods and plates are given in Figure 1 schematically. It is also found that some plate precipitates may contain both  $\text{Mg}_4\text{Zn}_7$  and  $\text{MgZn}_2$  [13].



**Figure 1.** Schematic representation of  $[0001]$  rods and  $(0001)$  plates inside magnesium hexagonal prism.

$\beta$  ( $\text{MgZn}$  or  $\text{Mg}_2\text{Zn}_3$ ) phase is stated to be incoherent and generally has irregular shapes. It is trigonal ( $a = 1.724$  nm,  $b = 1.445$  nm,  $c = 0.52$  nm and  $\gamma = 138^\circ$ ) [14].

Undissolved Mg-Zn(Zr) phase may also be observed. The Mg-Zn(Zr) phase is insensitive to heat treatment and is known to be a stable phase [15].

One of the industrially available commercial Mg-Zn alloy is Mg ZK60 (Mg-5.5Zn-0.5Zr) alloy. The ZK60 alloys has zirconium element which is well known grain refiner [4]. Alloy ZK60 has high strength (340-350 MPa) depending on the production technique and aging condition. It has one of the highest yield strength (285 MPa) among wrought magnesium alloys at ambient temperatures. Additionally this alloy has low tensile-compression asymmetry. Mg ZK60 alloys have good ductility at around 12-16% El. [1-5]. Due to these properties ZK60 magnesium alloys are used for defense applications such as ballistic, aircrafts, helicopters, and personnel carriers [13]. Mg ZK alloys can be produced both by extrusion and also forging methods [1-5].

In this study, commercial Mg ZK60 alloy is studied in the extruded condition. Age hardening response of Mg ZK60 alloy billet was investigated. Detailed transmission electron microscopy techniques were used. The results of this study may be also helpful for other Mg-Zn based alloys such as Mg-Zn-Zr, Mg-Zn-Cu, Mg-Zn-RE, Mg-Zn-Sn, Mg-Zn-Ag, Mg-Zn-Zr-RE, Mg-Zn-Y, Mg-Zn-Y-Ca, Mg-Zn-Ca and Mg-Zn-Ca-RE alloys [16-17].

## **II. EXPERIMENTAL PROCEDURE**

### **A. PROCESS**

In this study, aging heat treatment was performed on extruded Mg-Zn-Zr alloy. Aging was performed on as-extruded samples at 180°C for 1-2-4-8 and 24 hours.

#### **A. 1. Material**

Commercial extruded Mg ZK60 Alloy (Mg-5.5Zn-0.5Zr) billet was used. Chemical composition of the Mg ZK60 alloy investigated in the present study is given in Table 1.

*Table 1. Chemical composition of the Mg ZK60 alloy investigated in the present study.*

Zn	Zr	Fe	Si	Cu	Ni
5.52	0.48	0.0120	0.0150	0.0004	0.0001

#### **A. 2. Aging**

Aging was performed on as-extruded samples. Aging temperature was chosen as 180°C and aging times were 1-2-4-8 and 24 hours.

### **B. CHARACTERIZATION**

#### **B. 1. Microhardness Test**

Vickers microhardness measurements were performed with a 5 kg applied load with a Qness Q10 A+ device. For each sample hardness values were calculated from average of 5 test readings.

#### **B. 2. Transmission Electron Microscopy**

For transmission electron microscopy (TEM) studies, specimens were cut to a thickness of around 300  $\mu\text{m}$  with Struers Minitom low speed diamond saw. 3 mm diameter discs were punched and ground to a thickness less than 80  $\mu\text{m}$ . Punched specimens were dimple ground with Gatan 656 Dimple Grinder. The center of the specimen was thinned down to 15  $\mu\text{m}$ . Specimens were ion milled with Gatan 691 Precision Ion Polishing System (PIPS). Ion polishing was applied first at 5 kV at an angle of  $\pm 8^\circ$  and when it was perforated at 4kV, 3kV and finally at 2kV at an angle of  $\pm 8^\circ$  for 1-2 hours each.

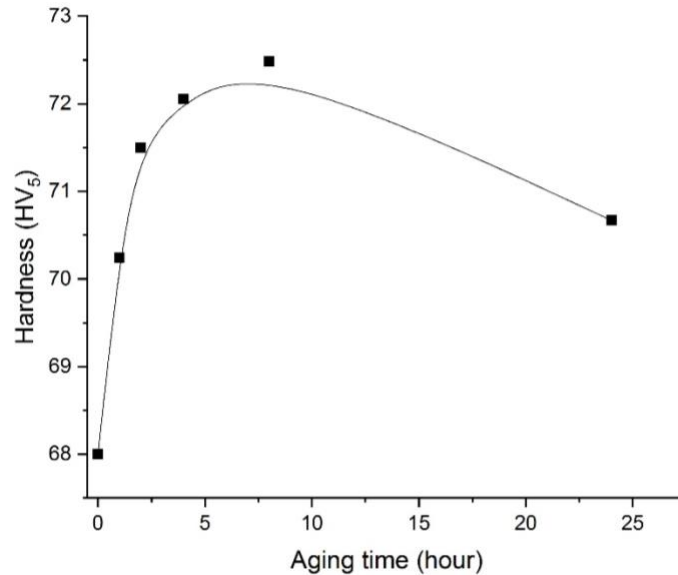
The foils were examined with a JEOL JEM 2100 HRTEM (high resolution transmission electron microscope) with a LaB<sub>6</sub> filament operated at 200 kV and equipped with an Oxford Instruments X-MaxN 80 T with Energy Dispersive Spectrometry (EDS) system. TEM and diffraction patterns were imaged with Gatan Model 833 Orius SC200D CCD side Camera. HRTEM images were taken by Gatan Model Model 794 Slow Scan CCD Camera. JEOL 31630 side entry double tilt holder and JEOL 21010 single tilt holder were used.

TEM Dark Field (DF), Bright Field (BF), Selected Area Electron Diffraction (SAED), HRTEM and Energy Dispersive Spectrometry (EDS) techniques were used to investigate the microstructure. Gatan Microscopy Suite 2 software analyzed the images. EDS analysis was performed by Oxford INCA software. For diffraction pattern analysis and crystallography purposes CrystBox software was used [18]. For crystallography and d-spacing calculations ICSD (Inorganic Crystal Structure Database) PDF numbers were 35-821 for Mg, 34-0457 for MgZn<sub>2</sub> and 01-1185 for Mg<sub>4</sub>Zn<sub>7</sub>.



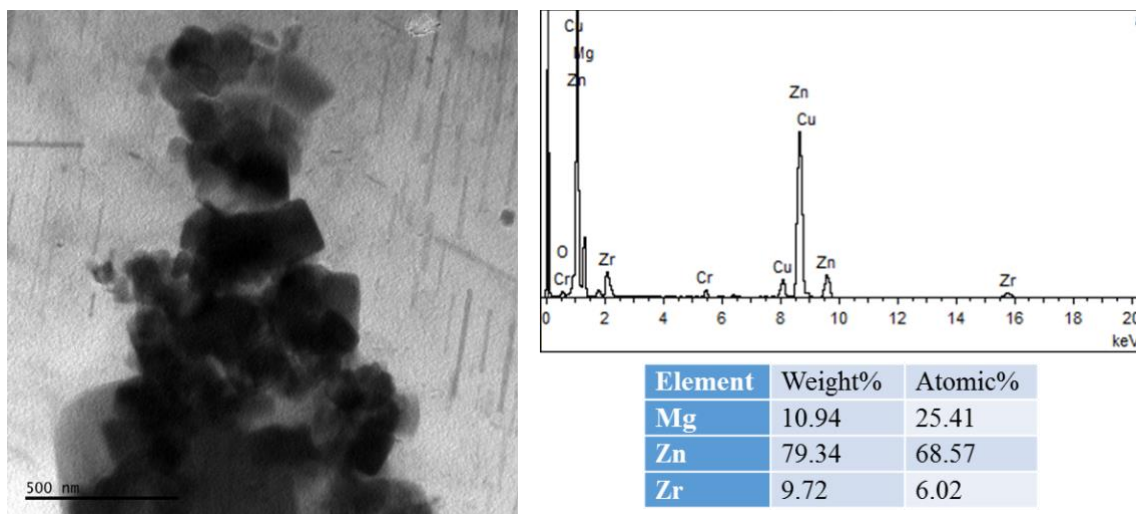
### III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Age hardening curve was plotted (Figure 2) from the microhardness test results. It was observed that hardness increased from as-extruded value of 68 HV to a peak aging value of 72.5 HV at around 8 hour. This corresponds to 6.6% increase. Then hardness decreased to 70.5 HV at 24 hour. Therefore 8 hour can be named as peak aged and 24 hour as over-aged condition. Since in this study the aim is to understand hardening behavior of Mg ZK60 alloy, 8 hour (peak aged) sample was chosen for detailed transmission electron microscopy investigations.



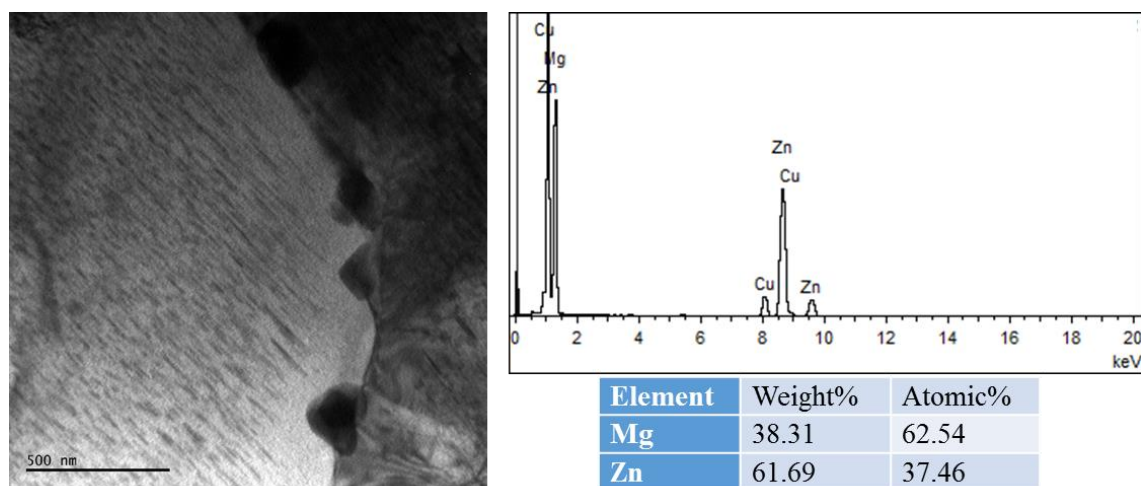
*Figure 2. Age hardening curve of Mg ZK60 alloy at 180°C.*

Transmission electron microscopy investigations were first performed on the starting material which is as-extruded specimens. As-extruded sample had sub-micron second phases. In Figure 3 TEM image, TEM-EDS spectrum and EDS results of agglomeration of sub-micron second phases in as-extruded sample are given. TEM-EDS showed high amount of zinc element and some zirconium element. In the background some precipitates are also seen.



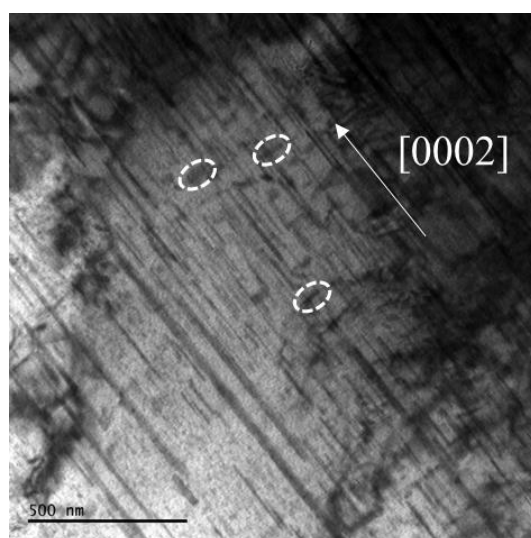
*Figure 3. Transmission electron microscopy image, TEM-EDS spectrum and EDS results of agglomeration of sub-micron second phases in Mg ZK60 as-extruded sample.*

Detailed TEM examinations on peak aged sample showed different kinds of second phases. First type of second phases was sub-micron sized and irregular shaped particles. Low magnification transmission electron microscopy image and corresponding TEM-EDS spectrum and EDS results of sub-micron second phases in 8-hour sample are given in Figure 4. These particles are observed on the grain boundary. Since TEM-EDS gave Mg-Zn elements these particles can be called as “blocky” MgZn<sub>2</sub> type particles. Similar particles were also observed by several researchers [6, 7, 14, 15, 19]. In Figure 4, on the left side of the grain boundary a high density of rod shaped up to 200 nm length precipitates are also observed.



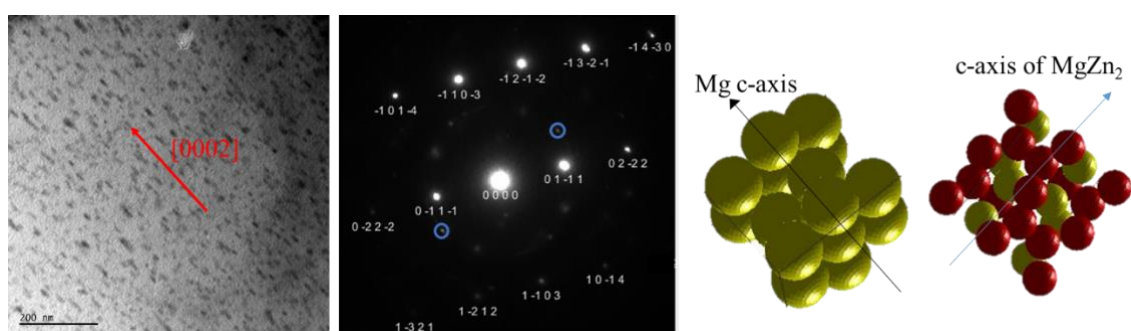
**Figure 4.** TEM image, TEM-EDS spectrum and EDS results of sub-micron second phases in 8-hour sample.

Another low magnification TEM image is given in Figure 5 for the peak-aged sample. Here rod type precipitates oriented parallel to [0002] axis of magnesium are seen clearly. Length of some of these precipitates are as high as 1  $\mu\text{m}$ . Other than general observation of the microstructure, in this Figure a few plate type precipitates (inside white circles) perpendicular to [0002] direction were also found. It can be stated that rod type precipitates are  $\beta'_1$  - MgZn<sub>2</sub> and perpendicular plates are  $\beta'_2$  - MgZn<sub>2</sub>. To see both type of precipitates is more common in over aged samples where size and number of the plate type precipitates increases and become extensive [6,9,10]. However in some studies observation of both rods and plates at the same time at the peak aged Mg-Zn alloys was also possible [10,14].



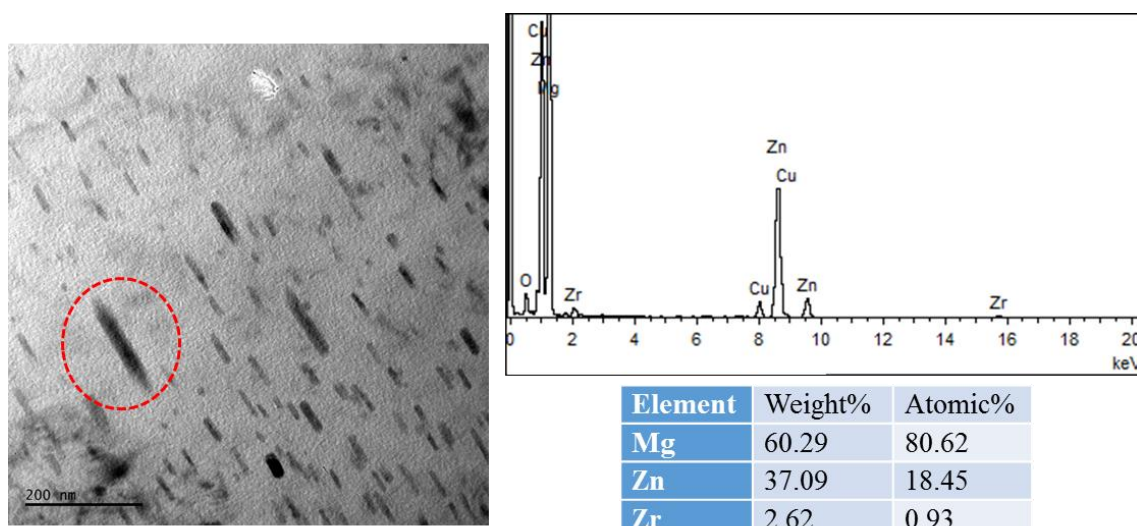
**Figure 5.** Rod type precipitates oriented parallel to [0002] axis of magnesium and plate type precipitates (inside white circles) perpendicular direction in peak aged sample.

Rod type precipitates oriented parallel to [0002] axis of magnesium were also observed in another part of the 8-hour TEM sample. Corresponding SAED, indexation for magnesium matrix, and hexagonal prism directions of magnesium and MgZn<sub>2</sub> precipitates were also given in Figure 6. The SAED indexation and directions were performed with the help of CrystBox software [18]. In the diffraction pattern the spots inside blue circles gave a d-spacing of 0.21 nm which matches pretty good with d-0004 of MgZn<sub>2</sub>. It is found that zone axis of the SAED is [-7253] of Mg. Even if it is a high index zone axis, it was possible to get the directions of hexagonal prisms of magnesium and MgZn<sub>2</sub> precipitates. [0002] directions or c-axis of magnesium and MgZn<sub>2</sub> are perpendicular to each other. Since all precipitates are oriented in one direction, it can be stated that there is only a single phase. It is known that orientation relationship between β'<sub>1</sub> - MgZn<sub>2</sub> rod and Mg matrix is [0001]<sub>β'<sub>1</sub>-MgZn<sub>2</sub></sub> // [11-20]<sub>α</sub>. [6,8,9,111]. In our case since c-axis of magnesium is perpendicular to c-axis of MgZn<sub>2</sub> this given orientation relationship is matched. Therefore these precipitates are most probably β'<sub>1</sub> - MgZn<sub>2</sub> rods.



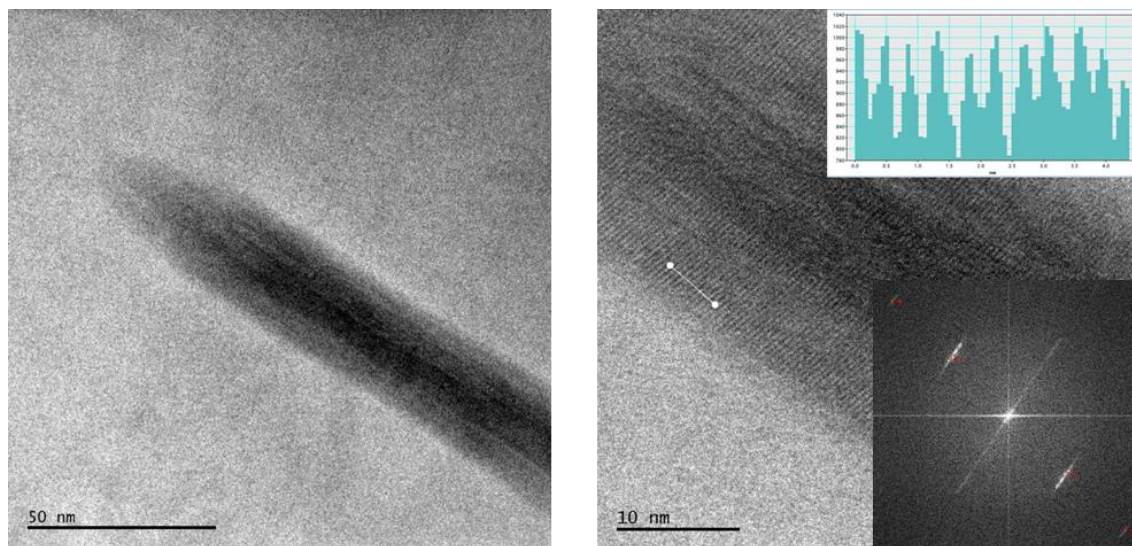
**Figure 6.** TEM image of rod type precipitates, corresponding SAED and hexagonal prism directions of magnesium and MgZn<sub>2</sub> precipitates in 8-hour TEM sample.

In Figure 7, TEM image, TEM-EDS spectrum and EDS results of rod shaped precipitate as shown inside red circle in peak-aged sample are given. Since one of the large precipitate was chosen for nano analysis high counts could be achieved. TEM-EDS gave Zr addition to Zn element. Most studies were performed on Mg-Zn alloys; and TEM, HRTEM or SAED techniques were used. There is very limited TEM-EDS studies on Mg-Zn-Zr alloys. EDS were mostly done on larger particles. Therefore, to our knowledge observation of Zr element in the nano sized rod type precipitates of Mg-Zn-Zr alloy is missing in the literature.



**Figure 7.** TEM image, TEM-EDS spectrum and EDS results of rod shaped precipitate as shown inside red circle in peak-aged sample.

HRTEM images, FFT (Fast Fourier Transformation) of HRTEM image and d-spacing measurements of the precipitate red circled in Figure 7 are given in Figure 8. Measurements were done with the help of Gatan Microscopy Suite (GMS) 2 software. The measured d-spacing from both atomic lattice and FFT was 0.43 nm which was a good match with  $\text{MgZn}_2$  phase. It can be said that zirconium element in the rod type precipitate does not change the d-spacing of  $\text{MgZn}_2$  significantly.



**Figure 8.** HRTEM images, FFT image and d-spacing measurements of the circled precipitate in Figure 7.

## **IV. CONCLUSIONS**

In this study, the hardening behavior of extruded Mg ZK60 (Mg-5.5Zn-0.5Zr) alloy was studied. From the hardening curve obtained with the hardness test, 8-hour (peak aged) sample was chosen for detailed transmission electron microscopy investigations. TEM examinations performed were selected area electron diffraction (SAED), energy dispersive spectrometry (EDS), and high resolution transmission electron microscopy (HRTEM).

Several types, sizes, and morphology of second phases were observed during TEM-EDS-SAED examinations. Sub-micron second phase particles containing Zn and Zr elements were found in the Mg ZK60 as-extruded sample. In the peak-aged sample “blocky”  $\text{MgZn}_2$ -type particles were also seen at some grain boundaries. The dominant phase was rod-type precipitates oriented parallel to [0002] axis of the magnesium matrix. It is stated that these rod-type precipitates are  $\beta'_1$  -  $\text{MgZn}_2$  phase responsible for hardening. In rare places,  $\beta'_2$  -  $\text{MgZn}_2$  phase were also observed as plates or discs especially perpendicular to  $\beta'_1$  -  $\text{MgZn}_2$  rods.

High resolution transmission electron microscopy (HRTEM) investigations on rod type precipitates showed that the measured d-spacing from both atomic lattice and FFT was a good match with  $\text{MgZn}_2$  phase. Since it was possible to get energy dispersive spectrometry (EDS) results on that specific precipitate and Zr element is found, it can be concluded that the precipitates observed in Mg-Zn-Zr alloys may have not only Mg-Zn precipitates, but also Mg-Zn-Zr precipitates.

## **V. REFERENCES**

- [1] M. M. Avedesian, and H. Baker, *Magnesium and magnesium alloys, ASM Specialty Handbook*, Ohio, 1999.
- [2] E.F. Emley, *Principles of magnesium technology*, Pergamon, Oxford, 1966.
- [3] H. E. Friedrich and B. L. Mordike, *Magnesium technology*, Vol. 212, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [4] I. J. Polmear, *Light alloys, metallurgy of the light elements*, Arnold, London, 2006.
- [5] K.U. Kainer and F. V. Buch, *The current state of technology and potential for further development of magnesium applications, Magnesium Alloys and Technology*, Wiley-VCH, 2003.
- [6] X. Gao and J. F. Nie, “Characterization of strengthening precipitate phases in a Mg–Zn alloy,” *Scr. Mater.*, vol. 56, no. 8, pp. 645–648, 2007.
- [7] J. Buha, “Reduced temperature (22–100 °C) ageing of an Mg–Zn alloy,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 492, no. 1–2, pp. 11–19, 2008.
- [8] X. Gao and J. F. Nie, “Structure and thermal stability of primary intermetallic particles in an Mg–Zn casting alloy,” *Scr. Mater.*, vol. 57, no. 7, pp. 655–658, 2007.
- [9] J. F. Nie, “Precipitation and hardening in magnesium alloys,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 43, no. 11, pp. 3891–3939, 2012.
- [10] L. Y. Wei, G. L. Dunlop, and H. Westengen, “Precipitation Hardening of Mg–Zn and Mg–Zn–RE alloys,” *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 26, no. 7, pp. 1705–1716, 1995.
- [11] Z. Z. Shi, H. T. Chen, K. Zhang, F. Z. Dai, and X. F. Liu, “Crystallography of precipitates in Mg alloys,” *J. Magnes. Alloy.*, vol. 9, no. 2, pp. 416–431, 2021.
- [12] Y. Yang, S. Yang, and L. Jiang, “Study on the microstructural characteristics of adiabatic shear band in solid-solution treated ZK60 magnesium alloy,” *Mater. Charact.*, vol. 156, no. July, p. 109840, 2019.
- [13] H. Chen, T. Liu, Y. Zhang, B. Song, D. Hou, and F. Pan, “The yield asymmetry and precipitation behavior of pre-twinned ZK60 alloy,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 652, pp. 167–174, 2016.
- [14] Y. Yang, Z. Wang, and L. Jiang, “Evolution of precipitates in ZK60 magnesium alloy during high strain rate deformation,” *J. Alloys Compd.*, vol. 705, pp. 566–571, 2017.
- [15] Z. Wang *et al.*, “Effect of aging-treatment on dynamic compression behaviour and microstructure of ZK60 alloy,” *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, vol. 37, no. 13, pp. 1117–1128, 2021.
- [16] A. Gorny and A. Katsman, “Precipitation- and stress-influenced coarsening in Mg-based Mg–Zn–Sn–Y and Mg–Zn–Sn–Sb alloys,” *J. Mater. Res.*, vol. 23, no. 5, pp. 1228–1236, 2008.
- [17] C. Hou *et al.*, “Aging hardening and precipitate behavior of a solution-treated Mg–6Zn–4Sn–1Mn (wt.%) wrought Mg alloy,” *J. Alloys Compd.*, vol. 889, p. 161640, 2022.

[18] M. Klinger. CrysTBox - Crystallographic Toolbox. Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, 2015. ISBN 978-80-905962-3-8. URL <http://www.fzu.cz/~klinger/crystbox.pdf>

[19] J. Tang, L. Chen, Z. Li, G. Zhao, and C. Zhang, "Formation of abnormal coarse grains and its effects on corrosion behaviors of solution treated ZK60 Mg alloy," *Corros. Sci.*, vol. 180, no. September 2020, p. 109201, 2021.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Evaluation of Industrial Poly(tert-butyl acrylate)-(PtBA) as Insulator Layer in p-Channel Organic Field Effect Transistor-(p-OFET): Fabrication and Electrical Characterization of PtBA-p-OFET

Ahmet DEMİR<sup>a,\*</sup>, Ahmad badreddin MUSATAT<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Physics, Faculty of Faculty of Arts & Sciences, Düzce University, Düzce, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Chemistry, Faculty of science, Sakarya University, Sakarya, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: ahmetdemir@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1460355

### ABSTRACT

Poly(tert-butyl acrylate) (PtB-p-A) has been investigated as a promising insulator layer for p-channel organic field effect transistors (p-OFETs) using the p-type semiconductor Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) due to its favorable insulating properties, good film-forming ability and electrical charge separation properties. Top-gate, bottom-contact PtBA-p-OFET devices are fabricated with Indium Thin Oxide (ITO) source/drain electrodes and a P3HT organic semiconductor layer. The frequency-dependent capacitance of the PTBA-p-OFETs was studied through a plot to determine the key parameters, including the threshold voltage ( $V_{Th}$ ), field-effect mobility ( $\mu_{FET}$ ), and the current on/off ratio ( $I_{on/off}$ ) of the device. The PTB-p- OFETs exhibit field-effect mobility value of  $6.13 \times 10^{-4}$  ( $\text{cm}^2/\text{V.s}$ ), an on/off current ratio of  $1.11 \times 10^2$ , and a threshold voltage of  $-15.8$  V. The capacitance-frequency characteristics of the capacitor structure were analyzed and found to have as  $7.6$  nF/ $\text{cm}^2$  per unit area. This work presents PTBA as a promising for high-performance p-OFET applications.

**Keywords:** Industrial PtBA, Effective Capacitance, and Mobility, PtBA-p-OFET.

## Endüstriyel Poli(tert-butil akrilat)-(PtBA)'nın p-Kanal Organik Alan Etkili Transistör-(p-OFET)'de Yalıtkan Katman Olarak Değerlendirilmesi: PtBA-p-OFET'in Üretimi ve Elektriksel Karakterizasyonu

### ÖZET

Poli(ters-bütül akrilat) (PTB-p-A), üst-kapı, alt-kontakt tipinde üretilen p-kanal organik alan etkili transistörlerde (p-OFET'lerde) p-tipi yarı iletken olan Poli(3-hekzil tiöfen-2,5-diil) (P3HT)'nin kullanılmasıyla izolatör katman olarak araştırılmıştır. Bunun sebebi, PTBA'nın olumlu izolatör özellikleri, iyi film oluşturma yeteneği ve elektrik yükü ayırma özellikleridir. İndiyum kalay oksit (İTO) kaynak/oluk elektrodları ve P3HT organik yarı iletken tabakası kullanılarak PTBA-p-OFET cihazları üretilmiştir. PTBA-p-OFET'lerin frekans bağımlı kapasitesi, eşik gerilimi ( $V_{Th}$ ), alan etkili hareketliliği ( $\mu_{FET}$ ) ve akım aç/kapat oranı ( $I_{on/off}$ ) gibi ana parametreleri belirlemek için karakteristik grafikler çizilmiştir. PTB-p- OFET'ler  $6,13 \times 10^{-4}$  ( $\text{cm}^2/\text{V.s}$ ) değerinde alan etkili hareketliliği,  $1,11 \times 10^2$  akım aç/kapat oranı ve  $-15,8$  V eşik gerilimine sahiptir. Kondansatör yapısının kapasite-frekans özellikleri incelenmiş ve birim alan başına  $7,6$  nF/ $\text{cm}^2$  olduğu bulunmuştur. Bu çalışma, PtBA'nın yüksek performanslı p-OFET uygulamaları için umut verici bir malzeme olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel PtBA, Etkili Kapasite ve Hareketlilik, PtBA-p-OFET.

# **I. INTRODUCTION**

Organic field effect transistors (OFETs) have emerged as a cornerstone technology for the development of flexible and bendable electronics, offering a promising alternative to conventional inorganic semiconductors. The pursuit of easily processable and manufacturable p-channel OFETs is driven by the need for complementary logic circuits that require both p-type and n-type transistors for efficient operation. Despite significant advances in p-type materials, n-channel OFETs have faced challenges in achieving comparable levels of charge carrier mobility, stability and processability [1]–[5]. The use of organic materials with high charge carrier mobility plays a crucial role in improving the performance of organic field effect transistors (OFETs). However, various strategies such as partial chemical doping can potentially contribute to improving charge mobility in OFETs [6]–[8]. To overcome low charge mobility, a wide variety of organic materials have been investigated in recent years for incorporation into the dielectric and semiconductor layers of OFETs [9]. Organic polymeric semiconductor materials are primarily intended to display good solubility in organic solvents. Significant research efforts have been devoted to the search for novel  $\pi$ -conjugated molecules to achieve high charge carrier mobility in OFETs [10]. Among  $\pi$ -conjugated materials, poly(3-hexylthiophene) (P3HT) polymer has emerged as one of the most important and widely used materials in OFETs as a p-type organic semiconductor that serves as an active layer material in organic electronics research due to its relatively good charge carrier mobility. Therefore, most semiconductor and photonic devices require thin-film deposition of organic materials. For the performance of OFETs, semiconductor materials must also be used in combination with a compatible insulator material. Another promising insulator material that is compatible with such a p-type semiconductor such as P3HT is PtBA [11]. Furthermore, the performance of organic electronic devices using a compliant insulator and organic semiconductors together is mainly determined by the charge transport mobility ( $\mu$ ), threshold voltage ( $V_{Th}$ ) and current on/off ratio ( $I_{on/off}$ ) and charge transfer, which is the key property that drives the performance of the devices [12]–[16].

On the other hand, Poly(tert-butyl acrylate) is an insulator polymer with a wide band gap, soluble in organic solvents and well compatible with p-type semiconductors [17]. PTBA is also known for its excellent film-forming abilities, chemical resistance, and thermal stability, which are essential characteristics for the insulating layers in OFETs [18]. The evaluation of PTBA in OFETs is particularly interesting as it opens up possibilities to improve device performance through materials engineering. Previous studies have extensively investigated device behavior in thin-film transistors with enhanced hole mobility by mixing diF-TES with ADT, with a percolation threshold of 39 wt%, and in air-stable PTBA-based transistors [19], [20] [18,19], also by the role of film crystallinity [21], while others correlated the phase behavior of PtBA films with field effect mobility [22]. However, the bulky tert-butyl groups bend the polymer backbone, helping to form dipoles throughout the material due to the steric hindrance caused by the tert-butyl moiety, which may affect chain packing and aromatic  $\pi$  stacking [23]. Additionally, the substituents provide steric protection of the conjugated backbone, giving PTBA-p good environmental, thermal and air stability suitable for practical applications [24]. Collectively, these studies highlight the potential of PTBA films to improve the field-effect mobility and stability of thin-film transistors due to their strong anisotropy. At the same time, PTBA exhibits a broadband optical absorption from UV to visible wavelengths due to its energy levels [25], [26]. The development of PtBA-based p-channel OFETs (PtBA-p-OFETs) represents an important step forward in the field of organic electronics. The flexibility, tunability and solution-processability of conjugated polymers make them ideal candidates for various electronic devices. This research paper aims to explore recent advances in PtBA-p -OFETs, focusing on the potential applications of PtBA in organic electronic devices. By addressing critical aspects of charge carrier mobility, stability and manufacturability, we aim to highlight the progress made towards the commercialization of p-channel industrial polymer-based organic semiconductor devices and their integration into next-generation electronic devices.



## II. Experimental

Experimentally, commercially available pre-patterned indium tin oxide (ITO) substrates were employed as source/drain contacts, and a poly(3,4-ethylenedioxythiophene):polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) composite formulation was utilized as the gate electrode for fabricating organic field-effect transistor (OFET) devices with a PtBA insulator, the molecular shape of which is shown in Figure-1.

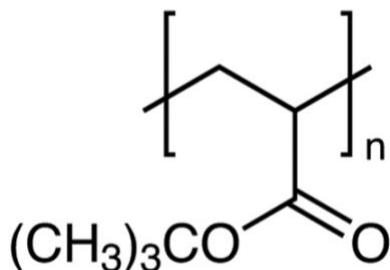


Fig 1. The molecular shape of PtBA.

The pre-patterned substrates underwent a sequential cleaning process, involving ultrasonic deionized water baths, acetone, and ethanol treatments. A final cleaning step with isopropyl alcohol was performed, followed by drying with inert nitrogen gas. Poly(3-hexylthiophene) (P3HT), whose molecular shape is given in Figure-2 and dissolved in chlorobenzene at a concentration of 10 mg/mL, was then used to form an active layer on pre-patterned substrates by spin coating at 3000 rpm for 60 seconds.

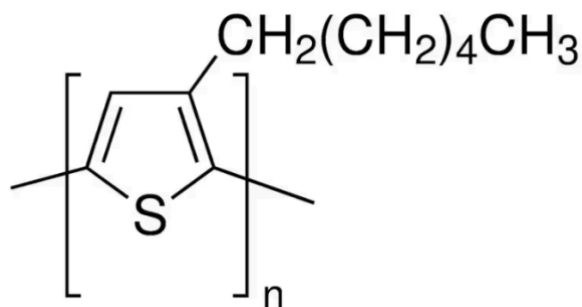
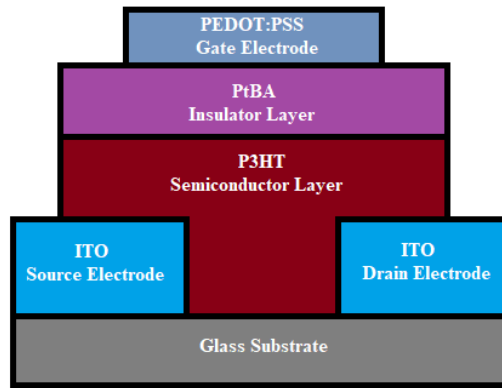


Fig 2. The molecular shape of P3HT.

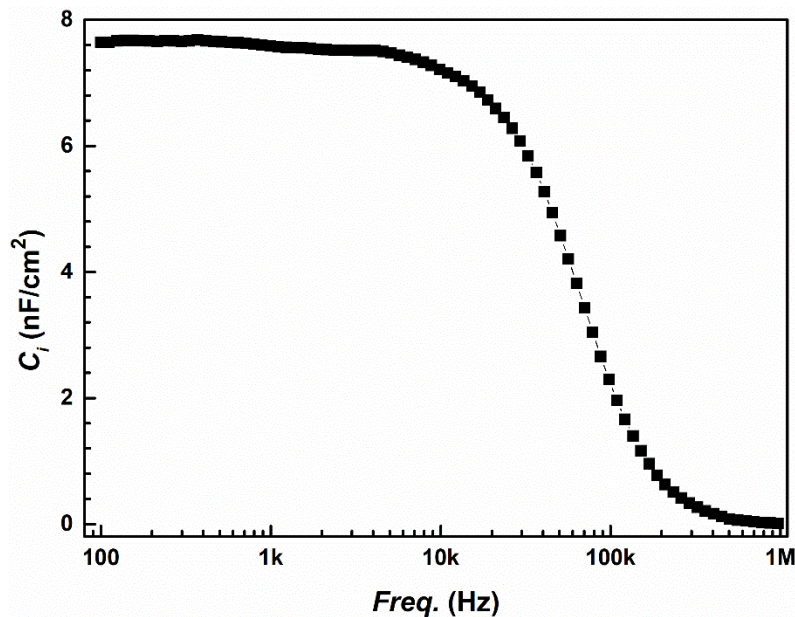
The films were then annealed at 150°C for 60 seconds on a hot plate to remove solvents. The PtBA polymer insulator material, dissolved in Butanone (20 mg/mL), was spin-coated onto the active layer at 1500 rpm for 60 seconds, forming an insulator layer. The film was also annealed at 120°C for 60 seconds on a hot plate. Finally, the PEDOT:PSS composite formulation, functioning as the gate electrode, was spin-coated on the insulator layer at 1000 rpm for 30 seconds, completing the OFET device construction with PtBA insulator as shown in Figure-3. The fabricated OFET devices were vacuumed to remove the dimethyl sulfoxide (DMSO) solvent from the PEDOT:PSS composite formulation, preparing them for evaluation. A Keithley 2612B source measure unit (SMU) instrument, along with an OFET test board, was utilized to investigate the current-voltage (I-V) characteristics of the OFET devices. The gate-source voltage ( $V_{GS}$ ) was varied in intervals of 0V to -80 V, while the drain-source voltage ( $V_{DS}$ ) was swept over a range of 0 to -60 V. Additionally, the capacitance-frequency ( $C_i-f$ ) characteristics for the PtBA-based OFET devices were measured using a GW Instek 8105 LCR meter. Entire measurements were conducted in the dark at room temperature.



*Fig 3.* The schematic representation of the completed PtBA-p-OFET device.

### III. Results and Discussion

The capacitance of the PEDOT:PSS/PtBA/P3HT/ITO (PtBA-p-OFET device) structure was measured at frequencies ranging from 100 Hz to 1 MHz to assess the device's mobility. Figure 4 shows the frequency-dependent capacitance characteristics of the PtBA-p-OFET. Clearly, the capacitance of PtBA was measured as 7.6 nF/cm<sup>2</sup> per unit area. In organic field-effect transistors which rely on a capacitive effect for operation, the capacitance of the insulating layer is a crucial parameter as it directly influences the calculated charge carrier mobility [27]–[29]. At the low switching frequencies typically used when evaluating mobility in these devices, the relevant capacitance value is the static capacitance of the insulator.



*Fig 4.* The effective capacitance plots against frequency of ITO/PtBA/ITO.

The PtBA-p-OFET devices exhibited robust output characteristics when tested in complete darkness using a Keithley 2612B SMU controlled by a computer, as shown in Figure 5. The devices demonstrated a well-defined saturation regime at a -60 V source-drain bias, owing to the high anisotropy of the PtBA insulator and the p-type conductivity of the P3HT semiconductor. The performance of the OFETs can be optimized by employing the PtBA gate insulator, which exhibits excellent polarizability and charge separation capabilities, as reported in previous studies [30], [31]. The strong polarization at the P3HT/PtBA interface leads to the efficient excitation of charge carriers, facilitated by the good compatibility between the two materials. Consequently, the PtBA-p-OFET devices displayed stable and consistent behavior over the tested voltage range of 0 V to -80 V, with 20 V steps.

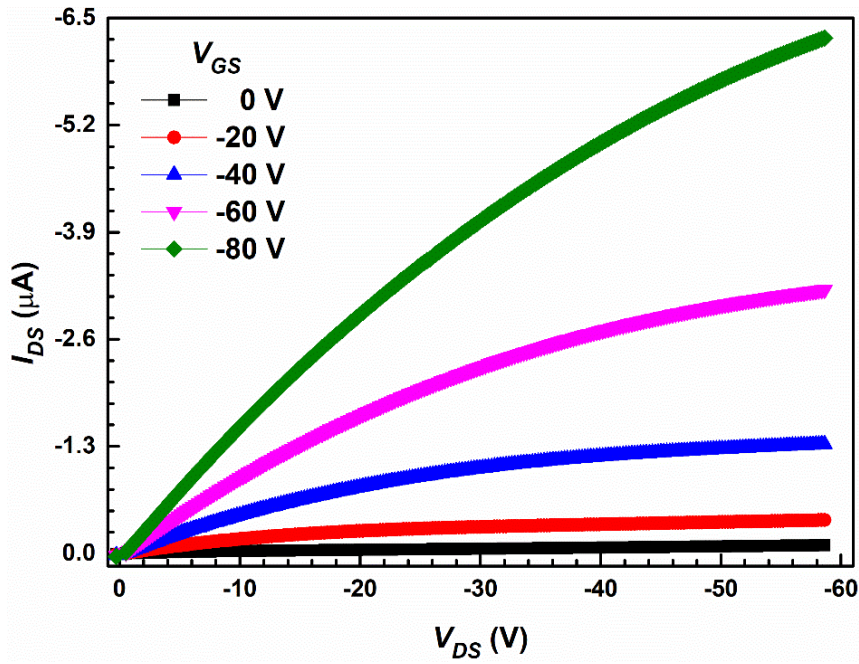


Fig 5. The output characteristics of the PtBA-OFET.

Figure 6 presents the transfer characteristics of the OFETs with the source-drain current ( $I_{DS}$ ) plotted on both left y-axis logarithmically and right y-axis as the square root versus the gate-source voltage ( $V_{GS}$ ). The current on/off ratio ( $I_{on/off}$ ) can be determined from the left axis as the ratio of the maximum  $I_{DS}$  to the minimum  $I_{DS}$ , following previous reports [32]. Furthermore, the OFETs' threshold voltage ( $V_{Th}$ ) is calculated by expanding the linear area of the square root plot on the right axis to intersect the x-axis, a typical procedure [27]. In this way, both the subthreshold slope and field-effect mobility can be estimated from the transfer curves, allowing characterization of the key electrical parameters of the fabricated devices.

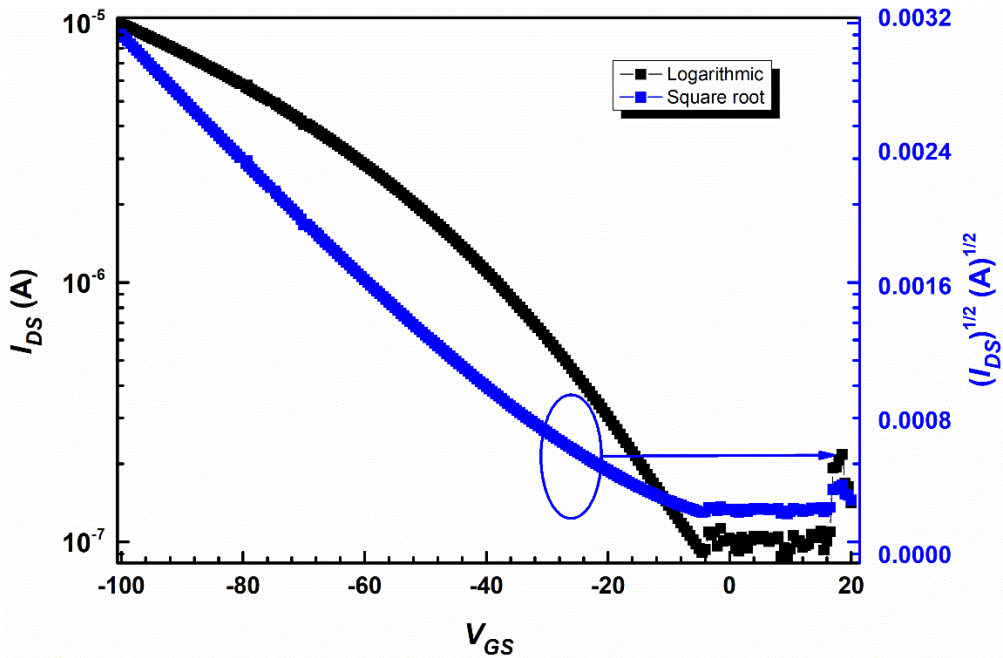


Fig 6. The Transfer characteristics of the PtBA-OFET.

Equation (1) defines field effect mobility ( $\mu_{FET}$ ) as the greatest drain current ( $I_{DS}$ ) for a given gate voltage ( $V_{GS}$ ). [33]–[35].

$$I_{DS} = \left[ \mu_{FET} \frac{WC_i}{2L} \right] (V_{GS} - V_{Th})^2 \quad (1)$$

$C_i$  can be defined as the capacitance of the insulator layer and  $\mu_{FET}$  denote the field-effect mobility of the device

$$\alpha = \left( \frac{WC_i}{2l} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

succeeding each material is coated on top of each other for the fabrication of the PTBA-p-OFET device, The PEDOT:PSS and PTBA layers served as the polymeric gate contact and insulator layers, respectively, with the P3HT acting as the active layer. on the saturation regime, the mobility was calculated using the best fit of the transfer characteristics on the right axis of Figure 6. To obtain the mobility values of the devices, use equation (2), where  $\alpha$  represents the slope taken from the best fit on the right axis from Figure 6, the figure shows the  $\mu_{FET}$ ,  $I_{on/off}$ ,  $V_{Th}$  values of the PtBA-p-OFET polymer-based structure, which were  $6.13 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ,  $1.11 \times 10^2$ , and  $-15.8 \text{ V}$ , respectively. It is also known that as high the  $I_{on/off}$ , the transistor may operate quicker and obtain superior device performance [33]. On the other hand, values for these parameters are highly consistent with the literature [36].

## IV. CONCLUSION

This study presents a comprehensive evaluation of industrial poly(tert-butyl acrylate) (PtBA) as an insulating layer for p-channel organic field-effect transistors (p-OFETs) using the p-type semiconductor poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT). Based on the obtained results, the fabricated PtBA-p-OFET devices exhibited favorable electrical characteristics, including a field-effect mobility ( $\mu_{FET}$ ) of  $6.13 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , an on/off current ratio ( $I_{on/off}$ ) of  $1.11 \times 10^2$ , and a threshold voltage ( $V_{Th}$ ) of  $-15.8 \text{ V}$ . Also, the frequency-dependent capacitance analysis of the PTBA insulating layer revealed a capacitance value of  $7.6 \text{ nF}/\text{cm}^2$  per unit area, indicating its suitability as a dielectric material for p-OFET applications. The output and transfer characteristics of the PTBA-p-OFET devices demonstrated stable and well-defined saturation behavior, confirming the compatibility and effectiveness of the PTBA insulator with the P3HT semiconductor. The high dielectric, good polarizability, and charge separation capabilities of PtBA contribute to the observed improvements in the device performance parameters, highlighting its potential as a promising insulator material for good-performance p-channel organic electronics. This work showcases the practical potential of industrial PTBA as a solution-processable and compatible insulator for developing advanced p-OFET devices. All over our findings pave the way for further exploration and optimization of PTBA-based organic electronics, targeting applications in flexible, lightweight, and large-area display technologies, as well as integrated circuits and sensors.

### ACKNOWLEDGEMENTS:

## V. REFERENCES

- [1] A. Facchetti, "Semiconductors for organic transistors," *Mater. Today*, vol. 10, no. 3, pp. 28–37, Mar. 2007, doi: 10.1016/S1369-7021(07)70017-2.
- [2] R. Kim *et al.*, "High-Mobility Air-Stable Naphthalene Diimide-Based Copolymer Containing

- Extended  $\pi$ -Conjugation for n-Channel Organic Field Effect Transistors,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 23, no. 46, pp. 5719–5727, Dec. 2013, doi: 10.1002/adfm.201301197.
- [3] T. Marszalek, M. Wiatrowski, E. Dobruchowska, J. Jung, and J. Ulanski, “One-step technique for production of bi-functional low molecular semiconductor–polymer composites for flexible OFET applications,” *J. Mater. Chem. C*, vol. 1, no. 19, p. 3190, 2013, doi: 10.1039/c3tc30163j.
- [4] C. Lee, W. Lee, M. Song, H. Kim, and Y. Kim, “Thermal Sensing Characteristics of Low-Voltage n-Channel Organic Field-Effect Transistors With Triple Layers of Naphthalenediimide-Containing Conjugated Polymer and Gate-Insulating Polymers,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 70, no. 2, pp. 720–725, Feb. 2023, doi: 10.1109/TED.2022.3228217.
- [5] S. Kola, J. Sinha, and H. E. Katz, “Organic transistors in the new decade: Toward n-channel, printed, and stabilized devices,” *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 50, no. 15, pp. 1090–1120, Aug. 2012, doi: 10.1002/polb.23054.
- [6] S. Nam, J. Kim, H. Lee, H. Kim, C.-S. Ha, and Y. Kim, “Doping Effect of Organosulfonic Acid in Poly(3-hexylthiophene) Films for Organic Field-Effect Transistors,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 4, no. 3, pp. 1281–1288, Mar. 2012, doi: 10.1021/am300141m.
- [7] C. D. Dimitrakopoulos, S. Purushothaman, J. Kymissis, A. Callegari, and J. M. Shaw, “Low-Voltage Organic Transistors on Plastic Comprising High-Dielectric Constant Gate Insulators,” *Science (80-. )*, vol. 283, no. 5403, pp. 822–824, Feb. 1999, doi: 10.1126/science.283.5403.822.
- [8] G. Wang, J. Swensen, D. Moses, and A. J. Heeger, “Increased mobility from regioregular poly(3-hexylthiophene) field-effect transistors,” *J. Appl. Phys.*, vol. 93, no. 10, pp. 6137–6141, May 2003, doi: 10.1063/1.1568526.
- [9] H.-I. Un, J.-Y. Wang, and J. Pei, “Recent Efforts in Understanding and Improving the Nonideal Behaviors of Organic Field-Effect Transistors,” *Adv. Sci.*, vol. 6, no. 20, p. 1900375, Oct. 2019, doi: 10.1002/advs.201900375.
- [10] Y. Zhou, K. Zhang, Z. Chen, and H. Zhang, “Molecular Design Concept for Enhancement Charge Carrier Mobility in OFETs: A Review,” *Materials (Basel)*, vol. 16, no. 20, p. 6645, Oct. 2023, doi: 10.3390/ma16206645.
- [11] J. Wang, H. Wang, X. Yan, H. Huang, and D. Yan, “Organic heterojunction and its application for double channel field-effect transistors,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 87, no. 9, p. 93507, Aug. 2005, doi: 10.1063/1.2037204.
- [12] L. Feriancová *et al.*, “Dithienyl-naphthalenes and quaterthiophenes substituted with electron-withdrawing groups as n-type organic semiconductors for organic field-effect transistors,” *J. Mater. Chem. C*, vol. 10, no. 27, pp. 10058–10074, 2022, doi: 10.1039/D2TC01238C.
- [13] H. Jia and T. Lei, “Emerging research directions for n-type conjugated polymers,” *J. Mater. Chem. C*, vol. 7, no. 41, pp. 12809–12821, 2019, doi: 10.1039/C9TC02632K.
- [14] C.-H. Chen *et al.*, “Novel Photoinduced Recovery of OFET Memories Based on Ambipolar Polymer Electret for Photorecorder Application,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 29, no. 40, p. 1902991, Oct. 2019, doi: 10.1002/adfm.201902991.
- [15] T. Kimoto *et al.*, “Bis(methylthio)tetracenes: Synthesis, Crystal-Packing Structures, and OFET Properties,” *J. Org. Chem.*, vol. 76, no. 12, pp. 5018–5025, Jun. 2011, doi: 10.1021/jo200696a.

- [16] L. Fijahi *et al.*, “High throughput processing of dinaphtho[2,3- b :2',3'- f ]thieno[3,2- b ]thiophene (DNTT) organic semiconductors,” *Nanoscale*, vol. 15, no. 1, pp. 230–236, 2023, doi: 10.1039/D2NR05625A.
- [17] S. A. Shin, J.-H. Kim, J. B. Park, and D.-H. Hwang, “Semiconducting Polymers Consisting of Anthracene and Benzotriazole Units for Organic Solar Cells,” *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 15, no. 2, pp. 1515–1519, Feb. 2015, doi: 10.1166/jnn.2015.9325.
- [18] M. Yi, J. Guo, W. Li, L. Xie, Q. Fan, and W. Huang, “High-mobility flexible pentacene-based organic field-effect transistors with PMMA/PVP double gate insulator layers and the investigation on their mechanical flexibility and thermal stability,” *RSC Adv.*, vol. 5, no. 115, pp. 95273–95279, 2015, doi: 10.1039/C5RA18996A.
- [19] J. Smith *et al.*, “Percolation behaviour in high mobility p-channel polymer/small-molecule blend organic field-effect transistors,” *Org. Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 143–147, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.orgel.2010.10.017.
- [20] G. Lu *et al.*, “Synthesis, Characterization, and Transistor Response of Semiconducting Silole Polymers with Substantial Hole Mobility and Air Stability. Experiment and Theory,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 130, no. 24, pp. 7670–7685, Jun. 2008, doi: 10.1021/ja800424m.
- [21] T. Umeda, S. Tokito, and D. Kumaki, “High-mobility and air-stable organic thin-film transistors with highly ordered semiconducting polymer films,” *J. Appl. Phys.*, vol. 101, no. 5, p. 54517, Mar. 2007, doi: 10.1063/1.2711780.
- [22] C. J. Newsome, T. Kawase, T. Shimoda, and D. J. Brennan, “Phase behavior of polymer semiconductor films and its influence on the mobility in FET devices,” Nov. 2003, p. 16, doi: 10.1117/12.504515.
- [23] M. D. Ogden, C. J. Orme, and F. F. Stewart, “Effects of alkyl substitution on the physical properties and gas transport behavior in selected poly(R-phenoxyphosphazenes),” *Polymer (Guildf.)*, vol. 52, no. 18, pp. 3879–3886, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.polymer.2011.07.010.
- [24] L. Fernandes, H. Gaspar, J. P. C. Tomé, F. Figueira, and G. Bernardo, “Thermal stability of low-bandgap copolymers PTB7 and PTB7-Th and their bulk heterojunction composites,” *Polym. Bull.*, vol. 75, no. 2, pp. 515–532, Feb. 2018, doi: 10.1007/s00289-017-2045-8.
- [25] V. Tamilavan, M. Song, S.-H. Jin, and M. H. Hyun, “Synthesis of conjugated polymers with broad absorption bands and photovoltaic properties as bulk heterojunction solar cells,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 52, no. 11, pp. 2384–2390, May 2011, doi: 10.1016/j.polymer.2011.03.040.
- [26] X. Wu *et al.*, “Hydrophobic Poly(tert-butyl acrylate) Photonic Crystals towards Robust Energy-Saving Performance,” *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 58, no. 38, pp. 13556–13564, Sep. 2019, doi: 10.1002/anie.201907464.
- [27] A. Demir, A. Atahan, S. Bağcı, M. Aslan, and M. Saif Islam, “Organic/inorganic interfaced field-effect transistor properties with a novel organic semiconducting material,” *Philos. Mag.*, vol. 96, no. 3, pp. 274–285, Jan. 2016, doi: 10.1080/14786435.2015.1130277.
- [28] L. Herlogsson *et al.*, “Low-Voltage Polymer Field-Effect Transistors Gated via a Proton Conductor,” *Adv. Mater.*, vol. 19, no. 1, pp. 97–101, Jan. 2007, doi: 10.1002/adma.200600871.
- [29] F. Bordi, C. Cametti, and R. H. Colby, “Dielectric spectroscopy and conductivity of polyelectrolyte solutions,” *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 16, no. 49, pp. R1423–R1463, Dec. 2004, doi: 10.1088/0953-8984/16/49/R01.

- [30] P. Paoprasert *et al.*, “Dipolar Chromophore Functional Layers in Organic Field Effect Transistors,” *Adv. Mater.*, vol. 20, no. 21, pp. 4180–4184, Nov. 2008, doi: 10.1002/adma.200800951.
- [31] C. A. Nguyen, P. S. Lee, and S. G. Mhaisalkar, “Investigation of turn-on voltage shift in organic ferroelectric transistor with high polarity gate dielectric,” *Org. Electron.*, vol. 8, no. 4, pp. 415–422, Aug. 2007, doi: 10.1016/j.orgel.2007.01.010.
- [32] X.-H. Zhang, B. Domercq, and B. Kippelen, “High-performance and electrically stable C60 organic field-effect transistors,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 91, no. 9, p. 92114, Aug. 2007, doi: 10.1063/1.2778472.
- [33] B. Chandar Shekar, J. Lee, and S.-W. Rhee, “Organic thin film transistors: Materials, processes and devices,” *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 267–285, Jan. 2004, doi: 10.1007/BF02705409.
- [34] G. Xu, Z. Bao, and J. T. Groves, “Langmuir–Blodgett Films of Regioregular Poly(3-hexylthiophene) as Field-Effect Transistors,” *Langmuir*, vol. 16, no. 4, pp. 1834–1841, Feb. 2000, doi: 10.1021/la9904455.
- [35] A. Demir, S. Bağcı, S. E. San, and Z. Doğruyol, “Pentacene-Based Organic Thin Film Transistor With SiO<sub>2</sub> Gate Dielectric,” *Surf. Rev. Lett.*, vol. 22, no. 03, p. 1550038, Jun. 2015, doi: 10.1142/S0218625X15500389.
- [36] M. Gurel, F. K. Cavus, A. Demir, E. Doganci, A. Alli, and S. Alli, “Synthesis and electrical characterization of poly[(linoleic acid)- g -(styrene)- g -(ε-caprolactone)] graft copolymers as gate insulator for OFET devices,” *Polym. Int.*, vol. 72, no. 8, pp. 727–737, Aug. 2023, doi: 10.1002/pi.6531.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Bibliometric Analysis of Occupational Health and Safety Research in the Construction Industry: Worldwide Trends and Key Focal Points (1990-2023)

Elif Derya YAMANER KUZEYLI <sup>a</sup>, Okan ÖZBAKIR <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Occupational Health and Safety, Graduate Education Institute, Iğdır University, Iğdır, TURKEY

<sup>b</sup> Mine Technology, VSHETS, Iğdır University, Iğdır, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: okan.ozbakir@igdir.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1340700

### ABSTRACT

In terms of accidents at work and work-related illnesses, the construction sector ranks among the top three. Occupational health and safety (OHS) research is therefore increasingly prevalent in this sector. However, there is a lack of bibliometric analysis carried out on these studies. The aim of this study is to examine, through bibliometric analysis, the research carried out worldwide on accidents in the construction sector and the key points emphasized in these studies. Bibliometrix, an R-based software, was used to analyze the articles included in this study. Accordingly, 48,046 studies were identified in a search of the SCOPUS database using the term "occupational health and safety". The results of this study indicate that the documents cover the time period from 1990 to 2023 and are spread across 187 different sources, including journals, books, book chapters, and conference papers. With an annual growth rate of 3.39%, the average age of documents is 8.27 years. The safety climate and training are key issues in the studies. When examining the data, it can be observed that the majority of publications come from Australia. Within their respective groups, Turkey, the United Kingdom, Malaysia, Italy, Singapore, South Africa, China, Greece, and Indonesia are closely related. Canada and Spain are connected through other groups. The fact that the most cited study comes from Turkey and is one of the top publications indicates the high priority given to OHS in recent years.

**Keywords:** Construction industry, bibliometric analysis, occupational health and safety, occupational accident

## İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırmalarının Bibliyometrik Analizi: Dünya Genelindeki Trendler ve Önemli Odak Noktaları (1990-2023)

### ÖZET

İnşaat sektörü, iş kazaları ve işle ilgili hastalıklar açısından en üst sıralarda yer alan üç sektör arasında yer almaktadır. Bu nedenle, bu sektörde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) üzerine yapılan araştırmalar artmaktadır, ancak bu çalışmalar üzerinde yeterli bibliyometrik analiz yapılmamaktadır. Bu çalışma, inşaat sektöründeki kazalar üzerine dünya çapında yapılan araştırmaları ve bu çalışmalarda vurgulanan temel noktaları bibliyometrik analiz kullanarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada dikkate



alınan makaleler, R tabanlı bir yazılım olan Bibliometrix kullanılarak analiz edildi. SCOPUS veri tabanında "İş sağlığı ve güvenliği" terimini kullanarak yapılan arama sonucunda 48.046 çalışma bulundu. Bu çalışmanın sonuçları, belgelerin 1990 ile 2023 yılları arasındaki dönemi kapsadığını ve dergiler, kitaplar, kitap bölümleri ve konferans bildirileri de dahil olmak üzere 187 farklı kaynaktan yayımlandığını göstermektedir. Belgelerin ortalama yaşı 8.27'dir ve yıllık büyüme oranı %3.39'dur. Çalışmalar, güvenlik iklimi ve eğitim konularına büyük önem vermektedir. Veriler incelendiğinde, yayınların çoğunun Avustralya'dan geldiği görülmektedir. İlgili gruplar içinde Türkiye, Birleşik Krallık, Malezya, İtalya, Singapur, Güney Afrika, Çin, Yunanistan ve Endonezya yakın ilişkilere sahiptir. Kanada ve İspanya, diğer gruplar aracılığıyla bağlantılıdır. En çok alıntı yapılan çalışmanın Türkiye'den olması ve en üstteki yayınlar arasında yer alması, son yıllarda İSG'ye verilen yüksek düzeyde önemi göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat sektörü, bibliyometrik analiz, iş sağlığı ve güvenliği, iş kazası

## **I. INTRODUCTION**

The construction sector has become an important industry worldwide, as housing is one of the basic human needs. In terms of meeting the needs of the labor market, it is also one of the most important sectors.

Germany is the country with the lowest number of accidents at work, while the United States has the highest number of accidents at work, according to the 2023 data from International Labor Organization (ILO). In the United States, agriculture, forestry and fishing stands out as the sector with the highest rate of accidents at work, at 57.4% in 2020-22, while construction is in fifth or sixth place [1]. Turkey is the country with the second highest number of workplace accidents after the United States. Of the accidents, in Turkey, the mining and quarrying sector has the highest accident rate (43.4 %), while the education sector has the lowest (0.1 %). Out of the economic sectors, the construction sector ranks at the third place in Turkey. Such a high importance might lead to the intensive work-load, which in turn brings about a high number of workplace accidents. This is supported by the data from ILO in 2023, which reported that 20 workers in Turkey and 16 workers in the United States were involved in accidents per 100,000 workers [2]. In the last nine years, 12,408 workers in Turkey have lost their lives as a result of work-related accidents. The construction sector alone accounted for around 35% of these fatalities, or 4,363 deaths [3].

The Social Security Institution identifies the construction, mining, and metal sectors as the leading industries in terms of combatting work accidents and occupational diseases [4]. To minimize the incidence of occupational accidents and diseases, governments have enacted laws and regulations with sanctions [5]. These sanctions require employers to provide certain regulations and training in the workplace and to provide their employees with the necessary protective equipment and materials [6]. In addition to the inspection systems they have established, all countries on our planet have common codes with the countries they have reached an agreement with, and these countries conduct their inspections in the field of OHS using these established systems. Achieving positive results at the inspection and investigation stages requires well-trained staff and systematic inspections [7]. For these reasons, health and safety issues are of great importance in the construction industry. In this regard, a large number of reports dealing with accidents in the construction industry and their possible causes have been published, as evidenced in finding section of the current work. As a common phenomenon idea of occupational health and safety, elimination of the potential risks must be the priority [8]. In this context, Sanchez et al. (2017) [9] underscored that construction workers are required to perform a wide range of tasks that involve some degree of risk. The workers are likely to be exposed to work-related accidents due to the nature of the work. Construction workers are the most vulnerable as they are exposed to potential risks and hazards throughout the construction process [10].

Workplace accidents and occupational diseases not only affect health and safety in the workplace, but also have an impact on the economy due to the high costs associated with workplace accidents. The cost

of construction site injuries can have a significant impact on the financial performance of construction companies, increasing overall construction costs by up to 15%. Investing in accident prevention is therefore not only important for health and safety management, but also for reducing the cost of construction projects [11].

As the importance of occupational safety and health has grown, the number of publications in this area has generally increased. This led to an overall improvement in the accumulation of knowledge in certain areas. Therefore, bibliometric studies have become increasingly important in recent years because, compared with traditional methods; they allow large numbers of reports to be classified more easily and interpreted more systematically [12]. Considering such a reductive approach, we have herein used Bibliometric methods in order to examine and analyzed the topics in construction related to OHS in terms of some key parameters such as time-trend, core content (keyword and term analysis), scientific productivity and spatial distribution. For the present study, we have used VOSviewer and R-Studio based Bibliometrix tools for the reduction of the dimension of the documents. Both of these tools are free online software. Nees Jan van Eck and Ludo Waltman [13] published the VOSviewer software. In addition, Bibliometrix in very powerful to obtain a complete bibliometric analysis in a science mapping. The program was developed by Massimo Aria and Corrado Cuccurullo [14]. After optimization of running conditions of the program and construction of BibTex file version of SCOPUS documents (Bibliometrix) and CSV file version of the SCOPUS documents (VOSviewer), the relevant documents are used for the analysis considered. Such great software tools have been recently applied in a wide range of fields [15-19]. The mechanisms of the both tools are based on mapping and network construction of the documents, researchers, journals, countries, keywords; terms etc. prior to analysis, some criteria by researchers are applied. For instance, a criterion as “minimum number of occurrences of a keyword”, “minimum number of occurrences of a term or “minimum number of documents released by countries” are of the commonly applied by the researchers. Subsequently, total strength of the co-occurrence links with others are calculated, as in the case of “term” and “keyword” analysis. As in the case of all disciplines, there is a high number of reputed review and original articles [20]. Those reports have contributed a lot in pioneering the researchers to new avenues. Significantly, the state of the art has been suggested for each topic. However, as a recent approach; such software-aided analyses are very recent, in comparison to the descriptive review articles. For that reason, we have directed our concern towards on the reduction of the documents available [21]. Along with the current analysis, we have focused our interest on author analysis to see which authors have produced more work in these areas, and on keyword and term analysis to identify the most prominent words. In addition, we have furthermore addressed the interest on the publication sources. Finally, for some specific countries, the country specific analysis was carried out. Concerning country analyses, international studies and inter-country collaboration network maps are also generated.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

### **A. DATA SOURCE AND SEARCH STRATEGY**

The SCOPUS database was used to access the articles examined in this study. The main reason for choosing this database is that it provides advanced tools and analyses for conducting research, as well as a unique citation index, citation results and detailed researcher profiles [22]. The SCOPUS database includes 45,806 sources/journals, being one of the largest databases. It is one of the most reliable data-sources [17]. We conducted a search on SCOPUS using the keywords "occupational health and safety" for this analysis (TITLE-ABS-KEY ("Construction Industry" AND "Occupational Health and Safety") (Access date: 18 January 2023). Accordingly, the search yielded 48,046 studies. The search was then limited to the category of 'construction industry'. Finally, between 1990 and 2023, a-377 documents

have been recorded. The documents were analyzed with the two-different software, namely Bibliometrix and VOSviewer. The details/scope of the software were given in sub-sections.

## **B. ANALYZING DATA**

First, the documents of the interest (N=377) were downloaded in BibTex format, which was subsequently used in Bibliometrix program. Bibliometrix is a unique tool, developed in the R language that allows statistical calculations and graphs to be generated in accordance with logical bibliometric workflows. It is flexible and can be rapidly developed. It can be integrated with other R-based statistical programs. It is therefore a useful tool in constantly changing fields such as bibliometrics [23]. It is specifically used in the process of science mapping

## **C. VISUALIZATION OF DATA**

As in the case of analysis with Bibliometrix, we first exported the selected documents to the CSV format. The downloaded file was used in VOSviewer software. VOSviewer is used to construct and visualize bibliometric networks. These networks can include journals, researchers, or individual publications and can be created based on citation, bibliographic coupling, co-citation, or co-authorship relationships. This software tool also provides text mining functionality that can be used to create and visualize co-occurrence networks of important terms extracted from scientific literature (vosviewer.com). Using the VOSviewer software, keyword mining, citation analysis and bibliographic linkage analysis were performed on the 377 data sets [20].

# **III. RESULTS AND DISCUSSION**

Many studies on the construction sector and OHS can be found by searching the Scopus database. Table 1 summarizes the descriptive results of the 377 documents, indicating that the time range of the documents spans from 1990 to 2023. These articles are distributed across 187 different sources, including journals, books, book chapters, and conference papers. The estimated annual growth rate of these documents is 3.39%. Although some publications date back to before 1990, they are quite rare, so the starting year is considered as 1990, resulting in an average age of the documents being 8.27. The low average age of the reports is an indication that the reports are relatively recent and that there is a recent interest in the topic. In this context, the number of obtained sources is 184, and the number of studies is 377. These studies were written by a total of 962 authors, with 43 sources written by a single author. The international collaboration rate of these documents is 16.71%. The average number of collaborations per study is determined as 3.19. The average number of citations per study is 16.28. The total number of citations for these 377 documents is recorded as 13,730.

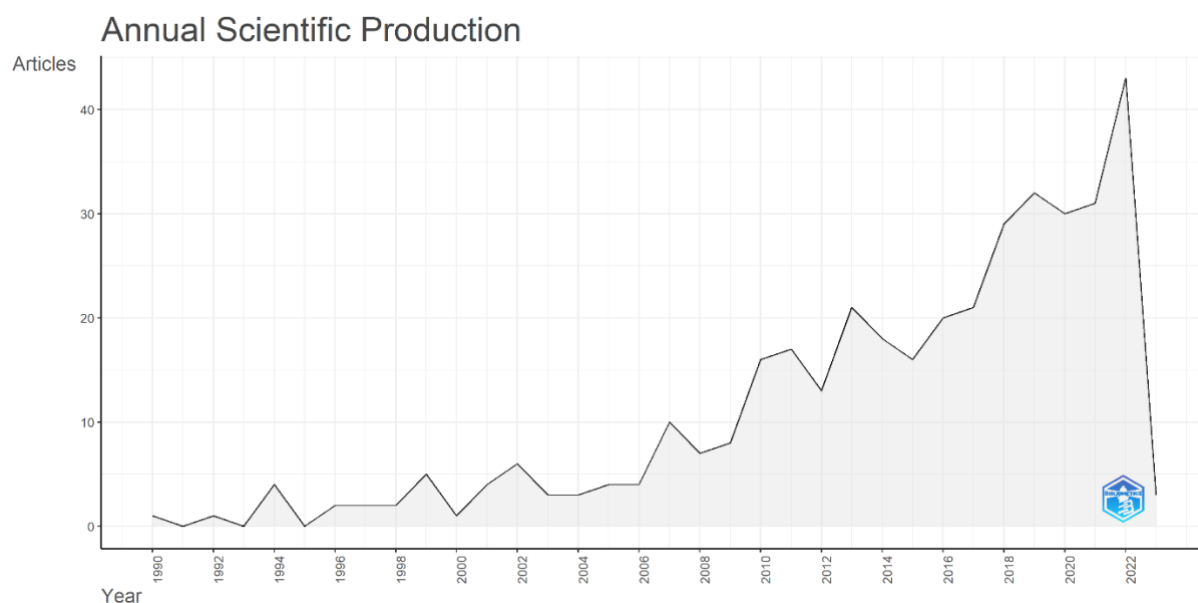
Considering the most cited documents, the document with highest number of citations (N=241) have been disseminated from Turkey. In this report, Aminbakhsh et al. [11] have underscored that construction projects are more susceptible to various risks arising from the nature of the work than other types of work. The study emphasized the importance of managers assessing and prioritizing risks and planning and budgeting for security risks. To realize this approach, the proposed framework presented a safety risk assessment framework based on safety cost theory and the analytical hierarchy process. The main purpose of risk assessment is the evaluation of risk elimination measures by means of cost-benefit analysis. This is because there may be more than one method of eliminating a risk and the most appropriate one for the organization should be selected. The proposed framework is intended to facilitate the collective decision-making process of the decision-makers and to minimize the bias in the decision-making process. As a result of the real-life study applied to a construction project, a hierarchy model has been created that improves the decision problem and weight assignment to criteria, and more

understandable sub-problems have been identified. Furthermore, a robust method for prioritizing safety risks using the AHP method is presented and the COS theory provides a procedure for setting realistic objectives and at the same time establishing a rational budget without compromising safety [11].

*Table 1. Summary Statistics and details of the retrieved documents*

Summary Statistics	Results
Time-span	1990-2023
Sources (journals, books, etc)	187
Documents	377
Annual growth rate	% 3,39
Document average age	8,27
Average citation per doc	16,28
References	13730
Author keywords	927
Authors	962
Authors of single-authored documents	43

Concerning the annual trend of publications (Figure 1), it can be seen that it remained stable between 1990 and 2006 and that it then increased rapidly after 2006. The rapid increase in the number of documents between 2006 and 2023 can be attributed to the increasing importance given to OHS in the construction sector, the high awareness of accidents and deaths, and the increasing compensation burdens for employers through legal regulations. It is clear that this is also in line with technological advances and the need for more housing as the population increases.



*Figure 1. Annual scientific production*

## A.MOST RELEVANT SOURCES

As shown in the previous section (Table 1), research on the investigation of construction accidents from an OSH perspective can be found in 187 different sources. These journals have been categorized based on their significance using the Bradford Law. As shown in Figure 2, 22 studies in the selected field were contributed by the source "Safety Science". It is followed by the source "Construction Management and Economics" with 18 studies. Among the other sources, "Journal of Construction and Engineering and

"Management" has 13 publications, "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics" has 12 publications, and "Engineering, Construction and Architectural Management" has 10 publications.

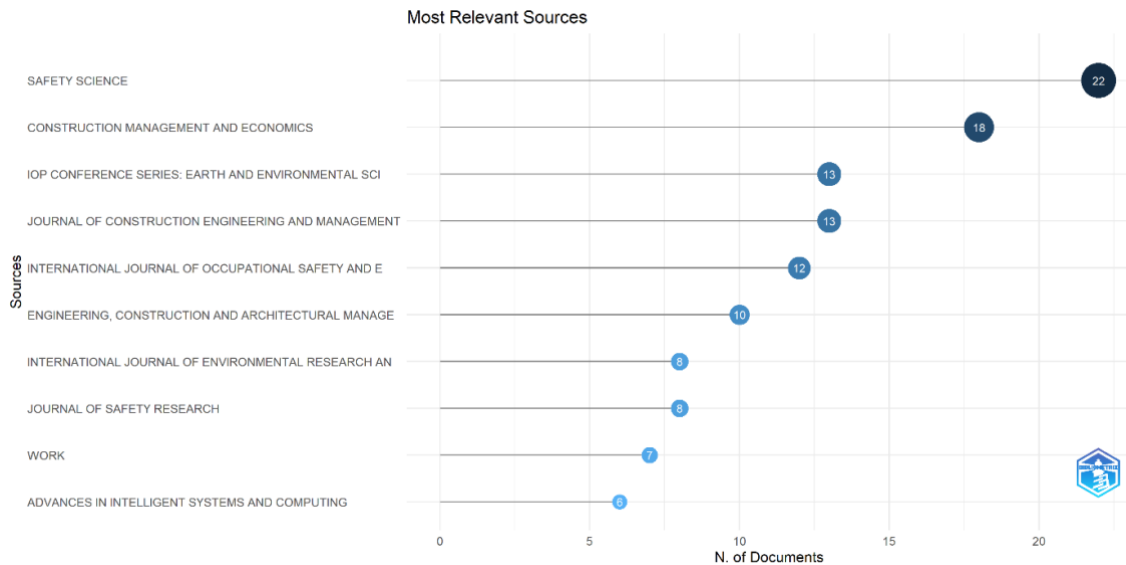
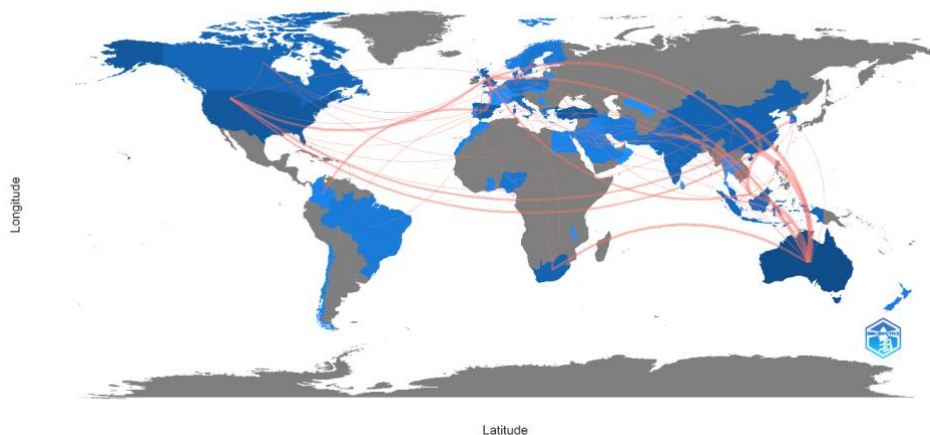


Figure 2. Most relevant sources

## B. COUNTRY SCIENTIFIC PRODUCTIVITY

In Figure 3, the countries on the map are shown in different shades of blue and grey. The number of documents published by each country is indicated by the degree of color. Grey countries indicate no articles published on the topic according to the SCOPUS database. The documents might be found in non-SCOPUS indexed journals. On the other hand, the shades of blue represent a decreasing in the number of items as they move from darker to lighter shades. In other words, the countries that are colored in dark blue have a higher level of scientific productivity in this field. The countries colored in dark blue, from left to right on the map, are the United States, Spain, England, Turkey, South Africa, Australia, and with a slight difference in tone, Canada and China follow. The airline-like network seen between countries represents the intensity of their collaboration. This intensity is most prominently observed in Australia on the map. Occupational health and safety profession holds a significant place in Australia, and it is rare to find a medium to large-scale private or public organization without an Occupational Health and Safety (OHS) professional department [24]. Since 1990, there has been a substantial increase in university diploma programs related to OHS in the country [25]. As in the case of Australia, such regulation could explain the highest collaboration network, the lowest rate of workplace accidents or fatalities.

## Country Collaboration Map



**Figure 3.** Country collaboration map

Considering the construction sectors in countries considered for the present analysis, the activities of the relevant sector in Turkey has accelerated in 2022. Construction activity contracted at annual rates of 7.5%, 10.7% and 15% in the first three quarters of the year. Having continued to contract, the sector grew by 2% in the final quarter. Compared to the pandemic year 2020 (-5.5%), the sector experienced a stronger contraction in 2022 (-8.4%) [26].

The Australian construction sector is a significant part of the country's economy, generating \$168.8 billion in annual revenue and accounting for 9% of gross domestic product. Nationally, more than 1.1 million people are estimated to be employed in the construction sector [27]. The size of the Australian construction market is expected to achieve an average annual economic growth rate of over 3% from 2024 to 2027. The sector's growth during the forecast period will be supported by the government's continued focus on infrastructure development [28]. The industry has the highest rates of work-related injuries in sectors such as accommodation and food services (56.4 per 1000 workers), agriculture, forestry and fishing (53.6), transport, post and storage (50.8), public administration and security (49.4) and construction (49.3) [29]. Out of the 59 countries, 31 were included in the study by selecting documents with three or more documents (Figure 4.). Considering the scientific productivity (Figure 3), Australia has the highest number of publications. Within its own group, Turkey, United Kingdom, Malaysia, Italy, Singapore, South Africa, China, Greece and Indonesia are also related. Canada and Spain are also related to each other through other groups. America, Hong Kong, and UK are leading in their respective fields. It is noteworthy that Greece, Italy, and Canada have fewer citations and are located further away from the main center structure in the field of OHS in the construction sector in this map.

In the United States, construction costs declined due to lower prices for lumber, steel and aluminum. However, there is still upward pressure on prices for some materials, such as gypsum and concrete products. The overall increase in the cost of construction materials continues to outpace consumer price inflation. In 2023, growth in the non-residential sector almost offsets the sharp decline in single-family housing [30].

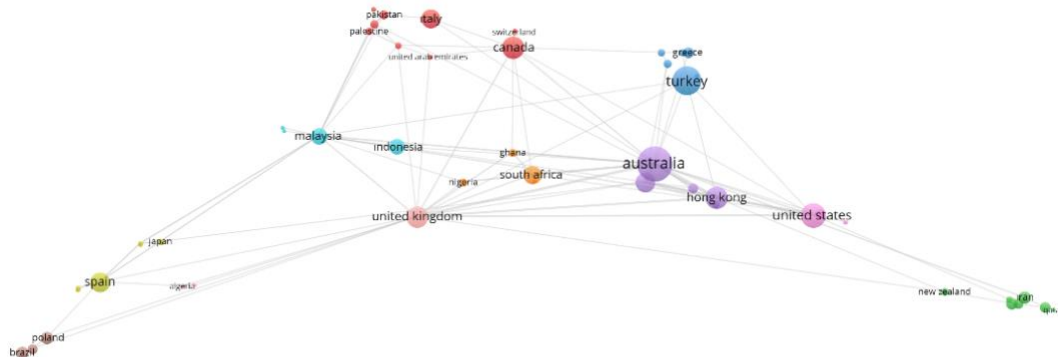
In the USA, there were 986 fatal injuries in the construction sector in 2021, of which 390 were due to causes such as falls, slips, and trips. The rate of fatal work accidents increased from 3.4 per 100,000 full-time equivalent workers in 2020 to 3.6 in 2021. Employers reported 2.6 million private sector injuries and illnesses in 2021, falling by 1.8% compared with 2020 [31]. In Canada, more than 40,000 workers are injured in fall accidents every year. Falls account for a significant percentage of the 'lost time injury' claims accepted by Workers Comp Boards in Canada [32]. In the United Kingdom, 135 workers were killed in accidents at work in 2022/23. The construction and agriculture, forestry and fishing sectors continue to be the sectors where the highest number of workers loses their lives in fatal

accidents every year [33]. This is due to legislation in the UK, which started much earlier than in other countries, so the figure is quite low.

The construction sector in China has been under increasing pressure from the challenges posed by China's zero COVID policy and policies to reduce developer leverage and further promote sustainability. Such pressures were manifested as a 2% reduction in construction growth. Investment in infrastructure and affordable housing accounts for around 3% of construction activity in 2022 [34]. With regard to the accident rate in the countries under analysis here, the relevant data entry was in 2022, as in the case of Turkey. Corresponding the indicators of OHS in ILOSTAT-Turkey data, the rate of non-fatal accidents at work per 100,000 persons in employment is 3549, whilst there are 20 fatal accidents at work per 100,000 employees [3]. As in the case of Australia, the last data entry was in 2022, reporting that the non-fatal occupational accident rate per 100,000 employees is 899 people; the fatal occupational accident rate per 100,000 employees is 1.6 people. As for China-Hong Kong, the last data entry was in 2016, indicating that the non-fatal occupational accident rate per 100,000 employees is 1,188.1 people; the fatal occupational accident rate per 100,000 employees is 6.8 people and in Hong Kong accident rates are approximately 68.1 per 1,000 workers, which is generally much higher than most neighboring countries, such as Singapore, where it is only about 9.4 per 100,000 workers [35]. Considering the ILOSTAT-USA data, the non-fatal occupational accident rate per 100,000 employees is 900 people (given as the total number including occupational diseases such as “Absenteeism in the Workplace, Asthma (work related, cancer etc.); the fatal occupational accident rate per 100,000 employees is 5.2 people [36]. There are several important reasons for the high accident rate in Hong Kong. High-rise buildings continue to dominate the city, presenting many hazards associated with working at height and vertical transport, such as falling objects or people [37].

On the other hand, when the countries with the highest levels of publishing are examined, it is clear that Australia and the United States impose heavy fines for non-compliance with OHS regulations and that these fines can bring about difficulties for employers who fail to comply. It is clear that Australia and the United States impose heavy fines. Failure to comply with these fines can cause problems for employers [38]. It can therefore be said that employers in these countries are obliged to comply with the requirements of the regulations because of the serious consequences of sanctions.

If we handle the fines imposed in Australia, we can see that they are in fact significantly higher than the fines imposed in the United States [39]. Compared to Australia, the amount of the fine in the United States seems quite low. As far as China is concerned, no information has been obtained on the specific amount of fines related to occupational safety and health laws/regulations. Therefore, no comment or comparison can be made for China.



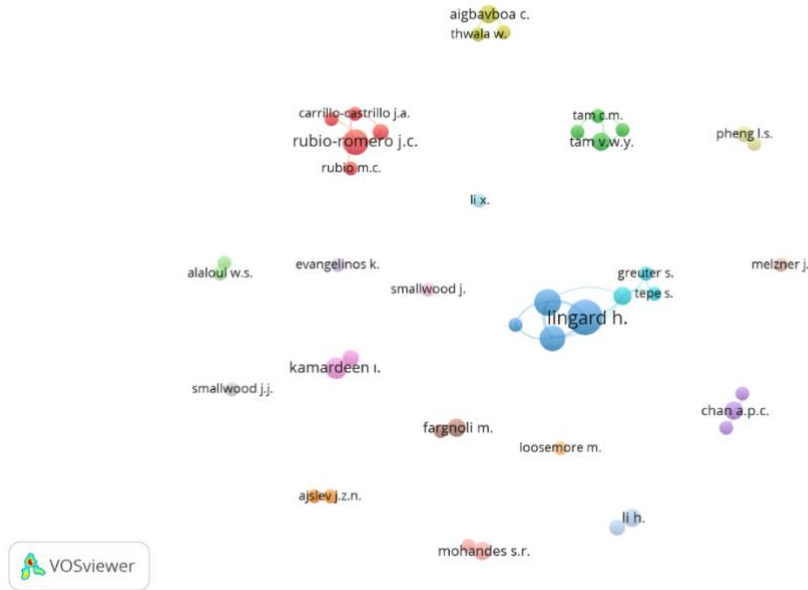
**Figure 4. Country Analysis.**

For construction of author analysis networks, the minimum number of documents of a country was set as  $N=3$ . No citation number criterion was applied for the analysis considered. Of the 59 countries contributing to the field, 31 authors met the threshold of  $N=3$ .

### C.AUTHOR ANALYSIS

Considering the network (s) of the authors included in the documents retrieved, a graphical structure in which authors create reciprocal citations was composed. Mutual citation networks are created by analyzing when two documents appear together in other documents. The more often these documents appear together in other documents, the larger and closer the nodes in the reciprocal citation network become [20]. It can be seen that the clustering of the authors is shown in different colors (Figure 5). Out of the authors, Lingard H. (Helen Lingard, Professor Emeritus, RMIT University) has the highest number of publications. It is also understood that she is in collaboration with Greuter S. and Tepe S., means that they have been working together.





**Figure 5.** Author Analysis.

For construction of author analysis networks, the minimum number of documents of an author was set as N=3. No citation number criterion was applied for the analysis considered. Of the 918 authors contributing to the field, 42 authors met the threshold of N=3.

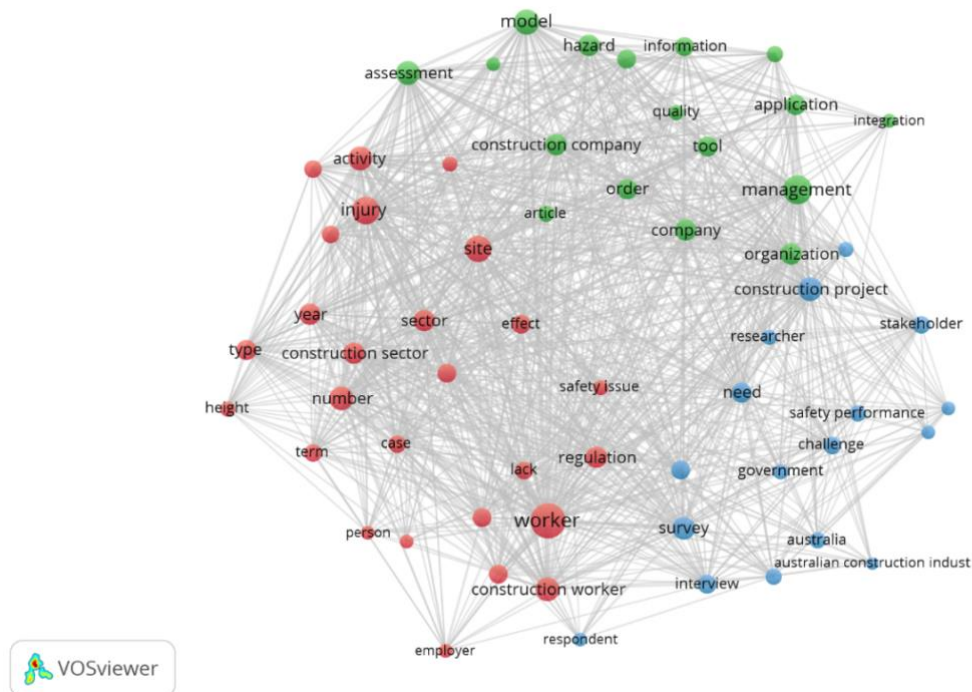
The issue of health and safety in construction is quite complex, and the most important advance needed to improve health and safety in construction is the need for multiple approaches to solving it [40]. Effective implementation of OHS in the workplace to minimize accidents and occupational diseases is possible through ongoing training programs (Figure 11.). Such initiatives are awareness-raisers in themselves. It is particularly important to involve learners and workers in construction education through games developed to identify hazards from the design stage onwards and manage them through OHS control measures [41].

#### **D .KEYWORD ANALYSIS**

The VOSviewer map shows that the terms are mostly clustered under two main headings: 'health and safety' and 'building' (Figure 6). The words under these headings are also grouped together with each other. Construction safety, safety, risk management and safety culture are other items where the density of terms is visible. The cluster with the highest density is 'Occupational health and safety'. It is clear that the climate of security and the issue of education are of particular importance and should be the focus of attention.



calculated. On the basis of this score, the most relevant terms have been selected. Sixty percent of the most relevant terms were selected by default, resulting a-60 term for the study. The network can be classified into three clusters, which can be considered as project management, manual workers and construction activities (Figure 8). Each group is clearly distinguished from the other by a different color, indicating how they are related within the group.



**Figure 8. Term Analysis**

For construction of term analysis networks, the minimum number of occurrences of a term was set as  $N=20$ . Of the 8562 terms used in the reports extracted, 100 terms meet the threshold of  $N=20$ . Subsequently, for each of the 100 terms, a relevance score was calculated. Corresponding to the score, the most relevant terms were selected by the program. The default choice was to select the 60% most relevant terms. The number of terms shown in the network was 60.

In Figure 9, a map of the conceptual structure of the articles has been provided. This map is a representation of the proximity of words which are semantically related. The first cluster (red color) consists of 26 key words, including work accidents, risk assessment, construction companies, construction workers, construction sector, accidents, personnel training, Australia, safety management, occupational diseases, and procedures, which contains the most important group of articles related to them. Cluster 2 (in blue) is a group of 5 keywords with a focus on women, men, adults, middle-aged people and survey documents.

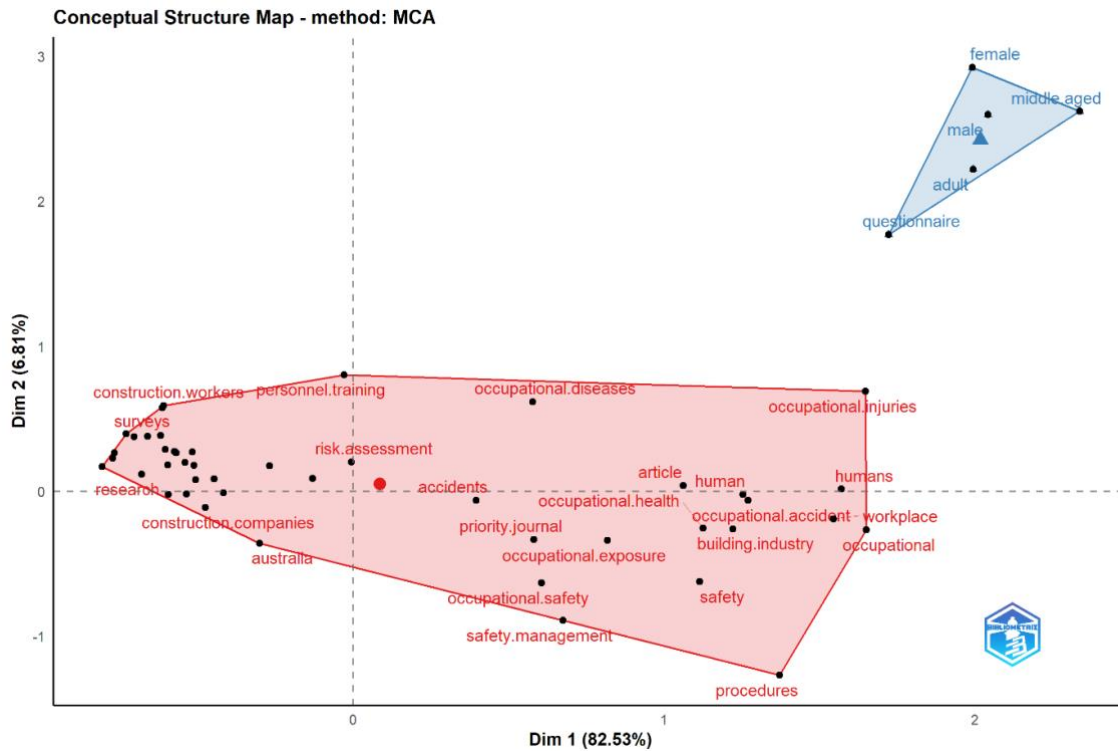


Figure 9. Conceptual structure map

### F. AREA BASED TREE ANALYSIS

Three area plots have been used for the evaluation of the author tree analysis. The three area graphs show the relationships between the selected areas. In the figure below (Figure 10), the names of the authors, the key words and the countries of authorship have been chosen as the three areas.

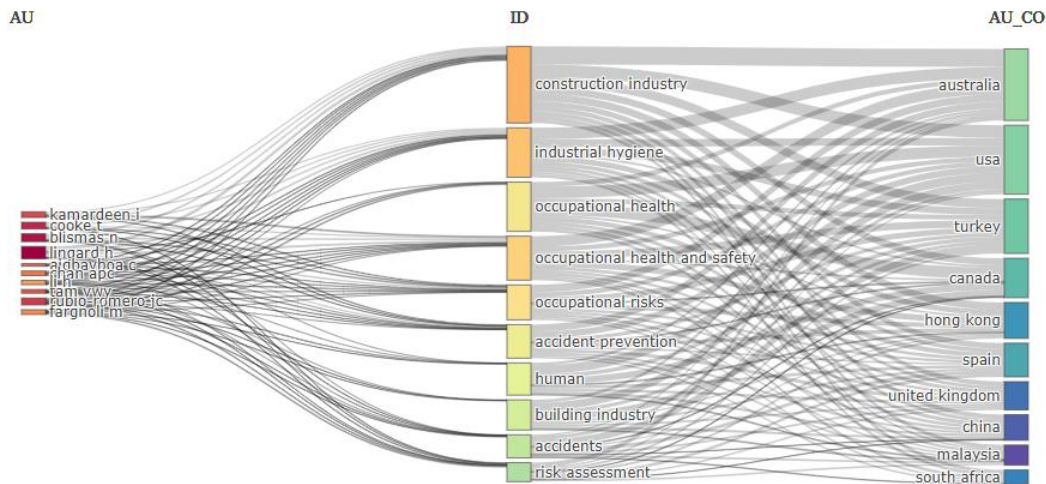


Figure 10. Tree-field plot

Concerning the three area charts (Figure 10), it can be seen that, on the left-hand side, authors use the keywords provided in the middle section to indicate which country they belong to or which country/countries they collaborate with to produce their work. The figure shows that almost all authors use the same common keywords. The most frequently used keyword is "construction industry". There is also a great diversity in the distribution of the countries to which the authors who use this keyword belong. The second most common keywords are 'industrial hygiene' and 'occupational health'. There is also a great deal of diversity in the distribution of the authors and the countries for these key words. In





- [6] H. Durdu, "İş kazalarının ekonomik analizi ve bazı sektörler bazında değerlendirilmesi," *Sosyal Güvence*, vol.5, 2014.
- [7] S. Yılmaz "İşletmelerde kurumsallaşma ve iş kazaları arasındaki ilişkide iş güvenliği kültürünün aracılık rolü," Yüksek lisans, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hacıbektaş Veli Uni., Nevşehir, Türkiye, 2023.
- [8] R. M. Morillas, J. C. Rubio-Romero and A. Fuertes, "A comparative analysis of occupational health and safety risk prevention practices in Sweden and Spain," *Journal of safety research*, vol.47, pp. 57-65, 2013.
- [9] F. A. S. Sanchez, G. I. C. Pelaez and J. C. Alis, "Occupational safety and health in construction: a review of applications and trends," *Industrial health*, vol.55, no.3, pp. 210-218, 2017.
- [10] M. N. Nawi, S. H. Ibrahim, R. Affandi, N. A. Rosli ve Basri, M. N. "Factor Effecting Safety Performance Construction Industry," *International Review of Management and Marketing*, vol.6, no.8, pp. 280-285, 2016.
- [11] S. Aminbakhsh, M. Gunduz ve R. Sonmez, "Safety Risk Assessment Using Analytic Hierarchy Process (AHP) During Planning and Budgeting of Construction Projects," *Journal of Safety Research*, vol. 46, pp. 99-105, 2013.
- [12] E. Atabay, B. Çizel ve E. Ajanovic, "Akıllı Şehir Araştırmalarının R Programı ile Bibliometrik Analizi," 20. Ulusal Turizm Kongresi 2019, pp. 1130-1137, 2019.
- [13] N. J. Van Eck and L. Waltman, "Visualizing bibliometric networks. In *Measuring scholarly impact: Methods and practice*," Cham: Springer International Publishing, pp. 285-320, 2014.
- [14] M. Aria and C. Cuccurullo, "Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *Journal of Informetrics*, vol.11, no.4, pp. 959-975, 2017.
- [15] A. Rejeb, A. Abdollahi, K. Rejeb and H. Treiblmaier, "Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 198, pp. 107-117, 2022.
- [16] N. Niknejad, W. Ismail, M. Bahari, R. Hendradi and A. Z. Salleh, "Mapping the research trends on blockchain technology in food and agriculture industry: A bibliometric analysis," *Environmental Technology & Innovation*, vol.21, pp. 101-272, 2021.
- [17] Q. Chen, N. Geng and K. Zhu, "Review and bibliometric analysis of Chinese agricultural economics research: 2006-2015," *China Agricultural Economic Review*, vol. 10, no. 1, pp.152-172, 2018.
- [18] M. Kulak, A. Ozkan, ve R. Bindak, "A bibliometric analysis of the essential oil-bearing plants exposed to the water stress: How long way we have come and how much further?," *Scientia horticulturae*, vol. 246, pp. 418-436, 2019.
- [19] M. Kulak ve C. Gulmez Samsa, "Flavonoids Mediated Nanomaterials Synthesis, Characterization, and Their Applications," In *Secondary Metabolites Based Green Synthesis of Nanomaterials and Their Applications*, pp. 49-65, 2023.
- [20] M. Kulak ve N. Kilic, "A bibliometric analysis: How important is salicylic in response to the salinity from NaCl?," In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, p. 1302, 2020.
- [21] N. J. Eck ve L. Waltman, "Software Survey: VOSviewer a Computer Program for Bibliometric Mapping," *Scientometrics*, vol. 84, pp. 523-538, 2009.

- [22] B. D. Deniz, "A Bibliometric Analysis of Critical Construction Management Studies," Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2019.
- [23] R. E. Erdoğan, "Mimarlıkta Sayısal Tasarım Araştırmalarının Bibliometrik Yöntemlerle Analizi ve Haritalanması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2020.
- [24] D. J. Provan and P. Pryor, "The emergence of the occupational health and safety profession in Australia," *Safety science*, vol. 117, pp. 428-436, 2019.
- [25] W. Macdonald, T. Driscoll, R. Stuckey and J. Oakman, "Occupational health and safety in Australia," *Industrial health*, vol. 50, no.3, pp. 172-179, 2012.
- [26] T. D. Baskan, A. Akpınar ve E. Baran, "Covid-19 Sürecinde İnşaat Sektöründeki İşletmelerin Finansal Durum Analizi," *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, vol. 24(Covid-19 Özel Sayısı), pp. 128-149, 2022.
- [27] D. Rivas-Aybar, M. John and W. Biswas, "Can the Hemp Industry Improve the Sustainability Performance of the Australian Construction Sector?," *Buildings*, vol. 13, no. 6, pp. 1504, 2023.
- [28] S. Petrovic-Lazarevic, "The development of corporate social responsibility in the Australian construction industry," *Construction management and Economics*, vol. 26, no. 2, pp. 93-101, 2008.
- [29] M. Alkaissy, M. Arashpour, E. M. Golafshani, M. R. Hosseini, S. Khanmohammadi, Y. Bai and H. Feng, "Enhancing construction safety: Machine learning-based classification of injury types," *Safety science*, vol. 162, pp. 106-120, 2023.
- [30] D. Arditi and K. Mochtar, "Trends in productivity improvement in the US construction industry," *Construction Management & Economics*, vol. 18 no. 1, pp. 15-27, 2000.
- [31] A. K. Ramos, S. Adhikari, A. M. Yoder and R. H. Rautiainen, "Occupational injuries among Latino/a immigrant cattle feedyard workers in the Central States Region of the United States," *International journal of environmental research and public health*, vol. 18, no. 16, pp. 8821, 2021.
- [32] N. Carnide, V. Nadalin, C. Mustard, C. N. Severin, A. D. Furlan and P. M. Smith, "Cannabis use among workers with work-related injuries and illnesses: results from a cross-sectional study of workers' compensation claimants in Ontario," *Canada. BMJ open*, vol. 13, no. 7, pp.1-11, 2023.
- [33] Health and Safety Executive, (2023, June), Work related ill health and injury statistics, (Online) <https://www.hse.gov.uk>
- [34] S. X. Zeng, V. W. Tam and C. M. Tam, "Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China," *Safety science*, vol. 46, no. 8, pp. 1155-1168, 2008.
- [35] Fung, I. W., Tam, V. W., Lo, T. Y., & Lu, L. L. (2010). Developing a risk assessment model for construction safety. *International Journal of Project Management*, 28(6), 593-600.
- [36] ILO.ORG, (2023, April), Fatal Occupational Injuries per 100.000 Workers by Economic Activity, Annual, [https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer44/?lang=en&id=INJ\\_FATAL\\_ECO\\_RT\\_A](https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer44/?lang=en&id=INJ_FATAL_ECO_RT_A)
- [37] C. K. Hon, A. P. Chan and M. C. "Yam, Determining safety climate factors in the repair, maintenance, minor alteration, and addition sector of Hong Kong," *Journal of construction engineering and management*, vol. 139, no. 5, pp. 519-528, 2013.



[38] T. J. Kniesner and J. D. Leeth, "Workplace Safety Policy: Past, Present, and Future. *Present, and Future,*" 2000.

[39] T. John, "Workplace death and serious injury: a snapshot of legislative developments in Australia and overseas," Parliamentary Library, no.7, 2004.

[40] H. Lingard, "The effect of first aid training on Australian construction workers' occupational health and safety motivation and risk control behavior," *Journal of safety research*, vol. 33, no. 2, pp. 209-230, 2002.

[41] S. Greuter, S. Tepe, J. F. Peterson, F. Boukamp, K. Amazing, K. Quigley,... and R. Wakefield, "Designing a game for occupational health and safety in the construction industry," In *Proceedings of The 8th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Playing the System*, pp. 1-8, 2012.