



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

**Düzce University
Journal of
Science & Technology**

e-ISSN: 2148-2446

**Cilt
Volume**

11

**Sayı
Issue**

4

**Ekim/October
2023**

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

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



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBITED

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

Sahibi

Owner

Ali ÖZTÜRK (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
Özlem ÖZKAN ÖNÜR
Vesile YALÇIN
Anıl DEMİRCAN
Ahmet AYTEĞİN
Nisa KAPLAN ERGÜL

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Ali ÖZTÜRK

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
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 Çadircı, 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
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 Onyediy 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 SİPAHIOĞLU, 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 KIŐIOĐLU, 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 HIZIROĐLU, Oklahoma State University, USA
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State
University, USA

Cilt
Volume

11

Sayı
Issue

4

Ekim/October
2023

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı
Publisher

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Düzce University Institute of Graduate Programs

Sahibi
Owner

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

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Publishing Manager

Ali ÖZTÜRK

Web Sayfası
Web Page

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

Basım Tarihi
Date of Publication

Ekim 2023
October 2023

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

<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

*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

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 2053-2067 In Silico Analysis of Pulmonary Arterial Hypertension to Identify Key Biomarkers at Protein and RNA Levels
RNA ve Protein Seviyelerinde Temel Biyobelirteçleri Belirlemek İçin Pulmoner Arteriyel Hipertansiyonun In Silico Analizi
Sevinç AKÇAY
- 2103-2136 Histopathological Effects of Environmental Pollutants on the Reproductive System of Zebrafish
Çevresel Kirleticilerin Zebra Balığı Üreme Sistemi Üzerindeki Etkileri
Şevval KOÇAK, Sevda BAĞDATLI, Kerem İKİCAN, Nazan Deniz YÖN
- 2137-2144 *Plantago lanceolata* L. Seed Coat Variation and Its Implications on the Usage of Seed Micromorphology Among Widespread Taxa
Plantago lanceolata L. Taksonunda Tohum Kabuk Varyasyonu ve Bunun Yaygın Bitki Taksonlarında Tohum Yüzey Karakterlerinin Kullanımına Etkileri
Almila ÇİFTÇİ
- 2145-2154 MgAlSi üçlü Alaşımının Üretimi ve in-vitro biyo Uyumluluk İncelemesi
Production of MgAlSi Ternary Alloy and in-vitro bioCompatibility Investigation
Yusuf SAĞIR, Hanife ÇAKAL, Esmâ ELMACI, Bünyamin ÇİÇEK
- 2155-2167 VBiosynthesis of Iron, Copper and Silver Nanoparticles Using *Polygonum Cognatum* and *Tragopogon Porrifolius* Extracts and Evaluation of Their Antimicrobial Potentials
Polygonum Cognatum ve *Tragopogon Porrifolius* Ekstraktları Kullanılarak Demir, Bakır ve Gümüş Nanopartiküllerin Biyosentezi ve Antimikrobiyal Potansiyellerinin Değerlendirilmesi
Özlem KAPLAN, Nazan GÖKŞEN TOSUN

Derleme Makale / Review Article

- 2209-2224 Virüslerin Kodladığı Uzun ve Kısa Kodlamayan RNA'lar
Virally-Encoded Long and Short Non-Coding RNAs
Mehmet KARA

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ/BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1725-1732 Duygu Analizi ve Topluluk Öğrenmesi Yaklaşımları ile Kullanıcı Yorumlarının Analizi
Analysis of User Comments with Sentiment Analysis and Ensemble Learning Approaches
Adham Jolosi Jolosi ZADA, Ahmet ALBAYRAK
- 1794-1809 Eş Zamanlı Veri Transferi ile Lcr-Metre ve Doğru Akım Kaynaklarının Senkron Çalıştırılması Sağlanarak Yarıiletken Cihazların Karakterizasyonunda Yeni Yöntem Geliştirilmesi
Developing A Novel Method for The Characterization of Semiconductor Devices by Providing Synchronous Operation of Lcr-Meters and Direct Current Sources by Using Real-Time Data Acquisition
Gülçin ERSÖZ DEMİR, İbrahim YÜCEDAĞ, Ercan ŞAHİN, Yakup BAKIŞ
- 1810-1828 Yerel Yönetimlerin Sosyal Medya Kullanımlarının Metin Madenciliği ile Analizi
Analysis of Local Governments' Social Media Use by Text Mining
Gökçe KARAHAN ADALI, Ece ÜNÜR
- 1829-1846 DevOps Test Süreç Geliştirmede Yeni Bir Model Önerisi
A New Model Approach for DevOps Testing Process Improvement
Asım Kerem HANCI, Sevinç GÜLSEÇEN
- 1861-1884 Güncel Metasezgisel Algoritmalarının Performansları Üzerine Karşılaştırılmalı Bir Çalışma
Comparison of Current Metaheuristic Algorithms with Different Performance Criteria
Sibel ARSLAN
- 2022-2038 Determination of The Most Suitable Milking Machine with Macbeth and Gray Relational Analysis Methods
Macbeth ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri İle En Uygun Süt Sağım Makinesinin Belirlenmesi
Hakan Murat ARSLAN, İsmail DURAK, Adem KÖSE

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

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1715-1724 Examination of the Reliability of a Robustness Test for the Self-Directed Channel Carbon-Based Memristors by Reading Their DC Resistance
Kendiliğinden Kanal Oluşturmalı Karbon Tabanlı Memristörler İçin DC Dirençlerini Okuyarak Yapılan Bir Sağlamlık Testinin Güvenilirliğinin İncelenmesi
Ceylan DALMIŞ ERCAN, Ertuğrul KARAKULAK, Reşat MUTLU
- 1913-1929 Farklı İklim Özelliklerine Sahip Fotovoltaik Panel ve Enerji Depolama Entegreli Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Teknik, Ekonomik ve Çevresel Optimizasyonu
Technical, Economic and Environmental Optimization of Electric Vehicle Charging Stations Integrated Photovoltaic Panel and Energy Storage with Different Climatic Characteristics
Alpaslan DEMİRCİ, Zafer ÖZTÜRK
- 1946-1957 Düşük Maliyetli GSM Tabanlı Ev Güvenlik Sistemi
Low Cost GSM Based Home Security System
Cihan YILDIRIM, Veysel Gökhan BÖCEKÇİ
- 1996-2005 Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag Aygıtının Akım-Gerilim Karakteristiklerinin İncelenmesi
Investigation of Current-Voltage Characteristics of Cr/Chlorophylla/n-GaP/Ag Device
Fikriye Şeyma KAYA
- 2068-2093 Vücut Yağ Yüzdesi Tahmini İçin Özellik Seçim Yöntemlerinin Karşılaştırılması
Comparison of Feature Selection Methods for Estimation of Body Fat Percentage
Asude ALTIPARMAK BİLGİN, Burhan BARAKLI
- 2094-2102 Design Of Gravity Separator For Recovery Of Two Different Metal Group
Farklı İki Metal Grubun Geri Kazanımı İçin Gravite Ayırıcısı Tasarımı
Hasan ER, Ziya ÖZÇELİK
- 2246-2254 CO₂ Gaz Sensörü Uygulamaları İçin CuO İnce Film Üretimi ve Karakterizasyonu

Telekomünikasyon Sektöründe Müşteri Kaybının Makine Öğrenmesi
Yöntemleriyle Analizi

Mehmet Fatih GÖZÜKIZIL, Enes NAYMAN

İNŞAAT / METALURJİ ve MALZEME / ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

1847-1860 Biyolojik ve İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Karbon Ayak
İzinin Yaşam Döngüsü Temelinde Belirlenmesi
LCA-based Carbon Footprint of Biological and Advanced Biological
Wastewater Treatment Plants

Simge ÇANKAYA

1897-1912 Afet Bölgesindeki Bazı Yerleşim Alanlarının Geoteknik Açından
Değerlendirilmesi: Bartın-Amasra Örneği
Geotechnical Evaluation of Some Settlement Areas in the Disaster
Region: The Case of Bartın-Amasra

Fatih GÖKTEPE

1930-1945 Hafif Çelik Elemanlar için İki Boyutlu Görüntülerden Üç Boyutlu
Yüzey Ağı Elde Edilmesi
Obtaining Three-Dimensional Surface Meshes from Two-Dimensional
Images for Cold-Formed Steel Members

Burcu GÜLDÜR ERKAL

1958-1971 A Simplified Approach to Determine Shear Strength for Corroded RC
Beams
Korozyona Uğramış Betonarme Kirişler için Kesme Dayanımını
Belirlemeye Yönelik Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım

Gamze DOĞAN

1972-1995 The Seismic Behavior of Buildings with Flat Slab Systems under
Near-Fault Ground Motions
Düz Döşemeli Binaların Yakın Fay Yer Hareketleri Altındaki Sismik
Davranışı

Hasan SESLİ, Yusuf SÖNMEZOĞLU, Mehmet Emin ARSLAN

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

Araştırma Makalesi/ Research Article

1666-1685 Çikolata Endüstrisinde Bulanık AHP Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi
Supplier Selection With Fuzzy AHP Method In Chocolate Industry

Barış KANTOĞLU, Şule GÖKÇE

- 2006-2021 SCR Sistemlerinde Kullanılan Üre Mikserlerinin Akış Davranışlarının İncelenmesi
Investigation of Flow Behavior of Urea Mixers Used in SCR Systems
Buğra BAŞIHOŞ, Suat SARIDEMİR
- 2039-2052 Enlem-Rakım-Boylam İlişkisinin Soğutma Yüküne Etkisinin Ege Bölgesi İlleri İçin Araştırılması
Research of the effect of the Latitude-Altitude-Longitude relationship on the Cooling Load for the Aegean Region
Sinan TUNA, Kemal ERMİŞ, Mustafa ERTÜRK
- 2185-2208 Analysis of Customer Churn in Telecommunication Industry with Machine Learning Methods
Telekomünikasyon Sektöründe Müşteri Kaybının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Analizi
Özge Nalan BİLİŞİK, Damla Tuğba SARP
- 2225-2235 Drilling Vanadis 4E with Coated Drills; Examination of Wear, Surface Roughness, and Chip Formation
Vanadis 4E'nin Kaplamalı Matkaplarla Delinmesinde; Aşınma, Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumunun İncelenmesi
Salih KORUCU, Gürkan SOY, Gürcan SAMTAŞ

ORMAN/ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ/ZİRAAT MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1758-1771 Asbest Söküm İşleri Risk Değerlendirmesi
Risk Assessment in Asbestos Removal Works
Özgen MOGAN, Celal GÜNGÖR
- 1885-1896 Yaprak Alanı Özelliklerine Farklı Dönemlerde Yapılan Yaprak Alma ve Salkım Seyreltme Uygulamalarının Etkileri
The Effects of Leaf Removal and Cluster Thinning Applications at Different Periods on Leaf Area Properties
İlknur KORKUTAL, Elman BAHAR, Serhan AZSÖZ
- 1733-1746 Doğu Pontid Volkanik Kuşağında Yer Alan Tersiyer (Eosen) Yaşlı Volkaniklerin Petrolojik Özellikleri: Yusufeli (Artvin) Civarında Yüzeyleyen Volkanik Kayaçlar
Petrological Characteristics of Tertiary (Eocene) Volcanics Located in the Eastern Pontid Volcanics Belt: Volcanic Rocks Outcropping Around Yusufeli (Artvin)
Ashhan YILMAZ, Necla KÖPRÜBAŞI

Çevre MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 2236-2245 Detection of Pipes Causing Pressure Loss in Water Distribution Networks via Artificial Immune Systems
Su Dağıtım Şebekelerinde Basınç Kaybına Neden Olan Boruların Yapay Bağışıklık Sistemleri ile Tespit Edilmesi
Miraç ERYİĞİT

FİZİK/ KİMYA/ MATEMATİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1686-1699 A Study on the Physical, Optical and Radiation Shielding Capabilities of Phosphate Zinc Telluride Glasses as a Result of ZnO/In₂O₃ Translocation
Fosfat Çinko Tellürit Camlarda ZnO/In₂O₃ Yer Değişimi Sonucu Fiziksel, Optik ve Radyasyon Zırhlama Yetenekleri Üzerine Bir Çalışma
Erkan İLİK
- 1700-1714 ICP-MS Analysis and Validation by Microwave Digestion System for Determination of Heavy Metals in Allergy and Cancer Drugs Taken Orally
Oral Yol ile Alınan Alerji ve Kansere İlaçlarında Ağır Metallerin Tayini için Mikrodalga Çözünürleştirme Sistemi ile ICP-MS Analizi ve Validasyonu
Elif KÖSE, Aslihan DALMAZ, Sezen SİVRİKAYA ÖZAK
- 1747-1757 2-Formilpiridin N(4)-Metil Tiyosemikarbazon Ve 2-Asetilpiridin N(4)-Etil Tiyosemikarbazon Moleküllerinin Teorik Olarak İncelenmesi
Theoretical Investigation Of 2-Formylpyridine N(4)-Methyl Thiosemicarbazone And 2-Acetylpyridine N(4)-Ethyl Thiosemicarbazone Molecules
Metin TOPRAK, Ömer TAMER, Göksel DAYLAN ESMER
- 1772-1781 Urysohn Tür İntegral Denklem ile Verilen Kontrol Sistemin Yörüngeler Kümesinin Özellikleri Üzerine
On the Properties of the Set of Trajectories of the Control System Described by Urysohn Type Integral Equation

Nesir HÜSEYİN

1782–1793 Synthesis of Metal (Ni) Doped Metal Oxide (ZnO) Heteronanostructures and Investigation of Their Morphological-Optical Properties
Metal (Ni) Katkılı Metal Oksit (ZnO) Heteronanoyapıların Sentezi ve Morfolojik-Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa BİÇER

2168–21755 Bazı *o*-Hidroksi Enaminon Türevlerinin ve Sikloheksadienin Tetrachloro-1,4-benzoquinone (TCB) Ortamında Tandem Oxidative-Reaksiyonu ile Sentezi
Synthesis of some *o*-Hidroksi Enaminone Derivatives and Cyclohexadiene by Tandem Oxidative-Reaction in Tetrachloro-1,4-benzoquinone (TCB) Medium

Nesimi ULUDAĞ

2176–2184 Kontrollü Metotreksat Salımı İçin Selüloz Temelli Poliüretan Yapıların Sentezi ve Yapısal Özelliklerinin Karakterizasyonu
Synthesis and Characterization of Structural Properties of Cellulose-Based Polyurethane Structures for Controlled Methotrexate Release

Fatma Bilge EMRE, Fadime Nilüfer KIVILCIM



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çikolata Endüstrisinde Bulanık AHP Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi

 Barış KANTOĞLU^a,  Şule GÖKÇE^b

^aEndüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^bEndüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bariskantoglu@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1014146

Öz

Alternatif tedarikçiler arasından en uygun olana karar vermeyi sağlayan tedarikçi seçimi problemi, tedarik zinciri performansını ve işletmenin başarısını artırmada etkili olan bir karar verme sürecidir. Tedarikçi seçimini değerlendirmede, kalite, fiyat, teslimat, performans, etkileşim gibi faktörler ve alt kriterlerin çok sayıda olması karmaşık bir yapı oluşturur. Bu çalışmada, bir çikolata üretim işletmesinde tedarikçi seçiminde önemli kriterleri belirleme amacıyla, Bulanık AHP Yöntemi kullanılmıştır. Veri toplama sürecinde, hazırlanan ikili karşılaştırma anketleri, işletmede görevli dört uzman ile yüz yüze görüşülerek doldurulmuştur. Verilerin analiz edilmesi sonucunda en iyi tedarikçi sıralaması tedarikçi3, tedarikçi 2 ve tedarikçi 1 olarak ortaya çıkmıştır. Tedarikçi 3, 0,4862 değeri ile en iyi tedarikçidir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık AHP, Çok Kriterli Karar Verme, Dilsel Değişkenler, Tedarikçi Seçimi

Supplier Selection With Fuzzy AHP Method In Chocolate Industry

ABSTRACT

The supplier selection problem, which enables to decide the most suitable one among the alternative suppliers, is a decision-making process that is effective in increasing the supply chain performance and the success of the business. Factors such as quality, price, delivery, performance, interaction and a large number of sub-criteria create a complex structure in evaluating supplier selection. In this study, the Fuzzy AHP Method was used to determine the important criteria for supplier selection in a chocolate production company. During the data collection process, the prepared pairwise comparison questionnaires were filled in by face-to-face interviews with four experts working in the enterprise. As a result of the analysis of the data, the best supplier ranking has emerged as supplier, supplier 2 and supplier 1. Supplier 3 is the best supplier with a value of 0.4862.

Keywords: Fuzzy AHP, Multi-Criteria Decision Making, Linguistic Variables, Supplier Selection.

I. GİRİŞ

Tedarik zinciri bir mamulün ilk ham durumundan işlenip tüketiciye ulaşma sürecinin tüm hatları ve alt basamakları ile kapsayan bir bütündür. Süreç içerisinde hammadde, tedarikçi, satın alma, üretim, ARGE ve lojistik gibi birçok süreci içerisinde barındırmaktadır. Süreçlerin birbiri ile bağlantısının yönetimini yalın ve etkin kılınarak sürecin ilerlemesini sağlayan zincire Tedarik Zinciri denmektedir. Tedarik zincirinde ana halkalardan bir tanesi tedarikçidir. İşletmeler tedarikçileri ile sektördeki rekabeti geliştirmek ve bünyesindeki memnuniyeti arttırmak için belirli beklentiler ortaya koymaktadır [1].

Günümüzde üreticiler için ürün yaşam süreçleri kısalmıştır ve beraberinde müşterilerin daha kaliteli, ucuz, hızlı, esnek mal ve hizmet arayışları ortaya çıkmıştır. Sadece fiyat veya tek bir kriter üzerinden değil birden fazla kriterler değerlendirilerek tedarik süreci karmaşık ve rekabetin yoğun olduğu bir durum haline gelmiştir. Tedarikçi seçimi tüm bu kriterler altında üreticiler ve işletmeler açısından maliyet faktörünün öne çıkması ile daha da önem kazanmıştır. İşletmelerin mevcut raporları incelendiğinde tedarik edilen hammadde oranları toplam maliyetlerin %70 oranında karşılayabilmektedir. Bu oranın yüksek bir yüzdeye sahip olması tedarikçi seçiminin önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir [2].

İşletmelerde üretilen ürünler için istenen hizmete göre belirli kriterler tanımlanmıştır. Bu kriterlerin ana amaçları tedarik etme olasılıkları yüksek ve bunlar arasından işletme için en iyi olan tedarikçiyi seçmektir. Fakat bu konuda işletme içerisinde veya tedarikçiden kaynaklanan problemler ortaya çıkabilmektedir. Problemler beraberinde daha karmaşık problemleri de getirmektedir. Bunun nedeni tedarikçiler arasından tam olarak seçim yapılamaması, seçimde birbiri ile çelişen fikirler veya kriterlerin bulunması ve nicel veya nitel ifadelerin birbiri ile çelişkili kararsızlıkları oluşturmalarıdır [3].

İşletmelerde tedarikçiler kritik öneme sahip bir rolde bulunmaktadır. İşletme içerisindeki stratejik kararların alınabilmesi ve kaliteli ürün ortaya koymak adına tedarikçiler ile yapılan tüm anlaşma ve süreçler ürün çıktısına etkisi büyüktür. Tedarikçiler ile etkili iletişim ve iyileştirme faaliyetleri işletmenin performansını da büyük ölçüde arttırmaktadır [2].

İşletmelerin asıl amaçları müşteri isteklerini zamanında teslim etme ve bütüne kar sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda ise belirlenen faaliyetler ile çalışmalarını daha iyiye ilerletmek istemektedir. Tedarikçi ile doğru amaçta birleşen ve ilişkisi kuvvetli olan işletmeler bütüne kar sağlayacaktır. Başka bir bakış açısı ile işletmenin bağlı olduğu tedarikçiler ile uzun vadede çalışabilmesi için stratejik hedeflerinin uyumlu olması gerekmektedir. Tedarikçi seçimlerinde değerlendirilen tedarikçilerin fazla olması ve belirlenen kriterlerden yüksek hedeflerde tutulması gibi faktörlerde değerlendirmede tutarsızlığa ve çelişkili sonuçlara neden olabilmektedir [4].

İşletmelerin gelecekte faaliyetlerine devam edebilmesi, hammadde tedariki açısından gelişmiş ve bununla beraberinde maliyetini azaltmak için doğru tedarikçi ile işlemlerini sürdürmesi amaçlanmıştır. Doğru tedarikçi ile işlemlerini sürdüren işletmeler müşteri isteklerini zamanında karşılama, kalite, maliyet ve performans gibi kriterler altında işletme verimliliğini arttırmaktadır [5].

A. TEDARİKÇİ SEÇİMİ KRİTERLERİ

Tedarikçi seçiminin amacı, tedarikçiler arasından işletme için en uygununu ve yüksek potansiyelli tedarikçileri belirlemektir. Tedarikçiyi seçmek için belirli kriterler arasında değerlendirmeler, karşılaştırılmalar yapılmaktadır. Yapılan karşılaştırılmalar için belirlenen kriterler işletmeden işletmeye farklılık gösterebilir [6].

Tedarikçi seçimi kriterleri kalite, maliyet, teknoloji ve performanstır. İşletmelerin tedarikçi seçimi konusunda isteklerini tam olarak karşılayabilen tedarikçi ile çalışması oldukça zordur. Tedarikçilerin farklı kriterlerde birbirilerine karşı üstün oldukları alanlar vardır bu nedenden dolayı seçimi zor bir hale getirmektedir. İşletmeler tedarikçi seçimlerini önemli fonksiyonları ile belirlemekte ve bu değerlendirmeler sonucunda kararlarını vermektedirler. Tedarikçi seçimi bir işletmenin sektör içindeki uzun vadede başarısını etkileyen ve rekabete karşı direnmesinde önemli bir paya sahiptir [7].

İşletmelerde tedarikçi seçimleri alınan malzemelerin maliyetlerinin düşük olması, stok seviyelerinin minimum tutulması ve buna bağlı olarak da stok maliyetlerinin düşük olması büyük önem arz etmektedir. Alınan malzemelerin kaliteli olma istediği ile bazen bu değerler çelişebilmekte ve karmaşık bir problem ortaya çıkmaktadır. Tedarikçi ile kurulan iletişimin ve sürekliliğinde bu değerlere eklenmesi ile problemin önemini arttırmaktadır. Tedarikçi seçimlerinde bu problemler için nitel ve nicel kriter belirlenmekte ardından değerlendirmeler yapılmaktadır [8].

İşletme tedarikçilerini seçerken istek ve beklentilerini her bir tedarikçi için değerlendirmelidir. Değerlendirmede kullanılan kriterler her bir tedarikçi için uygun ve işletmenin stratejilerini yansıtacak, profiline ihtiyaçlarına uygun olacak şekilde olmalıdır. Kriterlerin ortak bir kriter olarak değerlendirilmesi tedarikçiler için objektif bir karar sağlanmasında oldukça önemlidir [9].

Literatürde tedarikçi seçimi için birçok çalışma vardır. Bu çalışmaların genelinde kullanılan tedarikçi seçimi kriterlerinin, Dickson'un geliştirdiği çalışmadan referans alındığı bilinmektedir . 1966 yılında Amerika ve Kanada ülkelerinden 273 müdür ve satın alma görevlisi ile bu kriterlerin belirlenmesi amacı ile çalışma gerçekleştirmiştir [10]. Tablo 1.'de Dickson tedarikçi seçimi kriterleri verilmiştir. 23 adetten kriterden oluşan çalışmada, analizler sonucunda kriterlerin önem dereceleri sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. *Tedarikçi seçiminde önemli kriterler [10].*

Sıra No	Kriterler	Önem Derecesi Puanı	Önem Derecesi
1	Kalite	3.508	Çok Önemli
2	Teslimat	3.417	
3	Performans	2.998	
4	Garanti	2.849	
5	Üretim Kapasitesi	2.775	Önemli
6	Fiyat	2.758	
7	Teknik Kapasite	2.545	
8	Finansal Durum	2.514	
9	Adaptasyon	2.448	
10	İletişim	2.426	
11	Sektördeki Durum	2.412	
12	Motivasyon	2.256	
13	Organizasyon	2.216	
14	Üretim Kontrol/ Maliyet	2.211	
15	Bakım ve Onarım	2.187	Orta Düzeyde Önemli

16	Davranış	2.120	
17	Etki ve İzlenim	2.054	
18	Paketleme Kabiliyeti	2.009	
19	Personel Kayıtları	2.003	
20	Coğrafik Konum	1.872	
21	Deneyim	1.597	
22	Akademik Eğitim	1.537	
23	Tedarikçi anlaşmaları	0.610	Az Önemli / Önemsiz

B. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde seçilen nitel ve nicel kriterler, karar verilen alternatiflere göre analiz edilir. Gerçek hayat koşullarında bu değerlendirilmeler için nitel veriler ile belirsizlikler oluşmakta, ölçeklerin karşılaştırmasında zorluklar meydana gelmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri ise bu belirsizlikleri ortadan kaldırmak, çözüme nitel ve nicel verileri karşılaştırılarak mutlak sonuçlar ortaya koymaktadır [11,12].

Çok kriterli karar verme yöntemleri içerisinde problem ve analiz için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde ağırlıklandırılma metodolojisi ile Entropi, Dematel ve Swara metodlarının yanı sıra sınıflandırma metodolojisinde ise Topsis, Vikor, Aras vb. yöntemler kullanılmaktadır [12]. Bazı kriterler belirsiz, anlamsız ve tanımlanmamış değerlerden oluşabilir. Bu sebeple bulanık küme teorileri kullanılmaktadır [14,15].

C. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatür içerisinde tedarikçi değerlendirme ve AHP yöntemlerine ilişkin çeşitli analizler ve çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar iki grupta listelenecektir. İlk grupta AHP yöntemine ilişkin çalışmalar incelenmiş olup sektördeki çalışmaların literatüre katkısı ve çalışma sonuçları Tablo 2.'de sunulmuştur. İkinci grupta ise tedarikçi seçimi için oluşturulan çalışmalar incelenmiş olup, tedarikçi seçiminde öngörülen kriterler, çalışma yöntemleri ve çalışma sonucunda çeşitli yöntemlerin karşılaştırması Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Literatürdeki AHP-BAHP yöntemine ilişkin çalışma karşılaştırmaları

YAZAR	YÖNTEM	EK YÖNTEM	SEKTÖR	YIL	Çalışma Konusu /Amacı
Alkan ve Akman	BAHP	Chang	Otomotiv	2006	Tedarikçi Performans Değerlendirme
A. Öztürk İ., Ertuğrul N. Karakaşoğlu	BAHP	Topsis	İmalat	2008	Nakliye Firması Seçimi
N. Tayyar	BAHP	Chang	Gıda	2012	Depo Yeri Seçimi
S. A. Tezergil	BAHP	Vikor	Bankacılık	2016	Performans Analizi

C.Çetinkaya E.ÖzceylanM.ErbaşM.Kabak	BAHP	Bulanık Topsis	Lojistik	2016	Performans Analizi
V.A. Yavuz	BAHP	Buckley	Eğitim	2017	Oy seçim kriterlerinin önem düzeyinin belirlenmesi
Ü.Özdemir	BAHP	Buckley	Denizcilik	2018	Gemi adamı Kalite Arttırılması
E.FattahiM.Khalilzadeh	BAHP	Moora	Üretim	2018	Risk Değerlendirme
B.SennaroğluG.V.Çelebi	BAHP	Vikor-Promethee	İnşaat	2018	Yer Seçimi
H.Can	BAHP	Chang-Buckley	Ormancılık	2020	Orman yolları yönetim stratejisi belirleme
A.AcerS.Kalender	BAHP	Topsis	Lojistik	2020	Performans Değerlendirme
F.S.Madenöğlu	BAHP	Bulanık Swara-BulanıkTopsis-Bulanık Waspas- Baras	Lojistik	2020	Personel Seçimi
E.D.E.HamamcıY.ÜnalY.Kahreman	BAHP	Buckley-Topsis	Tarım	2021	Ekonomik Performans Analizi
D.YazırD.Gedik	BAHP	Chang-Buckley	Denizcilik	2022	Aritma Sistemi Seçimi

Tablo 3. Literatürdeki tedarikçi seçimine yönelik çalışma karşılaştırmaları.

YAZAR	YÖNTEM	EK YÖNTEM	SEKTÖR	YIL	Çalışma Konusu /Amacı
H.Güner	AHP	ANP	Mermer Traverten	2005	Tedarikçi Seçimi
S.Karagöz	AHP	-	İnşaat	2009	Tedarikçi Seçimi
E.Ada Y.Kazançoğlu	BAHP	Chang	Parekende	2010	Tedarikçi Seçimi
G.Akyüz	BAHP	Bulanık Vikor	Mobilya Üretim	2012	Tedarikçi Seçimi

A.Y.Yalçın B.Denizhan Ş.Berber	BAHP	Chang	İmalat	2017	Tedarikçi Seçimi
A.Awasthi K.Govindan S.Gold	BAHP	Vikor	Üretim/ Parekende	2018	Tedarikçi Seçimi
H.Zhang J.Wang T.Wang Z.Tian	BAHP	Topsis	Gıda	2018	Tedarikçi Seçimi
A.K.Sangaiah N.Thoduka R.Aggarwal S.Sakhuja V.Jain	BAHP-	Topsis	Otomotiv	2018	Tedarikçi Seçimi
A.Azimid fardS.Ariafar S.H.Moosavirad	AHP	Topsis	Üretim	2018	Tedarikçi Seçimi
M.Öztürk T.Paksoy	BAHP-	Buckley- Aralık Tip 2	Üretim	2018	Tedarikçi Seçimi
A.Çalık	BAHP	Aralık Tip 2		2018	Tedarikçi Seçimi
E.Aydın G.Çağıl	BAHP	Buckley	Gıda	2020	Tedarikçi Seçimi
A.Onat S.Kaçtıoğlu	BAHP	Topsis	Parakende	2020	Tedarikçi Seçimi
B.Özcan Ç.Karabıçak M.K.Akay	BAHP	Chang	Otomotiv	2020	Tedarikçi Seçimi
Ç.Karabıçak Ç.Pamuk G.Akman	BAHP	Oreste	Savunma Sanayi	2021	Tedarikçi Seçimi
F.Çelik G.Çağıl	BAHP	Bulanık Topsis- Dematel - Bulanık Moora	Otomotiv	2021	Tedarikçi Seçimi
B.Coşkun M.Bayraktar M.S.Yıldız	Dematel	-	Ahşap İmalat	2022	Tedarikçi Seçimi
A.Çalık	BAHP	Baras	Tekstil	2022	Tedarikçi Seçimi
G.C.Yalçın K.Kara	BAHP	Topsis	Hizmet	2022	Tedarikçi Seçimi

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

Bu çalışmada bir çikolata üretim işletmesinde hammadde olan alkalize kakao kitlesinin tedarikçi seçimi yapılmıştır. İşletme bünyesinde birçok işlenen hammadde vardır ancak üretim ve satın alma fonksiyonları incelendiğinde en çok hammadde girdisi alkalize kakao kitlesidir. Ana üretimin %40'lık bir kısmını karşılamaktadır. Hammadde yüzdesinin büyük bir bölümünün bu hammadde olması işletme açısından büyük bir girdi demektir ve bu girdi için tedarikçiler arasında seçimi zorlaştırmaktadır. Karar verme aşamasında mevcut belirsizlikler ortaya çıkmakta ve bu belirsizlikleri ortadan kaldırmak, karar verici açısından bağımlılığı belirlemek için değerlendirilmeler yapılmıştır.

İşletme hammadde temini için üç adet tedarikçi ile çalışmaktadır. Ancak bazı koşullarda tedarikçi seçimleri değişmekte ve öncelik sırasına göre tam olarak hangi kriterler ve tedarikçiler olduğu bilinmemektedir. Yapılan görüşmeler ve değerlendirilmeler sonucunda maliyet, kalite, teslimat, profil ve performans olmak üzere beş ana kriter belirlenmiş ve bu kriterler altında tedarikçiler değerlendirilmiştir.

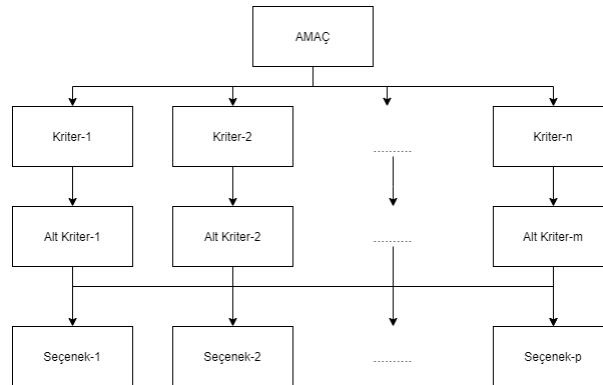
B. YÖNTEM

B.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Bilinen birçok karar verme yöntemlerinde veriler sayısal ifadeler ile karşılaştırılmaya çalışılır fakat sayısal ifadelerin yanı sıra nitel ifadeler de karar vermede büyük öneme sahiptir. Verilen kararın doğru ve tutarlı olabilmesi için nicel ve nitel ifadelerin birlikte kullanılması gerekmektedir. AHP, Thomas L. Saaty'nin geliştirdiği nicel ve nitel ifadelerin kullanılabilmesini sağlayan karar verme yöntemidir. Çok değişkenli karar modellerinde uygulanabilmektedir.

AHP temel olarak ikili değerlendirme ve karşılaştırmalara dayanmaktadır. Karşılaştırmalarda seçeneklerden hangisinin daha önemli, baskın veya tercih edilmesi gibi etkenler ile değerlendirilmesi yapılmaktadır. AHP değerlendirilmeler sonucunda en iyi tercihin belirlenmesine dayanmaktadır. Yöntemde nicel ve nitel ifadeler beraber kullanıldığından ve karmaşık karar problemlerini basit ve kolay çözüm üretebildiğinden çokça kullanılmaktadır [10]. Yöntemde kullanılan veriler kadar tecrübe ve bilgi de fazlaca önemlidir.

AHP'de ilk olarak problem belirlenir sonrasında bu probleme ait ana ve alt kriterler oluşturulur. Problem için alternatifler belirlenir ve bir hiyerarşik yapı oluşturulur. Hiyerarşik yapıda en üstte çözülmesi beklenen problemin amacı bulunur. Amacın altlarında ise probleme ait kriterler ve bu kriterlerin alt kriterleri yer alır. En alt kısımda ise problemin amacının gerçekleşmesi için seçenekler olmaktadır. Örnek bir hiyerarşi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Hiyerarşik Yapı

Problem için hiyerarşi oluşturulduktan sonra belirlenen kriterler üst sevide bulan kriterlere göre ikili karşılaştırılmaları yapılır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu bir matris elde edilir. Elde edilen matrisler ile kriterlerin önem derecesi belirlenmiş olur. Son olarak önem dereceleri karşılaştırılarak en iyi seçenek belirlenir. Hiyerarşi içerisinde bulunan tüm kriter veya seçenekler birbiri ile ilgili ve birbirini etkileyen yapıdadırlar. AHP yönteminin bu hiyerarşik yapısı karar verilmesinde esneklik ve etkinlik sağlar. Hiyerarşik yapı sayesinde birçok kriter bir araya getirilebilir farklı karşılaştırmalar yapılabilir.

B.2. Bulanık AHP

Günlük hayatlarımızda birçok olaylar için kesinliği düşünülen veya belirlenemeyen birçok durumlar ile karşılaşır fakat bu durumlar bazen kesinliği sağlamayabilir. Birçok olay veya olgu belirsizlik içermektedir. Bu belirsizlik karar verme süreçlerinde var olan karmaşıklıkların başında gelmektedir. Belirsizlik için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bulanık mantık teorisi ise bu yöntemlerin matematiksel olarak ifade edilmesini sağlayan bir yöntem olması ile en çok tercih edilen yöntem olmuştur [50]. AHP yönteminde karşılaşılan belirsizlikleri azaltmak için bulanık mantık ve AHP birleştirilerek çözüm sağlanabilmektedir. Karar vericinin kesin değerler ile değerlendirme yapması yerine aralıklı değerler eklenerek karar vericinin değerlendirme yapması sonuçların daha doğru ve güvenilir olmasını sağlayacaktır [16]. Bulanık AHP çalışmalarında en çok kullanılan ölçek, üçgensel bulanık sayı ölçeğidir. Tablo 4’de bu ölçek verilmiştir [3,17,19].

Tablo 4. Bulanık önem ölçekleri

Önem Düzeyi	Önem Derecesi	Üçgensel Bulanık Ölçek	Üçgensel Bulanık Ölçek Ters
1	Eşit Derece Önem	(1,1,1)	(1,1,1)
2	Zayıf Derecede Önemli	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
3	Orta Derecede Önemli	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
4	Orta Derecede Önemli	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
5	Kuvvetli Derecede Önemli	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
6	Kuvvetli Derecede Önemli	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
8	Aşırı Derecede Kuvvetli Önemli	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
9	Mutlak Derecede Önemli	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)

B.2.1 Chang Genişletilmiş Analiz Yöntemi

Genişletilmiş analiz yöntemi bulanık AHP uygulamalarında en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Bunun nedeni α -kesim seviyesine gerek kalmadan yöntemin kullanılmasıdır. Değerlendirmede gerçek sayı için öncelik değerleri genişleme prensibi yönteminden elde edilmektedir.

Chang tarafından geliştirilen yöntemde her nesneyi ele alan hedef için $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ nesnelere kümesi ve $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ hedef kümesi olmak üzere g_i değerleri oluşturulmaktadır. Var olan her nesne (m) için genişletilmiş analiz değerleri hesaplanır.

$$M^1_{g_i}, M^2_{g_i}, \dots, M^m_{g_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Denklemin içerisinde verilen $M^j_{g_i}$ değerleri üçgensel bulanık sayılardır [20].

Bulanık sayıların elde edilmesinin ardından i. nesneye ilişkin bulanık yapay değerler tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \right]^{-1} \quad (2)$$

$\sum_{j=1}^m M^j_{gi}$ İfadesinin elde edilebilmesi için m değerleri ile bulanık sayılar için toplama işlemi yapılmaktadır.

$$\sum_{j=1}^m M^j_{gi} = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \right]^{-1}$ İfadesinin elde edilmesi için M^j_{gi} değerleri için bulanık toplama işlemi yapılmaktadır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{gi} = \left(\sum_{i=1}^n l_j, \sum_{i=1}^n m_j, \sum_{i=1}^n u_j \right) \quad (4)$$

Toplama işleminin ardından hesaplanan vektörün tersi hesaplanacaktır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_j} \right] \quad (5)$$

Ardından $M_1 = (l_1, m_1, u_1) \leq M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ifadelerinin olasılık dereceleri tanımlanacaktır.

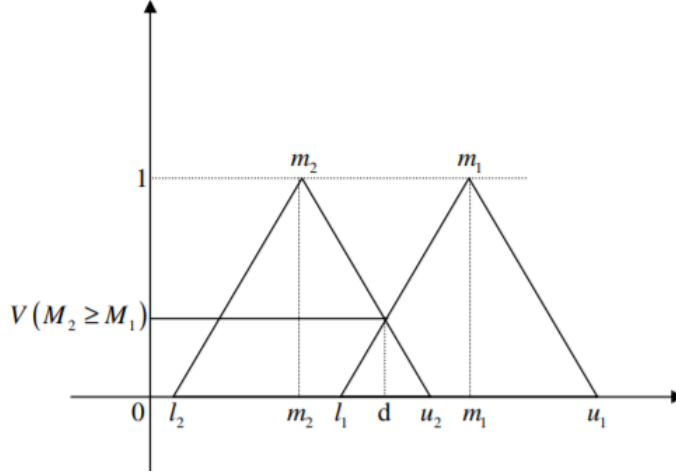
$$V = (M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (6)$$

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel bulanık sayı oldukları için;

$$V = M_2 \geq M_1 = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & , m_2 \geq m_1 \\ 0 & , l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & , \text{diğer durum} \end{cases} \quad (7)$$

İfadesi elde edilmektedir. $V (M_2 \geq M_1)$ ifadesi için $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ile tanımlanan üçgensel bulanık sayılar için kesiştiği noktaların ordinatları diğer bir ifade ile üyelik fonksiyonu değeridir.

$V (M_2 \geq M_1)$ ve $V (M_1 \geq M_2)$ değerlerinin ikisi bulunarak M_1 ve M_2 karşılaştırılır.



Şekil 2. Üçgen bulanık sayı kesişimi.

Konveks bulanık sayı için olasılık derecesi k konveks sayıdan M_i değerinden daha büyük olduğu durumda tanımlama denklem 8'deki gibi yapılmaktadır.

$$V = (M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] \quad (8)$$

$$= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

Verilen denklem için $k=1, 2, \dots, n$; $k \neq j$ olduğu durum için $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ şeklinde alınır ve ağırlık vektörü denklemi;

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (10)$$

Denklemden verilen A_i ($i=1, 2, \dots, n$) değeri n elemandan oluşmaktadır.

Ağırlık vektörü hesaplandıktan sonra normalize edilir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (11)$$

B.2.1 Buckley Analiz Yöntemi

Buckley 1985 yılında AHP metodundan yola çıkarak yeni bir teorem oluşturmuştur. Bu teoremden bulanık sayıları yamuk üyelik fonksiyonu kullanarak hesaplamış ve diğer yöntemlerden farklı olarak değer olarak bulanık sayıları kullanmıştır. Yöntemde AHP yönteminde dezavantaja sebep olan belirsizliği ortadan kaldırmak amaçlı ise a_{ij} kıyaslama niceliklerini teoreminde kullanmıştır [21].

Buckley tarafından oluşturulan teoremden \tilde{A}^k kıyaslama yapılan matrisi içermek üzere, d_{ij}^k değeri ise i değerinin j değerine göre bulanık değeridir.

$$\tilde{A}^k = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11}^k & \tilde{d}_{12}^k & \dots & \tilde{d}_{1j}^k \\ \tilde{d}_{21}^k & \dots & \dots & \tilde{d}_{2n}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{d}_{n1}^k & \tilde{d}_{n2}^k & \dots & \tilde{d}_{nn}^k \end{bmatrix} \quad (12)$$

Karşılaştırma matrisinin her bir değerinin hesaplanması adına K ürün veya belirlenen kriter, i müşteri, j tedarikçi olmak üzere \tilde{d}_{ij} bulanık değeri hesaplanır.

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_m^M = 1 \tilde{d}_{ij}^k}{K} \quad (13)$$

Denklem 13'te hesaplanan tüm değerler için n matris boyutu olmak üzere \tilde{A}^k bulanık matrisi oluşturularak bir araya getirilir.

$$\tilde{A}^k = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \dots & \tilde{d}_{ij} \\ \dots & \dots & \dots \\ \tilde{d}_{n1} & \dots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Matristeki değerlerin her bir satırı için denklem 15 kullanılarak geometrik ortalaması hesaplanır. Formül içerisindeki \tilde{r}_i kriterinin karşılaştırmasının geometrik ortalamasını, n kriter sayısını ve i ise her bir kriteri ifade etmektedir.

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Geometrik ortalaması hesaplanan her değer için denklem \tilde{w}_l kriterin bulanık ağırlık fonksiyonu olmak üzere her bir kriterin bulanık ağırlıkları hesaplanır. Denklem içerisindeki l_i minimum, m_i ortanca ve u_i ise maksimum değer olmak üzere \tilde{w}_l üçgensel bulanık sayısının ağırlıkları hesaplanır.

$$\tilde{w}_l = \tilde{r}_i \times (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} = (l_i, m_i, u_i) \quad (16)$$

Bulanık ağırlıkları hesaplanan değerler denklem 17 kullanılarak (COA merkezi metodu) durulaştırılır. D_i Durulaştırılmış değer fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$D_i = \frac{(l_i + m_i + u_i)}{3} \quad (17)$$

N_i Normalize fonksiyonu olmak üzere durulaştırılmış değer denklem 18 ile oluşturulur.

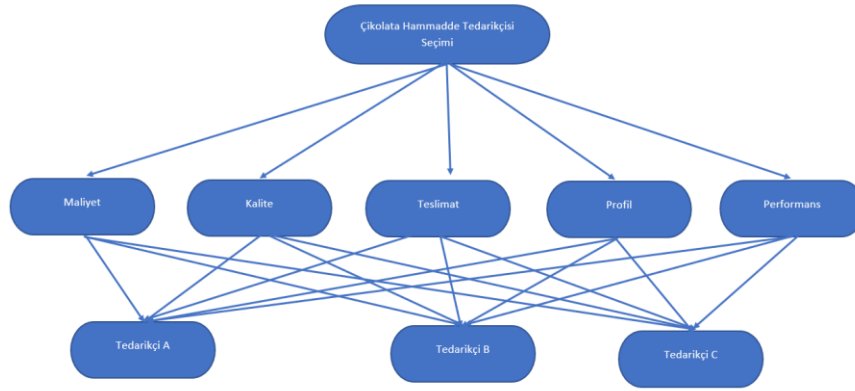
$$N_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (18)$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İşletme içerisinde alkalize kakao kitesi için mevcut üç tedarikçi ile çalışılmaktadır. Tedarikçi seçim kriterleri, işletme içerisindeki satın alma, hammadde, Ar-Ge, malzeme kalite güvence ve tedarikçi geliştirme uzmanları ile yüz yüze mülakat yapılarak veriler elde edilmiş ve analizler yapılmıştır.

Tablo 5. Uzman katılımcı profili

Uzman	Pozisyon	Öğrenim Durum	Tecrübe (Yıl)
1	Satın Alma Uzmanı	Lisans	5
2	Hammadde Ar-Ge Uzmanı	Doktora	7
3	Malzeme Kalite Güvence Yöneticisi	Doktora	12
4	Tedarikçi Geliştirme Yöneticisi	Lisans	9



Şekil 3. Problemin hiyerarşik yapısı.

Belirlenen kriterler eşliğinde matris değerleri için bulanık önem ölçekleri referans alınarak uzmanlardan veriler toplanarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Ana kriterlerin karşılaştırma matrisi.

	Maliyet	Kalite	Teslimat	Profil	Performans
Maliyet	(1,1,1)	(6,7,8)	(1/9,1/9,1/8)	(4,5,6)	(8,9,9)
Kalite	(1/8,1/7,1/6)	(1,1,1)	(1/9,1/8,1/7)	(4,5,6)	(7,8,9)
Teslimat	(8,9,9)	(7,8,9)	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/8)	(7,8,9)
Profil	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/9,1/9,1/8)	(1,1,1)	(4,5,6)

Performans (1/9,1/9,1/8) (1/9,1/8,1/7) (1/9,1/8,1/7) (1/6,1/5,1/4) (1,1,1)

İşlemedeki uzmanlardan alınan veriler ışığında tedarikçiler için alternatif karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisler, görsel açıdan daha net anlaşılması için birleştirilerek Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. Ana kriterlerin alternatif karşılaştırma matrisleri

Ana kriter	Alternatif Tedarikçiler			
	T1	T2	T3	
Maliyet	T1 (1,1,1)	(4,5,6)	(5,6,7)	
Kalite	T1 (1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(7,8,9)	
Teslimat	T1 (1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/5,1/4,1/3)	
Profil	T1 (1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)	(1/9,1/8,1/7)	
Performans	T1 (1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1/3,1/2,1/1)	

A. CHANG GENİŞLETİLMİŞ ANALİZ YÖNETİMİ SONUÇLARI

Chang genişletilmiş analiz yönteminde ana kriterlerin karşılaştırma matrisi için denklem 2 kullanılarak yapay değerler hesaplanır. Hesaplama sonucu yapay değerler aşağıdaki şekildedir.

$$S_{Maliyet} = (0.274, 0.340, 0.411)$$

$$S_{Kalite} = (0.126, 0.156, 0.195)$$

$$S_{Teslimat} = (0.324, 0.384, 0.456)$$

$$S_{Profil} = (0.071, 0.086, 0.109)$$

$$S_{Performans} = (0.029, 0.034, 0.042)$$

Denklem sonucunda kriterler için bulanık sayılar elde edilir. Bu değerler denklem 3 ile bulanık toplama işlemi yapılır. Ardından her bulanık sayı için denklem 4 tekrar her bir M_{gi}^j değeri için toplanarak denklem 5 ile vektörün tersi alınır. Denklem 6 kullanılarak ifadelerin olasılık dereceleri tanımlanmıştır. Denklem 7, 8 ve 9 için bulanık değer üyelik fonksiyonu ile hesaplanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Üyelik fonksiyonu değerleri.

Maliyet	0,28	0,34	0,41
Kalite	0,13	0,16	0,19
Teslimat	0,33	0,39	0,46
Profil	0,06	0,08	0,10
Performans	0,03	0,03	0,04

Daha sonra kriterler için ağırlık vektörü denklem 10 kullanılarak hesaplanır

$W' = (0.342, 0.159, 0.388, 0.088, 0.035)^T$ bulunmuştur. Ağırlık vektörü için normalizasyon işlemleri denklem (11) uygulandığında kriterlerin ağırlıkları $W = (0.338, 0.157, 0.383, 0.087, 0.035)^T$ olarak hesaplanır. Tedarikçilere ilişkin değerler işyerindeki uzmanlar tarafından değerlendirilerek benzer şekilde hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda tedarikçilerin birleşik ağırlıklarını bulmak üzere tüm kriter ağırlıkları, tedarikçi değerleri ile çarpılarak tedarikçilerin ağırlıkları elde edilmiştir.

Tablo 9. Chang yöntemi ile tedarikçi öncelik değerleri.

KRİTER	KRİTER ÖNCELİK DEĞERİ	TEDARİK	TEDARİK ÖNCELİK DEĞERİ
Maliyet	0,338	T1	0,681
		T2	0,258
		T3	0,061
Kalite	0,157	T1	0,227
		T2	0,709
		T3	0,064
Teslimat	0,383	T1	0,113
		T2	0,212
		T3	0,675
Profil	0,087	T1	0,074
		T2	0,262
		T3	0,665
Performans	0,035	T1	0,121
		T2	0,44
		T3	0,439

Tablo 10. Tedarikçilerin kriter ağırlıkları.

Tedarikçiler	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
Önem Derecesi	0,320	0,318	0,362

Yapılan tüm işlemler sonucunda problem genişletilmiş analiz yöntemi ile tedarikçiler için beş ana kriter altında değerlendirilmeler yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda tedarikçilerin öncelik değerleri belirlenmiştir. Öncelik değerleri sırasıyla tedarikçi 3, tedarikçi 1 ve tedarikçi 2 şeklindedir. Dilsel ve bulanık sayılar kullanılarak yapılan karşılaştırmalar neticesinde işletme için en iyi tedarikçi 0.362 değeri ile 3. Tedarikçidir. Sonuçlar Tablo 10'da gösterilmiştir.

B. BUCKLEY YÖNTEMİ SONUÇLARI

Buckley analiz yönteminde tablo 6'da verilen ana kriterlerin karşılaştırma matrisi denklem 12 ve 13 ile bulanık değerleri hesaplanır ve denklem 14 ile değer matrisi oluşturulur. Ardından denklem 15'ten kriter sayısına bağlı olarak geometrik ortalaması hesaplanır. Hesaplama sonucu geometrik ortalama matrisi Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Ana kriterlerin geometrik ortalaması.

	Maliyet	Kalite	Teslimat	Profil	Performans
Maliyet	1,000	6,952	0,116	4,932	8,277

Kalite	0,144	1,000	0,126	4,932	7,958
Teslimat	8,653	7,958	1,000	0,116	7,958
Profil	0,203	0,203	0,116	1,000	7,958
Performans	0,116	0,126	0,126	0,203	1,000

Geometrik ortalaması verilen kriterlerin denklem 16 dahilinde \tilde{w}_i bulanık ağırlıkları hesaplanır.

Tablo 12. Kriterlerin geometrik bulanık ortalama matrisi.

	$\tilde{r}1$	$\tilde{r}2$	$\tilde{r}3$
Maliyet	1,844	2,036	2,221
Kalite	0,828	0,935	1,052
Teslimat	5,004	5,533	5,800
Profil	0,415	0,467	0,542
Performans	0,187	0,203	0,230

Tablo 13. Bulanık ortalama ağırlıkları.

$\tilde{r}1$	8,278
$\tilde{r}2$	9,174
$\tilde{r}3$	9,844

Denklem 16 sonucu l_i minimum, m_i ortanca ve u_i ise maksimum değerleri her bir kriter için tablo 22’de eklenmiştir.

Tablo 14. Bulanık ortalama ağırlıkları matrisi.

\tilde{w}	l_i	m_i	u_i
Maliyet	0,223	0,222	0,226
Kalite	0,100	0,102	0,107
Teslimat	0,604	0,603	0,589
Profil	0,050	0,051	0,055
Performans	0,023	0,022	0,023

Bulanık ortalama ağırlık matrisi için denklem 17 kullanılarak durulaştırma ve denklem 18 kullanılarak normalize değerleri hesaplanır.

Tablo 15. Kriterlerin durulaştırılmış ve normalize edilmiş değer matrisi.

Maliyet	0,223
Kalite	0,103
Teslimat	0,599
Profil	0,052
Performans	0,023
Toplam	1,000

Tedarikçilere ilişkin değerler işyerindeki uzmanlar tarafından değerlendirilerek benzer şekilde hesaplanmıştır. Geometrik ortalaması hesaplanan her bir kriterin işlemleri ana kriter değerlendirmesine benzer şekilde yapılmıştır. Öncelikli denklem 16 ile üçgensel bulanık sayıların ağırlıkları hesaplanır, ağırlıklandırılan her bir kriter denklem 17 durulaştırma, denklem 18 ile normalize edilir. Yapılan her bir kriterin tedarikçi sonuçları tabloya eklenmiştir.

Tablo 16. Maliyet kriterinin geometrik ortalaması.

Maliyet	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
Tedarikçi 1	2,714	3,107	3,476
Tedarikçi 2	1,053	1,170	1,310
Tedarikçi 3	0,251	0,275	0,306
Normalize edilmiş değer matrisi			
Tedarikçi 1		0,046	
Tedarikçi 2		0,017	
Tedarikçi 3		0,004	

Tablo 17. Kalite kriterinin geometrik ortalaması.

Kalite	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
Tedarikçi 1	0,956	1,046	1,145
Tedarikçi 2	2,884	3,271	3,634
Tedarikçi 3	0,265	0,292	0,329
Normalize edilmiş değer matrisi			
Tedarikçi 1		0,015	
Tedarikçi 2		0,048	
Tedarikçi 3		0,004	

Tablo 18. Teslimat kriterinin geometrik ortalaması.

Teslimat	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
Tedarikçi 1	0,368	0,437	0,550
Tedarikçi 2	0,693	0,843	1,000
Tedarikçi 3	2,289	2,714	3,107
Normalize edilmiş değer matrisi			
Tedarikçi 1		0,023	
Tedarikçi 2		0,044	
Tedarikçi 3		0,141	

Tablo 19. Profil kriterinin geometrik ortalaması.

Profil	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
Tedarikçi 1	0,281	0,315	0,362
Tedarikçi 2	0,909	1,101	1,357
Tedarikçi 3	2,410	2,884	3,302
Normalize edilmiş değer matrisi			
Tedarikçi 1		0,015	
Tedarikçi 2		0,052	
Tedarikçi 3		0,134	

Tablo 20. Performans kriterinin geometrik ortalaması.

Performans	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
------------	-------------	-------------	-------------

Tedarikçi 1	0,347	0,415	0,550
Tedarikçi 2	1,260	1,518	2,000
Tedarikçi 3	1,000	1,587	2,080
Normalize edilmiş değer matrisi			
Tedarikçi 1		0,054	
Tedarikçi 2		0,198	
Tedarikçi 3		0,202	

Tablo 21. Buckley Yöntemi ile tedarikçi öncelik değerleri.

KRİTER	KRİTER ÖNCELİK DEĞERİ	TEDARİK	TEDARİK ÖNCELİK DEĞERİ
Maliyet	0,223	T1	0,0459
		T2	0,0174
		T3	0,0041
Kalite	0,103	T1	0,0154
		T2	0,0477
		T3	0,0043
Teslimat	0,599	T1	0,0234
		T2	0,0440
		T3	0,1411
Profil	0,052	T1	0,0150
		T2	0,0524
		T3	0,1345
Performans	0,023	T1	0,0544
		T2	0,1982
		T3	0,2022

Tablo 22. Tedarikçilerin kriter ağırlıkları

Tedarikçiler	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3
Önem Derecesi	0,1541	0,3597	0,4862

Karar verme problemlerinde, var olan kriterlerden bazı kriterler sübjektif olabilmektedir. Bu durumlarda çözüm için çok değişkenli karar verme metotları kolaylık sağlamaktadır. Bulanık AHP metodu ile farklı çözüm metotları uygulanmaktadır. Bu çalışmada bir çikolata üretim işletmesinin tedarikçileri değerlendirilmiştir. Chang (1996)'in çalışmasında genişletilmiş analiz yöntemi çözüm metodunun yanı sıra Buckley Yöntemi uygulanmıştır [22,23].Değerlendirme sırasında işletme tarafından uzmanlar ile görüşülerek tedarikçiler için kriterler Dickson tedarikçi seçim kriterleri baz alınarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterler eşliğinde tekrar uzmanlar ile görüşülerek bu kriterler için önem ölçekleri belirlenmiştir. Ardından ölçeklere ilişkin karşılaştırma matrisleri ve kriter ağırlıkları Chang ve Buckley yöntemleri ile elde edilmiştir. Sonuçta, Tablo 21 ve Tablo 22'de görüldüğü gibi, mevcut tedarikçiler arasından en iyi tedarikçinin, her iki yöntemde de Tedarikçi 3 olduğu belirlenmiştir.

IV. SONUÇ

Yapılan hesaplamalar sonucunda; bir çikolata işletmesinin tedarikçi seçim kriterlerinde öncelikli değerleri belirlenerek tedarikçi seçimi yapılmıştır. Tedarikçi seçiminin yapılması işletmenin uygun

kriter ağırlığına sahip tedarikçi ile uzun dönem anlaşmaları daha faydalı olacaktır. Bu fayda ile işletmede birden çok tedarikçiden kaynaklı standartlaşmamış ürün sorunlarının çözümü beklenmektedir.

Çalışmada işletmenin tedarikçi seçim kriterleri için önem sıralaması yapılmıştır. Nitel olarak belirlenen kriter sıralaması yerine, nitel ve nicel veriler birleştirilerek kriterler öncelikli olarak belirlenmiştir. İşletme içerisinde gıda sektöründe maliyetlendirme kriteri ilgili analizler yapılmadığından en önemli kriter olarak tedarikçi anlaşmaları yapılmaktaydı ancak çalışma sonucunda nicel ve nitel kriterler değerlendirilip en önemli kriterin Chang ve Buckley yöntemleri ile teslimat olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle işletme için ileride yapılacak olan tedarikçi anlaşmalarına bu kriterler dahilinde öncülük etmesi ve tedarikçilerin bu önlem ölçütleri dahilinde işletme ile daha verimli çalışacağı öngörülmektedir. Analizlerin sonucuna göre, Tedarikçi 3'ün maliyet, kalite, teslimat, profil ve performans kriterlerinde diğer tedarikçilerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple Tedarikçi 3, incelenen tedarikçiler arasında en iyi alternatif olarak seçilmiştir.

Çikolata endüstrisinde tedarikçi seçimi konulu çalışmamızda, iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birincisi, Chang yönteminde BAHF hesaplamalarında sadece bulanık üçgensel sayılar kullanılması ve sıfıra bölünme işleminden kaynaklı dezavantaj ile karşılaşılmaktadır. Bu nedenden dolayı Chang Yönteminden başka ikinci yöntem olarak Buckley Yöntemi ile tedarikçi değerlendirilmesi yapılmıştır. Buckley Yönteminde ise bulanık durum ve değer genişletilmesi daha basit ve net sonuç vermektedir. Ancak Buckley yöntemi hesaplaması işlemleri fazla adımdan oluşmakta olup, bu dezavantajını ise Chang Yönteminin hesaplama gereksinimleri daha az olması ile bu iki yöntem birbirinin dezavantajlarını tamamlamaktadır. Kullanılan yöntemlerin sonuçlarında ise Tedarikçi 3 her iki yöntemde de en iyi tedarikçi seçilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için farklı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri ile hesaplamalar elde edilip daha sonrasında bulanık ortamda incelenerek sonuçlar karşılaştırılabilir. Çalışmada belirlenen kriter ve tedarikçiler için ilgili fonksiyonlar arttırabilir ve birden fazla hammadde için işletmenin tedarikçi seçimi çözümü yapılabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] G. Cagıl ve F. Çelik, "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Tedarikçi Seçimi; Bir Traktör Fabrikası Örneği", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 23, sayı. 68, ss. 607-619, May. 2021.

[2] B.Coşkun, M.S.Yıldız ve M.Bayraktar, "Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönteminde Tedarikçi Değerlendirme Kriterinin Dematel Yöntemiyle İncelenmesi ve Ahşap Sektöründe Bir Uygulama", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, sayı 18, ss. 618-648, 2022.

[3] C.Muralidharan, N.AnantharamanandS.G.Deshmukh, "VendorRating in PurchasingScenario: A ConfidenceIntervalApproach", *International Journal of Operations &Production Management*, vol.21, pp. 1305-1325, 2001.

[4] Ç.Karabıçak, Ç.Pamuk ve G.Akman "Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Bulanık AHP & ORESTE Bütünleşik Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Savunma Sanayisinde Bir Uygulama", *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 8, sayı 2, ss. 788-807, 2021.

[5] C. Altınöz, "SupplierSelection in Textiles", A FuzzyApproach, GraduateFaculty of North Carolina StateUniversity, Doctor of Philosophy, pp. 163, 2001.

[6] M. Eren, S. Shirnaz ve Ü. Şengül "Türkiye'de İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırılmasına Göre Düzey 2. Bölgelerin Ekonomik Etkinliklerinin DEA Yöntemi ile Belirlenmesi ve Tobit Model Uygulanması", *Yönetim Bilimleri Dergisi*, c.11, sayı 21, ss. 75-99, 2013.

- [7] Ç. Karabıçak, B. Özcan ve M. Kocabaş Akay, "Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi Kullanılarak Bir Otomotiv Yan Sanayi Firmasında Tedarikçi Seçimi", *Veri Bilimi*, c. 3, sayı. 1, ss. 26-32, Tem. 2020
- [8] G. Büyüközkan, "Multi-Criteria Decision Making For E-Market Selection", *Internet Research*, volume 14, pp. 139-154, 2004.
- [9] A. Awasthi, K. Govindan ve S. Gold, "Bulanık AHP-VIKOR Tabanlı Bir Yaklaşım Kullanarak Çok Katmanlı Sürdürülebilir Küresel Tedarikçi Seçimi", *Uluslararası Üretim Ekonomisi Dergisi*, c. 195, ss.106-117, 2018.
- [10] G.W Dickson, "An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions", *Journal of Purchasing*, Volume 2, pp. 5-17, 1966.
- [11] A. Onat ve S. Kaçtıoğlu, "Bulanık AHP ve BULANIK TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 19, sayı. 37, ss. 65-79, Haz. 2020.
- [12] A. E. Yazgan ve H. Agamyradova, "SWARA ve MAIRCA Yöntemleri ile Bankacılık Sektöründe Personel Seçimi", *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, c. 16, sayı. 2, ss. 281-290, Ara. 2021.
- [13] Y. Uluköy ve Y. Vatansever, "Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemlerinin Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleriyle Seçimi: Üretim Sektöründe Bir Uygulama", *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 11, sayı2, ss. 274-293, 2013.
- [14] A. Öztürk, İ. Ertuğrul ve N. Karakaşoğlu, "Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık Topsis Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 25, sayı. 2, ss. 785-824, Mar. 2015.
- [15] G. Ayyıldız, "CIM Yatırımlarının Bulanık AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [16] T.L.Saaty, "Axiomatic Foundation Of The Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, vol. 32, pp. 841-855, 1986.
- [17] C. Kahraman, D. Ruanandand U. Cebeci, "Multi-Attribute of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey", *International Journal of Production Economics*, volume 87, pp. 171-184, 2004.
- [18] Chan, S. Kumar, "Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP Based Approach", *Omega*, volume 35, pp 417-431, 2007.
- [19] H. Başlıgil, "The Fuzzy Analytic Hierarchy Process For Software Selection Problems", *Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c.3, ss.24-33, 2005.
- [20] M. Tekeş, "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetlerinde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Karşılaştırılması", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [21] E. Aydın ve G. Cagıl, "Bulanık Ahp ve Bulanık Hedef Yaklaşımı ile Hammadde Tedarikçisi Seçimi", *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, c. 9, sayı 5, ss. 3568-3597, 2020.

[22] D.Y. Chang, “Application Of TheExtended Analysis Method on Fuzzy AHP”, *European Journal of Operational Research*, volume95, 1996.

[23] E. Cömert ve F. Yener, “Bir Gıda Firması İçin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Depo Yeri Seçimi “, *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c.2 sayı 2, ss 161-177, Ar. 2016.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Study on the Physical, Optical and Radiation Shielding Capabilities of Phosphate Zinc Telluride Glasses as a Result of ZnO/In₂O₃ Translocation

 Erkan İLİK^{a,*}

^a Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: elik@ogu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1160535

ABSTRACT

New In₂O₃-doped phosphate zinc tellurite glasses synthesized using melt-quenching method were investigated. It was observed that the synthesized glasses exhibit transparent properties. Densities of synthesized glasses changed significantly related to the doping ratio of In₂O₃. This implies that radiation shielding abilities can be enhanced. In other respects, the almost linear elevation in molar volume values indicated that the glass network expanded as a result of the ZnO/In₂O₃ translocation. As the additive ratio increases, the optical band gap value increases from 2.96 eV to 3.47 eV, while the Urbach energies decrease from 0.350 eV to 0.180 eV. In₂O₃ contribution has a regulatory effect on the structure of phosphate zinc tellurite glasses. In phosphate zinc tellurite glasses evaluated in terms of radiation shielding properties, it was observed that the In₂O₃ additive contributed significantly to the shielding properties and the glass with the best radiation shielding was 6 mol% In₂O₃ doped glass. It is obvious that by raising the density values of the produced glasses, the ZnO/In₂O₃ translocation in phosphate zinc tellurite glasses enhanced their radiation shielding properties.

Keywords: Tellurite glasses, ZnO, In₂O₃, Optical band gap, Radiation shielding

Fosfat Çinko Tellürit Camlarda ZnO/In₂O₃ Yer Değişimi Sonucu Fiziksel, Optik ve Radyasyon Zırhlama Yetenekleri Üzerine Bir Çalışma

Öz

Eritme-tavlama yöntemi ile sentezlenen yeni In₂O₃ katkılı çinko fosfat tellürit camların özellikleri incelenmiştir. Sentezlenen camların saydam oldukları gözlemlenmiştir. Sentezlenen cam yoğunlukları, In₂O₃'ün katkı oranına bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir. Bu da radyasyon koruma yeteneklerinin geliştirilebileceği anlamına gelir. Öte yandan, molar hacim değerlerindeki neredeyse lineer artış, ZnO/In₂O₃ yer değişimi sonucunda cam ağının genişlediğini göstermektedir. In₂O₃ katkı oranı arttıkça optik bant aralığı değeri 2,96 eV'den 3,47 eV'ye yükselirken, Urbach enerjileri 0,350 eV'den 0,180 eV'ye düşmektedir. In₂O₃ katkısının fosfat çinko tellürit camlarının yapısını düzenleyici etkisi vardır. Radyasyon zırhlama özellikleri açısından değerlendirilen fosfat çinko tellürit camlarda In₂O₃ katkısının bu özelliklere önemli katkı sağladığı ve en iyi radyasyon zırhlama özelliğine sahip camın %6 mol In₂O₃ katkılı cam olduğu görülmüştür. Fosfat çinko tellürit camlarındaki ZnO/In₂O₃ yer değiştirmesi ile üretilen camların yoğunluk değerlerinin artırılarak radyasyon zırhlama özelliklerinin geliştirilebileceği söylenebilir.

I. INTRODUCTION

Every living creature on earth has been continually affected by cosmic rays from the universe and radiation released by natural radioactive sources in the earth since the beginning of human history, and they coexist with natural radiation. That's why the idea of high-dose radiation has long been one of humanity's most serious threats. It is well known to everyone that various precautions should be taken to be protected from the radiation source. For this reason, various shielding materials are needed to minimize/eliminate the effects of radiation used in experimental studies or in the medical field. One of these materials is glass, which can be synthesized with very important properties in scientific studies. Glasses synthesized with different oxidized compounds naturally show different properties. Phosphate glasses are among the glass structures that are frequently used in glass science and other related fields of study. Glasses synthesized with P₂O₅ have low glass transition temperature, and crystallization temperature decreases proportionally with the increase in the glass structure of P₂O₅, as well [1], [2]. Due to these important properties they bring to the glass structure, phosphate glasses are preferred in technologically important application areas such as biomedical and low-temperature cofired ceramic technology [3-5].

The ability to synthesize glasses at low melting temperatures is an important advantage for glass science and technologies. At this point, one of the element oxides preferred in many studies with its low melting temperature is TeO₂ glasses [6]. Instead of glass synthesis at high melting temperatures, such as borate glasses, tellurite glasses can mostly be produced below 1000 °C [7-9]. Because this crucial feature is a key aspect in the production of tellurite glasses, tellurite-based glasses are a strong candidate in literature studies and technological investigation. Tellurite glasses are popular in various applications, including optical communication networks, infrared and nonlinear applications or industrial applications as a supercontinuum generator [10-12]. In other respects, it has been reported in some studies that ZnO doped glasses show semiconducting properties. In these glass structures with different compositions, ZnO can stabilize the glass structure. There are studies in which this type of glass is used in biomaterial applications [13].

When looking at research in the subject of glass science, there are relatively few that look into the impacts of In₂O₃ on glass [14]. In₂O₃ is commonly utilized in thin film studies produced by various processes, whereas nanoparticles are commonly employed in glass synthesis research [15-17]. The very high density value of In₂O₃ (7.18 g cm⁻³) can significantly improve the physical properties of new and unique glass structures to be synthesized. At this point, it becomes important to examine how these properties change by producing unique glass structures in which radiation shielding properties can be improved. The use of oxidized compounds with relatively high densities such as TeO₂ and ZnO in the glass composition would provide the desired properties to the new types of glasses to be synthesized. In addition to the physical properties of P₂O₅·TeO₂·ZnO glass structures such as color and both experimental and theoretical radiation shielding properties have been currently studied in the literature [18-20]. There has been very few research on the impact of In₂O₃ on glasses that have been doped [14], [17], [21]. In this study, In₂O₃ was doped to the phosphate zinc telluride glass structure previously synthesized in the literature to improve the physical optics and especially the radiation shielding properties. It is primarily aimed to increase the density values of the glasses synthesized as a result of the translocation of ZnO with In₂O₃. The changes in the molar volume, density values, and optical properties of the newly synthesized glasses as well as the radiation shielding properties were investigated using WinXcom software [22].

II. MATERIAL & METHODS

In₂O₃ doped glasses with a nominal composition of 20P₂O₅·30TeO₂·(50-x)ZnO·xIn₂O₃ (x = 2, 4, 6 mol%) were prepared with oxide forms of chemicals using a digital scale. After weighing the high purity chemicals (Alfa Aesar, 99.5+%), they were taken into the sample container and mixed mechanically before melting. Then, aforementioned mixtures were taken into a porcelain crucible and placed in a high temperature furnace (Nabertherm) separately. The high temperature furnace was heated from room temperature to 900 °C for 60 min. After melting process, melted glasses were poured into a stainless steel mould and annealed at 385 °C for 60 min with another furnace (Nevola Reis 110/6) in order to minimize cracking. Synthesized glasses were coded as PTZI2 (2 mol %), PTZI4 (4 mol %), and PTZI6 (6 mol %) related to the mol % ratio. In order to obtain the optical properties of the synthesized glasses, both surfaces of the glasses were polished via Metkon Forcipol 1V and Metkon Forcimat. Photographs of the prepared glasses are given in Figure 1.



Figure 1. Successfully synthesized In₂O₃ doped phosphate zinc tellurite glasses

After the glass synthesis processes were completed, the following analyzes were carried out. First of all, physical properties of these novel glasses, such as density and molar volume were calculated. Optical band gap and Urbach energy values were obtained by transmittance spectra taken over the samples within the wavelength range of 200–1100 nm. In addition, transmittances via scanning surface were determined by using different regions of the glass surface. Finally, radiation shielding parameters such as mean free path, half and tenth value layer, and effective atomic number were calculated in the next section. Gerward et al. created the WinXcom program, which is used to calculate the MAC parameter, and it may be employed in the shielding and dosimetric applications [22]. This software can rapidly and correctly calculate the MAC for any material at various energies (between 1 keV and 100 GeV), as well. In this study, broad photon energy ranges in the range of 0.01 MeV – 10 MeV were used for the aforementioned glass materials.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. PHYSICAL PROPERTIES OF PTZI GLASSES

Density values of synthesized glass (ρ_g) series were calculated using Archimedes' principle. For this process, methanol with a density (ρ_l) of 0.793 g cm⁻³ was used as an immersion liquid. Samples were weighed first in air environment and then in the immersion liquid, respectively. Using the aforementioned principle with the help of the measured weights, the densities can be calculated with the help of the following equation [23]:

$$\rho_g = \frac{W_a}{W_a - W_l} \times \rho_l \quad (1)$$

Here, W_a and W_l represent the weight of the synthesized glasses in air and in the immersion liquid, respectively. Accordingly, calculated density values of the glasses are given in Table 1. The density value obtained after precision weighing separately in air and liquid, and the molar volume of the glasses can be calculated using the equation below:

$$V_m = \frac{\sum_i x_i M_i}{\rho_g} \quad (2)$$

Table 1. Density and molar volume values of In_2O_3 doped phosphate zinc tellurite glasses

Sample Code	Density (ρ_g) (g cm^{-3})	Molar Volume (V_M) ($\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$)
PTZI2	4.51133	33.08848
PTZI4	4.55608	33.62498
PTZI6	4.60293	33.78193

In Figure 2, the density values of aforementioned glasses were in an almost linear trend depending on In_2O_3 contribution ratio. The increasing molecular weight of In_2O_3 doped into the $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{TeO}_2 \cdot \text{ZnO}$ glass network increased the density values of the produced glasses as the amount of ZnO in the glass composition gradually decreased. Thus, the reason for the increase in density can be clarified by molecular weights of the translocated chemical compounds. Hereby, ZnO ($M_w(\text{ZnO})=81.38 \text{ g mol}^{-1}$) has a lower molecular weight than In_2O_3 ($M_w(\text{In}_2\text{O}_3)=277.64 \text{ g mol}^{-1}$). As an outcome, the density values of the produced glasses have increased related to the doping ratio of In_2O_3 . Similar studies showed that the determined density values in accordance with the literature [14].

As is known, molar volume is defined as the volume of one mole of a material. PTZI2, PTZI4, and PTZI6 glasses have molar volumes of $33.08848 \text{ cm}^3 \text{mol}^{-1}$, $33.62498 \text{ cm}^3 \text{mol}^{-1}$, and $33.78193 \text{ cm}^3 \text{mol}^{-1}$, respectively. In this study, molar volume values increase as a result of the contribution of In_2O_3 . The molar volume value first showed a sharp increase when the In_2O_3 additive ratio was increased from 2 mol% (PTZI2) to 4 mol% (PTZI4). As a result of increasing the contribution rate to 6 mol% (PTZI6), it continued to increase in a similar manner. However, this increase was less than the previous change. The increase in molar volume can be explained by the expansion of the glass network depending on the In_2O_3 doping ratio. ZnO/ In_2O_3 translocation in glasses allowed larger structures to enter the glass network and increased the number of moles per unit volume. Furthermore, as shown in Figure 1, physical imperfections in $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{TeO}_2 \cdot \text{ZnO}$ glasses may be removed by including In_2O_3 in the glass network.

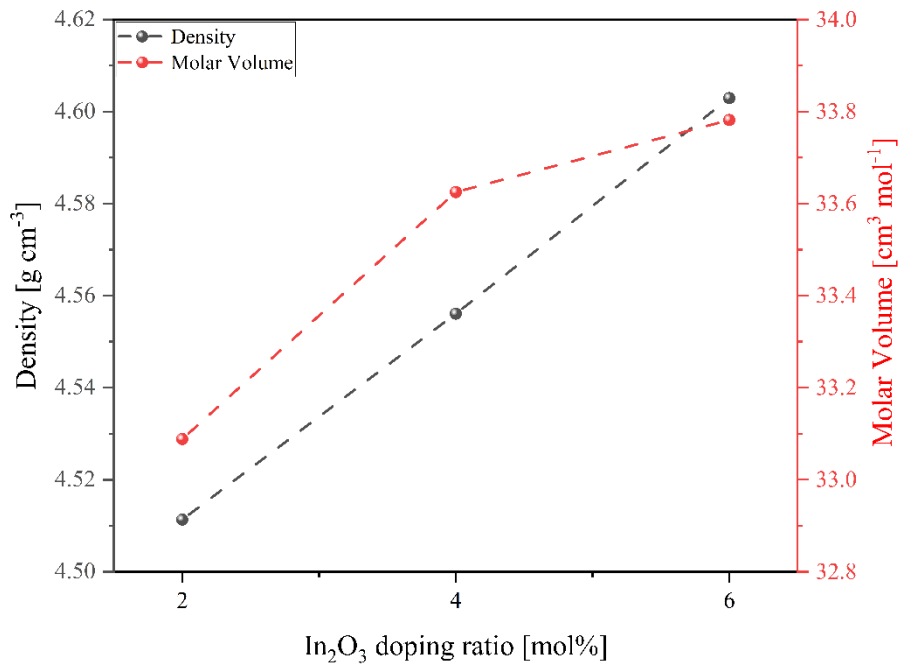


Figure 2. Density and molar volume value changing of In₂O₃ doping ratio. Dashed lines to guide the eye.

B. OPTICAL PROPERTIES OF PTZI GLASSES

Optical characterization data such as transmittance, optical band gap, and Urbach energies of P₂O₅·TeO₂·ZnO/In₂O₃ samples were obtained using transmittance and absorption spectra in the range of 190-1100 nm. In order to determine the defects of the samples synthesized with ZnO/In₂O₃ translocation, optical surface transmittances were taken with Analytik Jena Specord 210 plus device as scanning. Figure 3, Figure 4, and Figure 5 show the scan transmittance spectra taken over the surfaces of the synthesized samples. Instead of collecting a single region, the surface scanning approach was used to collect a total of 36 measurements from 1 cm of the sample to draw the transmittance spectra. However, the absorption edge had the same characteristics throughout all sample spectra. When the spectra of the samples were compared based on In₂O₃ alteration, the rise in In₂O₃ changed the absorption edge to blue-region (blue shift). In the visible region, each sample had a transmittance of more than 80%. The optical band gap changes due to the shift in the absorption edge. The optical band gap was computed using Tauc technique [24]. Figure 6 (a) illustrates the Tauc curves that were utilized to calculate the optical band gap and Figure 6 (b) presents all of the $\ln\alpha \sim h\nu$ graphs for Urbach energies. When the obtained values were evaluated, the optical band gap increased due to the ZnO/In₂O₃ adjustment. The widest optical band gap value was found with 6 mol percent In₂O₃ doped glass sample, and optical band gap values ranged from 2.96 eV to 3.47 eV. In a literature study, the optical properties of TeO₂·ZnO·In₂O₃ shows a similar trend [14]. The optical band gap widens as In₂O₃ concentration rises. This demonstrates how the current study as well as the literature are consistent. The increase in NBOs and the more ionic nature of the structure account for the decrease in optical band gap value with the addition of a new element [25], [26]. Urbach energy indicates the uniformity and stability of comparable glass formations. If the Urbach energy of the synthesized glasses is reduced by an additive, the aforementioned glass structures can be interpreted as being so stable and uniform. The most irregular structure in the synthesized samples was revealed to be PTZI2 with 2 mol% In₂O₃ additive, while the most stable structure belonged to PTZI6 with 6 mol% In₂O₃ additive. As a result, the ZnO/In₂O₃ translocation improves the structure as a more stable. The Urbach energies in TeO₂·ZnO·In₂O₃ have been observed to climb to a certain level and subsequently fall [14]. Although the optical band gap values for this structure reported in the literature correspond with the based on the specified in this work, the variation in Urbach energies can be attributed to variances in the glass network, which does not match. The increase in the In₂O₃ ratio eliminates the negative effects such as fluctuations and undesirable colorations in the synthesized glass. As seen before in Figure 1, it provides the glass structure more orderly. This phenomenon is seen in the 3D surface transmittance graphs using the transmittance curves

taken from 36 different regions of the glass surface. In addition, the decrease in the Urbach energy with the increase in In_2O_3 can be shown as proof of this phenomenon (see Table 2).

Table 2. Optical band gap and Urbach energy values of In_2O_3 doped phosphate zinc tellurite glasses with fitting parameter (R^2)

Sample Code	Optical Band Gap (eV)	Equation	R^2	Slope	Urbach Energy (eV)
PTZI2	2.96	$y=-3.9073+2.8542*x$	0.9989	2.8542	0.350
PTZI4	3.15	$y=-5.2738+3.1665*x$	0.9979	3.1665	0.316
PTZI6	3.47	$y=-14.6712+5.5499*x$	0.9974	5.5499	0.180

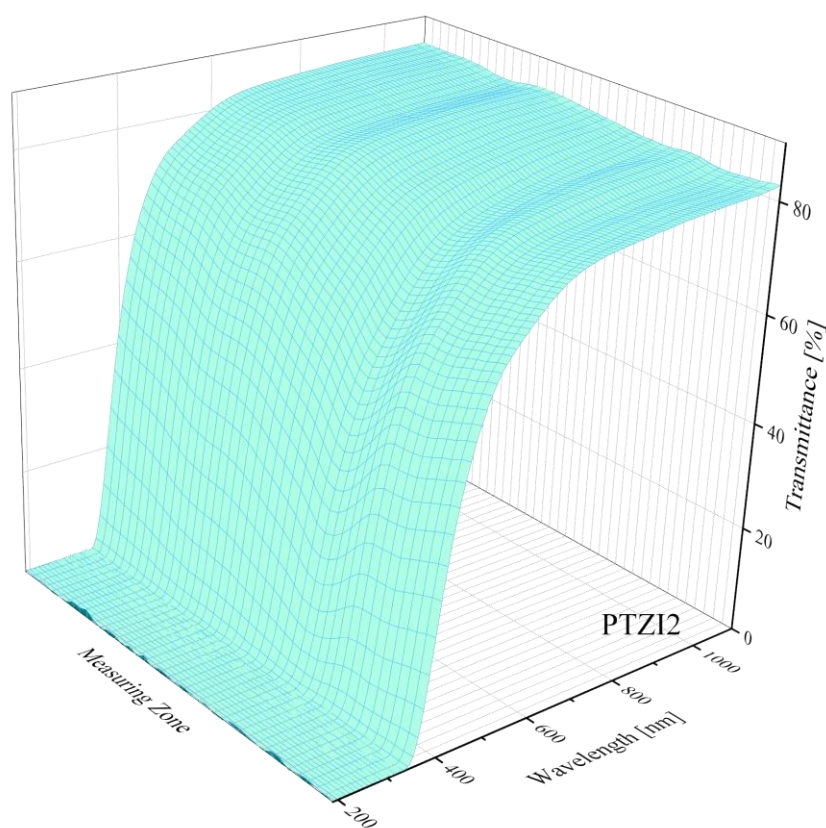


Figure 3. Three-dimensional surface transmittance scanning for PTZI2 sample

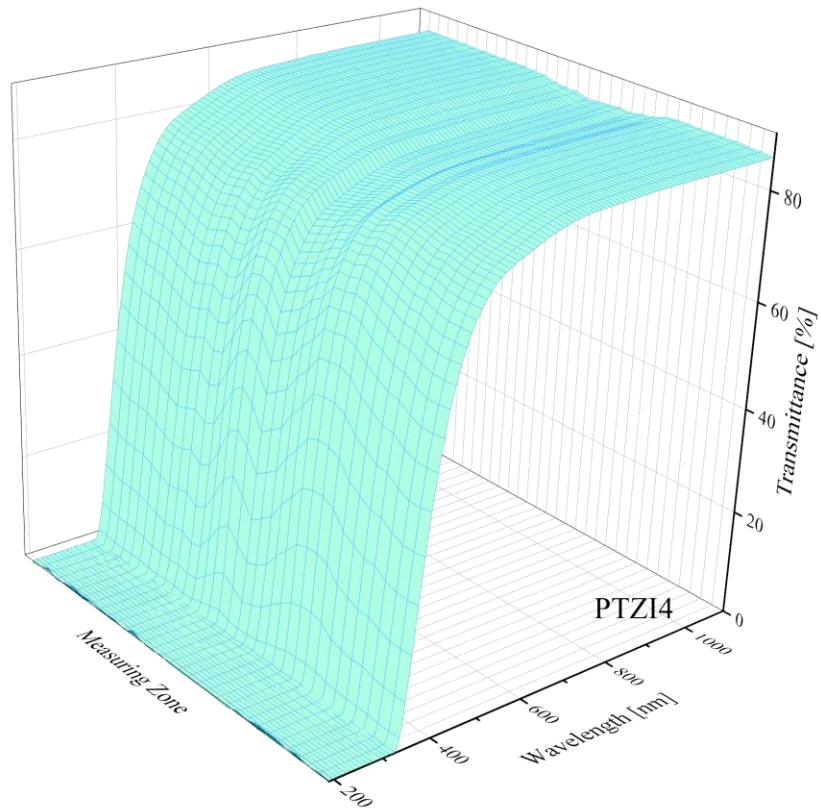


Figure 4. Three-dimensional surface transmittance scanning for PTZI4 sample

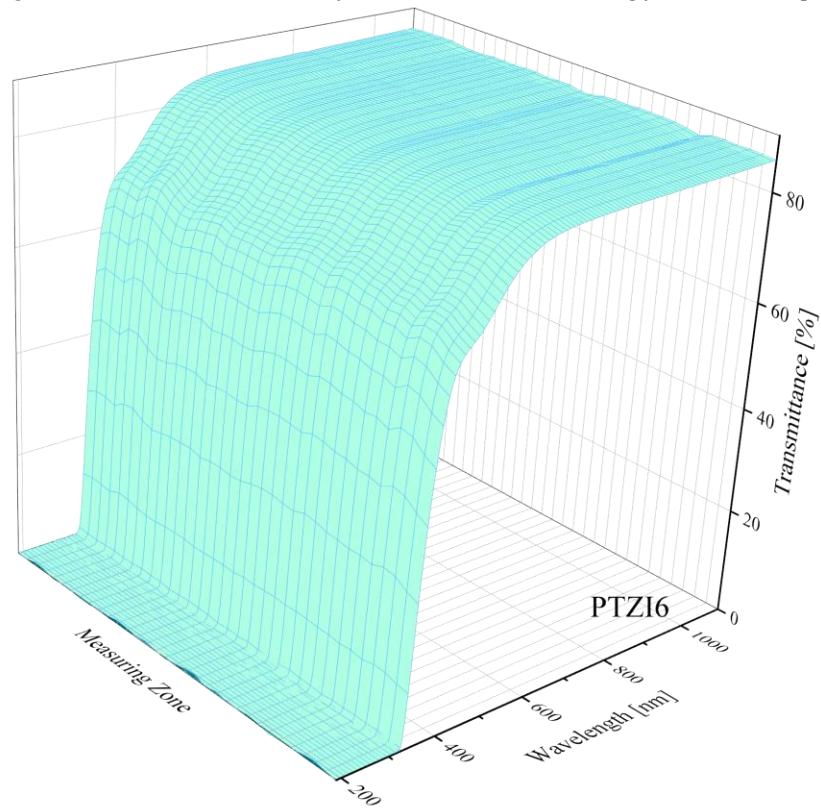


Figure 5. Three-dimensional surface transmittance scanning for PTZI6 sample

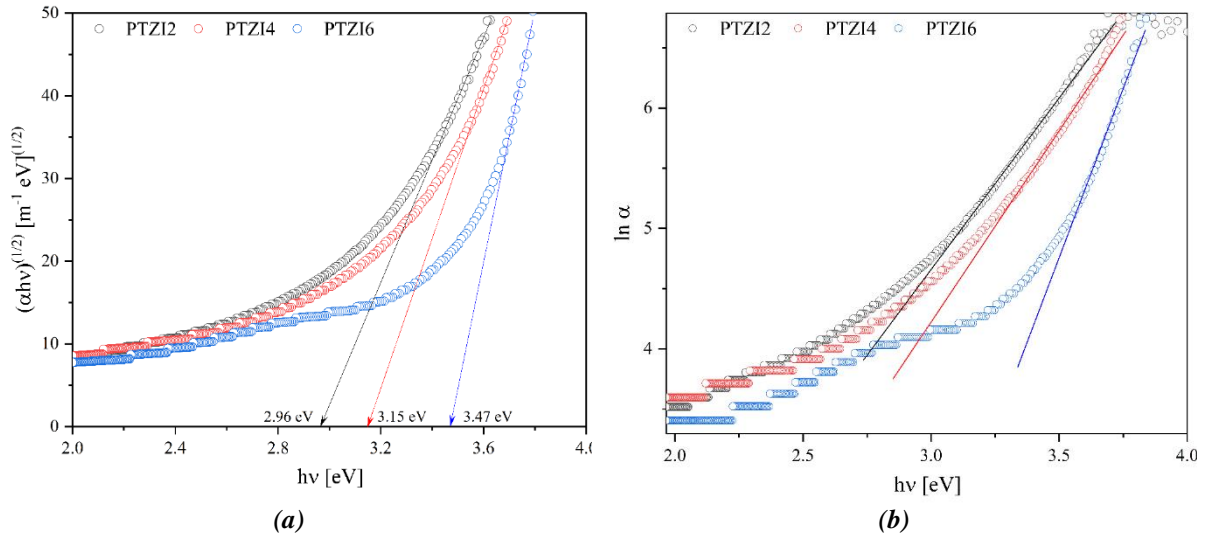


Figure 6. (a) Optical band gap and (b) Urbach energy values of In_2O_3 doped phosphate zinc tellurite glasses

C. RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF PTZI GLASSES

In order to determine radiation shielding properties of materials, WinXcom database is a great alternative for manual computations using tabular data. This web-based database may be used to compute radiation shielding properties for the material being examined. Since then, the National Institute of Standards and Technology (NIST) has created a tool called Xcom to calculate the mass attenuation coefficients for any element, compound or mixture. The Lambert-Beer equation governs the transmission fraction of a beam of monochromatic radiation in a medium. Glass samples are used as the medium through which the incoming photons pass. According to this rule, the amount of absorbed radiation is first proportional to the photon's travel length through the medium and then the density of the medium [27]:

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (3)$$

Here, I_0 represents the incident photons intensity. μ and t are the linear attenuation coefficient (LAC) and thickness of the glass samples, respectively. Accordingly, Figure 7 (a) depicts the variations in linear attenuation coefficients obtained for the synthesized glasses as a function of energy varied from 0.01 MeV to 10 MeV.

When these changes are analyzed, the glass with the greatest LAC value in all energy ranges is the 6 mol% In_2O_3 doped PTZ6 sample. On the other hand, when the LAC values of the synthesized glasses are compared among themselves and all energy regions are considered, it can be said that the ZnO/In_2O_3 translocation has an increasing effect on the LAC values of the synthesized glass samples, as well. On the other hand, the increase in energy causes a decrease in LAC values for all samples and a similar trend is observed for all synthesized glass structures.

The mass attenuation coefficient of a sample whose linear attenuation coefficient is known can be calculated with the following equation [27]:

$$MAC = \frac{LAC}{\rho_g} = \mu_{\rho_g} = \sum_i W_i \mu_i \rho_i \quad (4)$$

The mass attenuation coefficient (also called as the mass absorption coefficient) is a constant that defines the proportion of photons eliminated per unit mass from a monochromatic X- or γ -ray beam by a

homogeneous absorber. The MAC computations were carried out between 0.01 MeV and 10 MeV as can be given in Figure 8 (b). In order to calculate mass attenuation coefficient of any sample, the density values of the samples (ρ_g) are used and these values were included in Table 1. The sequence of MAC values is PTZI6>PTZI4>PTZI2 from biggest to smallest, as in the linear attenuation graph. For example, the MAC values for PTZI2, PTZI4 and PTZI6 at 0.1 MeV energy were calculated as 0.7086 cm² g⁻¹, 0.7272 cm² g⁻¹ and 0.9604 cm² g⁻¹, respectively. The dramatically fall in MAC values in the lowest energy zone is attributed to the photoelectric absorption coefficient's dominance. The findings demonstrate that the MAC varies with energy in the same manner in all of the glasses. It was noticed that the MAC values were highest when there was the least amount of energy and rapidly decreased as energy increased.

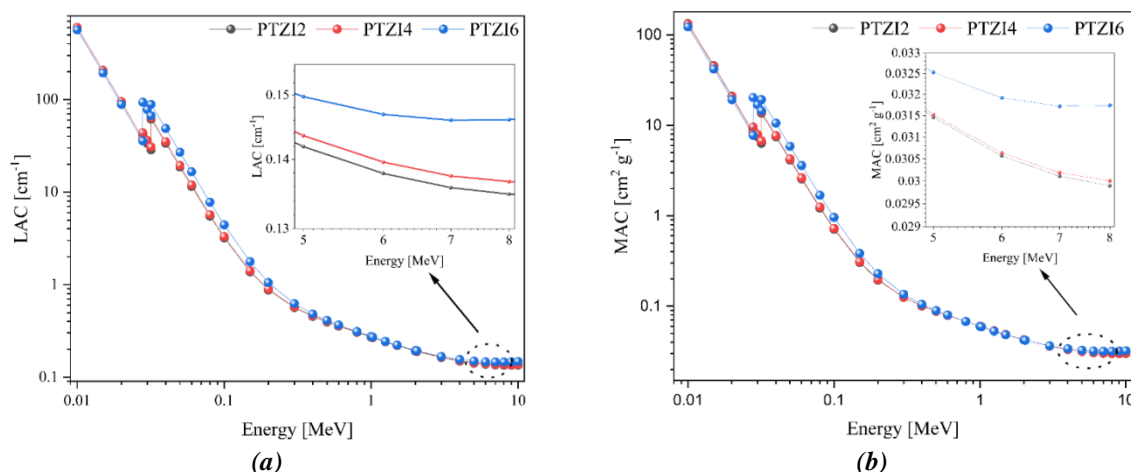


Figure 7. Variations of (a) LAC and (b) MAC of PTZI glasses with changing of energy ranges varying from 0.01 MeV to 10 MeV

The Compton scattering absorption mechanism is responsible for the steady drop in this coefficient. Photons are lost to the Compton scattering process by colliding inelastically with free electrons in the interaction medium. The absorption of Compton interactions is inversely proportional to photon energy. The pair production absorption process occurs at 6 MeV and dominates the mass attenuation cross section's behavior. The total pair formation cross section has a threshold energy of 1.022 MeV, rises with photon energy, and becomes significant above 10 MeV.

The average thickness of the glass necessary to absorb 90% and 50% of all X- and γ -rays is important for shielding applications. These are well known as the tenth and half value layer (*TVL*) and (*HVL*) and calculated using linear attenuation coefficient values. It is vital to note that the lower the glass sample's *HVL* and *TVL*, the higher the X- and γ -ray shielding efficiency. These two parameters are represented in distance units (cm), and they can be calculated using the following equations [28]:

$$HVL = \frac{\ln 2}{LAC} \quad (5)$$

$$TVL = \frac{\ln 10}{LAC} \quad (6)$$

Figure 8 shows the variation of half and tenth value layers of PTZI glasses with increasing energy from 0.01 MeV to 10 MeV. *TVL* and *HVL* increased with the increase in penetration energy. As it is well known, secondary photons are produced via incoherent scattering and pair production interaction processes at higher photon energies. As a consequence, extra material thickness is required to absorb these secondary photons. For *HVL* and *TVL*, it can be said that the ZnO/In₂O₃ translocation gains better features to the base glass structure. When examining the changes in *HVL* and *TVL*, it is clear that the radiation shielding properties of glass structures can be improved with the addition of In₂O₃.

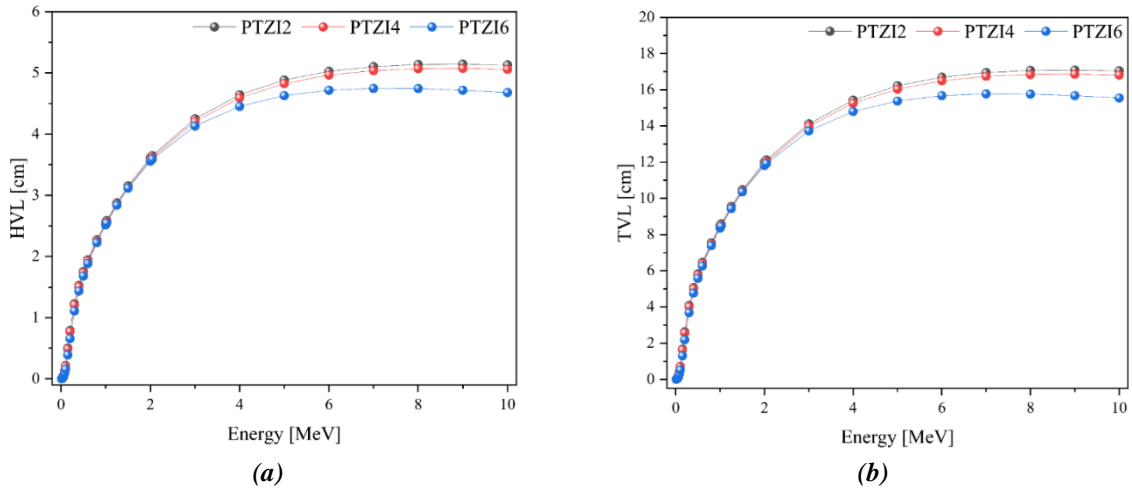


Figure 8. Variations of (a) HVL and (b) TVL of PTZI glasses with changing of energy ranges varying from 0.01 MeV to 10 MeV

The average distance traveled by photons between collisions is referred to as the mean free path (*MFP*). The *MFP* can be calculated using the linear attenuation coefficient from the following equation [23]:

$$MFP = \frac{1}{LAC} \tag{7}$$

Because the *MFP* for high density materials is relatively short, the materials can be utilized as an effective material against X- and gamma-rays. According to the findings, the PTZI2 sample with the lowest In₂O₃ content had the highest mean free path values for all incident photon energy (as can be seen in Figure 9). In other respects, the fact that the mean free path has decreased in the PTZI6 sample is evidence of its superior characteristics. It is obvious that when the density of the material increased from 4.51133 g cm⁻³ to 4.60293 g cm⁻³, the mean free path in the glass structure decreased. Based on the literature, different glass compositions containing In₂O₃ are consistent with this study [14].

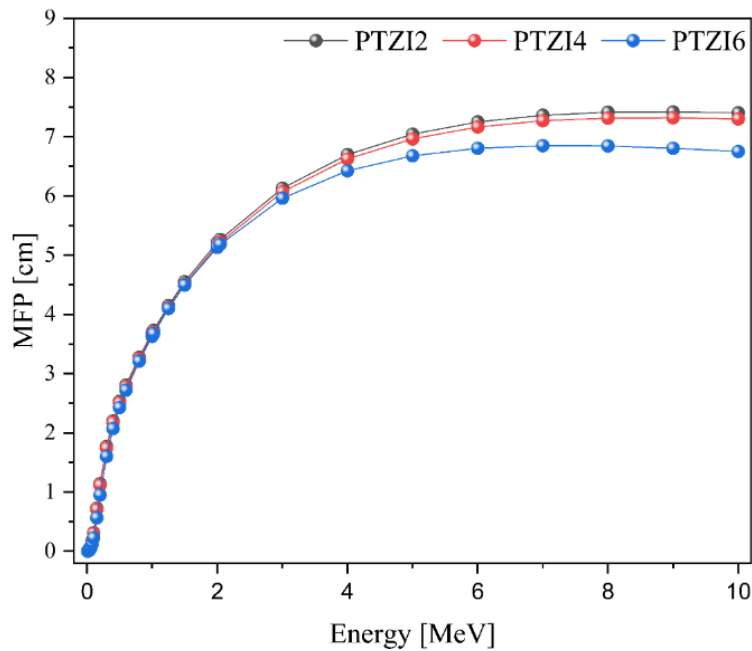


Figure 9. Variations of MFP of PTZI glasses with changing of energy ranges varying from 0.01 MeV to 10 MeV

The effective atomic number (Z_{eff}) of photons in a medium can be used to evaluate the interaction between photons and the medium. It is a number that, like an element's atomic number, defines the chemical description of a composite substance. Yet, unlike the atomic number, this is not constant and evolves with photon energy [29]. The Z_{eff} value of structures containing atoms of more than one element, such as glass or composite, may be computed using the following equation [23]:

$$Z_{eff} = \frac{\sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i}{\sum_j f_j \left(\frac{A}{Z}\right)_j \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_j} \quad (8)$$

Accordingly, Figure 10 shows the variations of Z_{eff} of PTZI glasses with changing of energy ranges varying from 0.01 MeV to 10 MeV. First, the Z_{eff} values of the PTZI samples in the low energy region first formed a sharp peak. This peak follows the same trend for all glasses. In the photoelectric area, Z_{eff} is significantly reliant on the sample composition [28]. When the energy value of the incident photons increased up to 1.5 MeV, the Z_{eff} value decreased gradually, and then continued to increase up to a certain point. To summarize, it can be said that PTZI6 comes to the fore in all photon energies and as a result of this study, it can be said that the effective atomic number range for the glass composition is between Cu($Z=29$) and Pd($Z=46$).

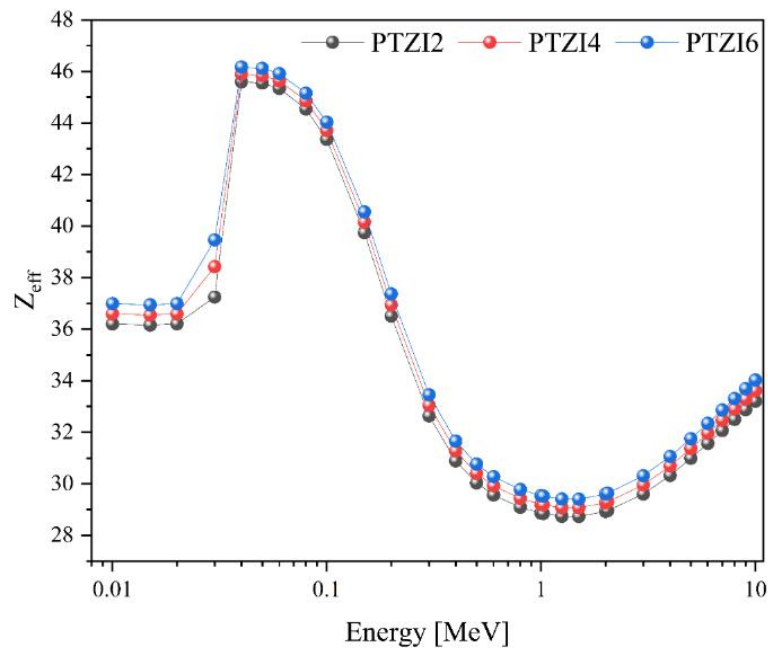


Figure 10. Variations of Z_{eff} of PTZI glasses with changing of energy ranges varying from 0.01 MeV to 10 MeV

IV. CONCLUSIONS

In this study, the effects of ZnO/ In_2O_3 translocation on phosphate zinc tellurite glasses are discussed in terms of changes in physical, optical, and radiation shielding properties. As a physical examination, the density values of the three glass samples increased from $4.51133 \text{ g cm}^{-3}$ to $4.60293 \text{ g cm}^{-3}$ with the contribution of In_2O_3 . ZnO/ In_2O_3 translocation caused an increase in the molar volume values of PTZI glasses and thus the expansion of the glass network. On the other hand, it was observed that the ZnO/ In_2O_3 translocation significantly increased the optical band gap values of the synthesized glasses and decreased the Urbach energy values. Furthermore, the increase in the In_2O_3 ratio eliminates the negative effects such as undesirable colorations in the synthesized samples. It can be mentioned when the produced samples are assessed in terms of radiation shielding properties, the ZnO/ In_2O_3 translocation

for *HVL* and *TVL* offers to the basic glass structure improved qualities. The PTZI6 sample's mean free path value reduced and its radiation shielding capacity rose, both of which are strikingly correlated with the In_2O_3 contribution rate. As the densities of the manufactured glasses grow, so does the effective atomic number. Consequently, increasing densities of $\text{ZnO}/\text{In}_2\text{O}_3$ exchanged PTZ glasses demonstrate promising radiation shielding performance. It is obvious that doping denser element oxides to comparable base glass frameworks will yield even better outcomes for radiation shielding applications.

V. REFERENCES

- [1] M. Uo, M. Mizuno, Y. Kuboki, A. Makishima, and F. Watari, "Properties and cytotoxicity of water soluble $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ glasses", *Biomaterials*, vol. 19, no. 24, pp. 2277–2284, 1998.
- [2] K. El-Egili, H. Doweidar, Y.M. Moustafa, and I. Abbas, "Structure and some physical properties of $\text{PbO}-\text{P}_2\text{O}_5$ glasses", *Physica B: Condensed Matter*, vol. 339, no. 4, pp. 237–245, 2003.
- [3] M. A. Lopes, R. F. Silva, F. J. Monteiro, and J. D. Santos, "Microstructural dependence of Young's and shear moduli of P_2O_5 glass reinforced hydroxyapatite for biomedical applications", *Biomaterials*, vol. 21, no. 7, pp. 749–754, 2000.
- [4] Z. Chen, X. Chen, W. Zhang, H. Mao, and F. Wang, "Sintering behavior and dielectric properties of $\text{La}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ glass/ Al_2O_3 composites for LTCC applications", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 31, no. 21, pp. 18581–18589, 2020.
- [5] H. A. Abo-Mosallam and E. A. Mahdy, "Effect of strontium on crystallization characteristics and properties of $\text{ZnO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5$ glass-ceramics for biomedical applications", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 583, 121467(pp. 1–7), 2022.
- [6] Y. Zhou, Y. Yang, F. Huang, J. Ren, S. Yuan, and G. Chen, "Characterization of new tellurite glasses and crystalline phases in the $\text{TeO}_2-\text{PbO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ system", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 386, pp. 90–94, 2014.
- [7] M. Farahmandjou and S. A. Salehizadeh, "The optical band gap and the tailing states determination in glasses of $\text{TeO}_2-\text{V}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ system", *Glass Physics and Chemistry*, vol. 39, no. 5, pp. 473–479, 2013.
- [8] K. Kato, T. Hayakawa, Y. Kasuya, and P. Thomas, "Influence of Al_2O_3 incorporation on the third-order nonlinear optical properties of $\text{Ag}_2\text{O}-\text{TeO}_2$ glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 431, pp. 97–102, 2016.
- [9] N. S. Tagiara, D. Palles, E. D. Simandiras, V. Psycharis, A. Kyritsis, and E. I. Kamitsos, "Synthesis, thermal and structural properties of pure TeO_2 glass and zinc-tellurite glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 457, pp. 116–125, 2017.
- [10] A. Mori, "Tellurite-based fibers and their applications to optical communication networks", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, vol. 116, no. 1358, pp. 1040–1051, 2008.
- [11] A. Lin, A. Zhang, E. J. Bushong, and J. Toulouse, "Solid-core tellurite glass fiber for infrared and nonlinear applications", *Optics express*, vol. 17, no. 19, pp. 16716–16721, 2009.
- [12] P. Froidevaux, A. Lemièrre, B. Kibler, F. Désévéday, P. Mathey, G. Gadret, J-C. Jules, K. Nagasaki, T. Suzuki, Y. Ohishi, and F. Smektala, "Dispersion-engineered step-index tellurite fibers for mid-infrared coherent supercontinuum generation from 1.5 to 4.5 μm with sub-nanojoule femtosecond pump pulses. *Applied Sciences*, vol. 8, no. 10, 1875(pp. 1–13), 2018.

- [13] E. A. Abou Neel, L. A. O'Dell, M. E. Smith, and J. C. Knowles, "Processing, characterisation, and biocompatibility of zinc modified metaphosphate based glasses for biomedical applications", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, vol. 19, no. 4, pp. 1669–1679, 2008.
- [14] G. Kilic, E. Ilik, S. A. Issa, B. Issa, U. G. Issever, H. M. Zakaly, and H. O. Tekin, "Fabrication, structural, optical, physical and radiation shielding characterization of indium (III) oxide reinforced $85\text{TeO}_2\text{-(15-x)ZnO-xIn}_2\text{O}_3$ glass system", *Ceramics International*, vol. 47, no. 19, pp. 27305–27315, 2021.
- [15] Y. Meng, X. L. Yang, H. X. Chen, J. Shen, Y. M. Jiang, Z. J. Zhang, and Z. Y. Hua, "A new transparent conductive thin film $\text{In}_2\text{O}_3\text{: Mo}$ ", *Thin Solid Films*, vol. 394, no. 1–2, pp. 218–222, 2001.
- [16] A. El Hichou, A. Kachouane, J. L. Bubendorff, M. Addou, J. Ebothe, M. Troyon, and A. Bougrine, "Effect of substrate temperature on electrical, structural, optical and cathodoluminescent properties of $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Sn}$ thin films prepared by spray pyrolysis", *Thin Solid Films*, vol. 458, no. 1–2, pp. 263–268, 2004.
- [17] P. Chen, Y. Mao, S. Hou, Y. Chen, X. Liu, Y. Lou, A. Chen, L. Yang, N. Li, and N. Dai, (2019). Effects of In_2O_3 nanoparticles doping on the photoluminescent properties of $\text{Eu}^{2+}/\text{Eu}^{3+}$ ions in silica glasses", *Ceramics International*, vol. 45, no. 1, pp. 233–238, 2019.
- [18] T. Konishi, T. Hondo, T. Araki, K. Nishio, T. Tsuchiya, T. Matsumoto, S. Suehara, S. Todoroki, and S. Inoue, "Investigation of glass formation and color properties in the $\text{P}_2\text{O}_5\text{-TeO}_2\text{-ZnO}$ system", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 324, no. 1–2, pp. 58–66, 2003.
- [19] E. Kavaz, E. Ilik, G. Kilic, G. ALMisned, and H. O. Tekin, "Synthesis and experimental characterization on fast neutron and gamma-ray attenuation properties of high-dense and transparent Cadmium oxide (CdO) glasses for shielding purposes", *Ceramics International*, vol. 48, no. 16, pp. 23444–23451, 2022.
- [20] G. Kilic, E. Kavaz, E. Ilik, G. ALMisned, and H. O. Tekin, "CdO-rich quaternary tellurite glasses for nuclear safety purposes: Synthesis and experimental gamma-ray and neutron radiation assessment of high-density and transparent samples", *Optical Materials*, vol. 129, pp. 112512, pp. 1–10, 2022.
- [21] R. Garkova, G. Völksch, and C. Rüssel, " In_2O_3 and tin-doped In_2O_3 nanocrystals prepared by glass crystallization", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 352, no. 50–51, pp. 5265–5270, 2006.
- [22] L. Gerward, N. Guilbert, K. B. Jensen, and H. Levring, (2004). "WinXCom—a program for calculating X-ray attenuation coefficients" *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 71, no. 3-4, pp. 653–654, 2004.
- [23] E. Ilik, "Effect of heavy rare-earth element oxides on physical, optical and gamma-ray protection abilities of zinc-borate glasses", *Applied Physics A*, vol. 128, no. 6, pp. 1–10, 2022.
- [24] G. Kilic, E. Ilik, U. G. Issever, and M. Peker, "The effect of $\text{B}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ substitution on structural, thermal, and optical properties of new black PVB/Cd semiconducting oxide glasses", *Applied Physics A*, vol. 126, no. 7, pp. 1–12, 2020.
- [25] J. Gouteron, D. Michel, A. M. Lejus, and J. Zarembowitch, "Raman spectra of lanthanide sesquioxide single crystals: Correlation between A and B-type structures", *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 38, no 3, pp. 288–296, 1981.

- [26] G. Kilic, E. Ilik, S. A. Issa, and H. O. Tekin, "Synthesis and structural, optical, physical properties of Gadolinium (III) oxide reinforced $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-(20-x) Li}_2\text{O-xGd}_2\text{O}_3$ glass system", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 877, 160302, pp. 1–12, 2021.
- [27] E. Kavaz, H. O. Tekin, G. Kilic, and G. Susoy, "Newly developed Zinc-Tellurite glass system: an experimental investigation on impact of Ta_2O_5 on nuclear radiation shielding ability", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 544, 120169, pp. 1–11, 2020.
- [28] E. Kavaz, "An experimental study on gamma ray shielding features of lithium borate glasses doped with dolomite, hematite and goethite minerals", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 160, pp. 112–123, 2019.
- [29] O. Olarinoye, "Variation of effective atomic numbers of some thermoluminescence and phantom materials with photon energies", *Research Journal of Chemical Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 64–69, 2011.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

ICP-MS Analysis and Validation by Microwave Digestion System for Determination of Heavy Metals in Allergy and Cancer Drugs Taken Orally

 Elif KÖSE ^{a, b},  Aslihan DALMAZ ^c,  Sezen SİVRİKAYA ÖZAK ^{d, *}

^a Department of Chemistry, Graduate Education Institute, Düzce University, 81620, Düzce, Türkiye

^b Nobel Drug Pharmaceutical R&D Center (Nobel-İlac Ar-Ge Merkezi), 81100 Düzce, Türkiye

^c Department of Natural and Herbal Products/Cosmetic Products, Graduate Education Institute, Düzce University, 81620, Düzce, Türkiye

^d Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Düzce University, 81620, Düzce, Türkiye

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

DOI: 10.29130/dubited.1196985

ABSTRACT

The drug, one of the most important products that cannot be replaced in the field of health, prevents all threats to human health when used in place and dosage. Therefore, it has an important place in public health. Determination of the amounts and impurities of various elements used in drug production is an important parameter. According to the ICH Q3D(R1) international compliance conference guide, methods by which limit concentrations can be determined for elemental impurities by applying inductively coupled plasma (ICP) analysis to drugs are specified. In this study, the sample preparation step in the analysis of 23 elements in cancer and allergy drugs in tablet form was optimized by microwave digestion, and method development and validation studies were carried out for these drugs with inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). When the analysis results were evaluated, it was seen that the data obtained were by the limit values specified in the ICH. Detection and quantification limits of the developed method, and relative standard deviation values were determined, and recovery studies were carried out by adding standards at 4 different concentrations to determine the method's precision. The correlation coefficients obtained for heavy metals in this study ranged from 0.9993 to 1.000, while the detection limit was found to be between 0.001 and 1.756 µg/L. Thus, the reliability and precision of the validation study developed has been determined and it has been shown that this method can be used in similar drug samples.

Keywords: Validation, Elemental impurity, Microwave digestion, Inductively coupled plasma-mass spectrometry, Drug

Oral Yol ile Alınan Alerji ve Kanser İlaçlarında Ağır Metallerin Tayini için Mikrodalga Çözünürleştirme Sistemi ile ICP-MS Analizi ve Validasyonu

Öz

Sağlık alanında yeri doldurulamayacak ürünlerin en önemlilerinden biri olan ilaç yerinde ve dozunda kullanıldığında insan sağlığı için oluşan tüm tehdit unsurlarına engel olmaktadır. Toplum sağlığı açısından değerlendirildiğinde önemi oldukça büyüktür. İlaç üretiminde kullanılan çeşitli elementlerin miktarlarının ve safsızlıklarının belirlenmesi çok önemli bir parametredir. İlaçlar için indüktif eşleşmiş plazma (ICP) analizi, Uluslararası uyum konferansı kılavuzu ICH Q3D(R1) referans alınarak elementel safsızlıkların eşik konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada tablet formundaki kanser ve alerji

ilaçlarındaki 23 elementin analizinde örnek hazırlama basamağı mikrodalga çözünürleştirme işlemi ile optimize edilmiş ve indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile bu ilaçlar için metot geliştirme ve validasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde elde edilen verilerin ICH'de belirtilen sınır değerlere uygun olduğu görülmüştür. Geliştirilen yöntemin belirleme ve tayin limitleri, rölatif standart sapma değerleri belirlenmiş ve ayrıca yöntemin kesinliğini tespit etmek amacıyla test örneklerine 4 farklı konsantrasyonda standart eklemesi yapılarak geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada ağır metaller için elde edilen korelasyon katsayıları 0,9993 ile 1,000 arasında değişirken dedeksiyon limitleri ise 0,001 ile 1,756 µg/L arasında bulunmuştur. Böylelikle geliştirilen validasyon çalışmasının güvenilirliği ve kesinliği belirlenmiş olup, benzer ilaç örneklerinde bu yöntemin kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Validasyon, Elementel safsızlık, Mikrodalga çözünürleştirme, İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi, İlaç

I. INTRODUCTION

While there are positive developments in many areas with the advancement of technology day by day, the increase in the use of metallic compounds and heavy metals also brings environmental pollution. This threatens the health of living beings through the consumption of heavy metals used in food, drugs, and beverages [1-2]. Trace elements are defined as impurities that are released to nature and the environment as a result of their use in some industries, and that accumulate in living systems in many ways and pose a threat. With these aspects, trace elements have been accepted as pollutants affecting human health since ancient times and will continue to be [3-5].

When examined from another aspect, the metabolism of living things also needs trace elements. Although the amount of these elements varies, it causes various discomforts in case of deficiency or excess [6]. At this point, the safety of pharmaceuticals used during drug treatments is of great importance. Pharmacological and toxicological evaluation constitute the main parameters for determining the safety of a drug. In addition, the problems caused by the impurities in the dosage forms affect the drug safety. In terms of drug safety, the damage to be caused by the pharmacological and toxicological effects on the living organism will be much greater. All these reasons reveal the necessity of performing the characterization of the products, especially pharmaceutical products, produced for human consumption without errors. The efficacy, quality, and safety of a drug will thus be assured by controlling and monitoring the impurities it contains. Thus, studies on the impurities of drugs have become popular lately [7-8].

The toxicological aspect of drugs is also important because of the elemental impurities they contain as well as the benefits it provide to the living metabolism. For this reason, various analytical methods such as inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES) [9-13], inductively coupled plasma-mass spectroscopy (ICP-MS) [14-20], atomic absorption spectroscopy (AAS) [21, 22], graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) [23] and flame atomic absorption spectroscopy (FAAS) [24], which are extremely important in the determination of elemental impurities in drugs, have been developed. When these analytical methods in the literature are examined from a scientific point of view, ICP-MS and microwave-assisted digestion, which is one of the sample pre-processing methods, come to the fore when compared to other methods mentioned. ICP-MS is a versatile analysis method with many outstanding advantages. It is one of the most sensitive techniques that help to perform the analysis of multiple elements by providing the simultaneous detection of more than one element in an analysis [25-27]. On the other hand, the microwave-assisted digestion process increases performance and provides higher yields [28-31]. ICP-MS provides great support to the pharmaceutical industry in the analysis of heavy metals in pharmaceuticals.

This study aims to optimize the determination of 23 elements in orally administered allergy and cancer drugs using a microwave-assisted solubilization pretreatment process. In addition, the development of a new method for these drugs and the validation studies of this developed method are to be carried out

with the ICP-MS instrument. Then, the results of the analysis will be determined by taking into account the ICH criteria. Afterwards, the optimization parameters of the method will be determined the precision and reliability values will be determined and the evaluation of the method will be carried out.

II. MATERIAL and METHODS

A. APPARATUS

Agilent brand 7850 model ICP-MS was used to analyze elemental impurities in drugs. Mass Hunter software was used for device control and data analysis. Sartorius Stedim Biotech brand atrium 611UV model ultrapure water device was used as the ultrapure water source for the preparation of the solutions. Mettler Toledo brand electronic device balance was used during sample weighing. CEM brand Mars model microwave digestion system was used during sample preparation in the study. Heidolph brand MR Hei-Standard model magnetic stirrer heater was used during sample preparation. Method parameters and operating conditions in the ICP-MS instrument are given in Table 1.

Table 1. ICP-MS operating conditions and method parameters.

ICP-MS conditions	Value
Radio frequency power	1550 W
Radio frequency matching	1.9 V
Uptake speed (Nebulizer pump)	0.3 rps
Nebulizer gas flow rate	1.07 L/min
Plasma gas	Axial
Plasma gas flow rate	15 L/min
Spray chamber temperature	2 °C
Analyzer pressure	8.47- 10 ⁻⁵ Pa

B. REAGENTS AND CHEMICALS

All of the chemicals used in this study were not subjected to any purification process. ICH Q3D/USP<233>Orals impurity Kits were purchased from Agilent. Suprapure nitric acid (67%) was purchased from VWR Chemicals and suprapure hydrochloric acid (30%) was purchased from Merck and used in microwave-assisted digestion of allergy and cancer drugs. Pharma internal standard 1, standard A, standard B, standard C, standard D standard mixtures were diluted in 2% nitric acid and prepared at a concentration of 100 ppb, and a stock standard was created. These prepared stock solutions and the samples in the study were stored at 4 °C. High purity argon gas (plasma gas) and nitrogen (cooling gas) were used in ICP-MS systems. The gases used in the analysis systems were obtained from a gas supplier (Düzce, Türkiye). All drugs used in the study were supplied from the pharmacies in Düzce province.

C. MICROWAVE-ASSISTED DIGESTION PROCEDURE OF DRUG SAMPLES

Determination of heavy metal amounts in drugs under optimum conditions is possible by taking them into the solution completely. With the proper disintegrating of the samples, they will be completely taken into solution. In this study, the microwave-assisted digestion process was preferred because it is fast and short in time, and it is the last developed digestion method with superior properties. Microwave-assisted digestion procedures for allergy and cancer drugs are shown in Figure 1. After the drug sample

was weighed and 6 mL of suprapure nitric acid and 1 mL of suprapure HCl acid were added to the Teflon containers of the microwave digestion system, digestion was carried out with the appropriate microwave method indicated in Table 2. After the microwave digestion process was completed, the sample solutions were taken into a 25 mL flask. Then, 2.5 mL of this solution was taken and diluted to 10 mL in test tubes and the samples were given to the ICP-MS instrument for analysis.

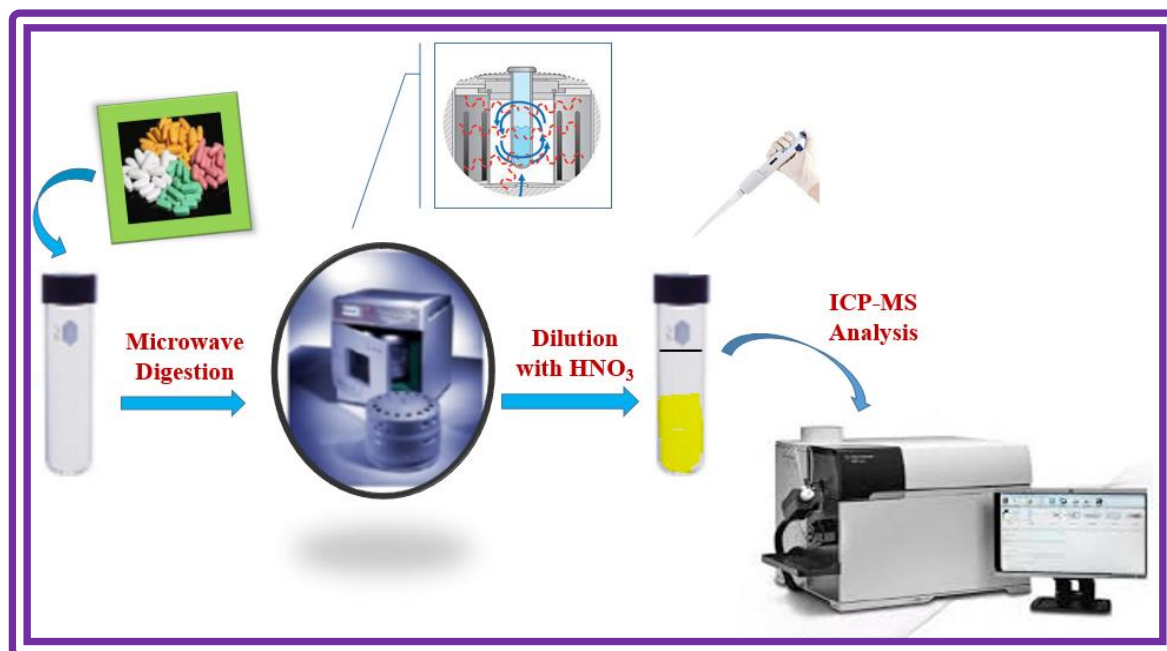


Figure 1. ICP-MS Analysis by microwave digestion process allergy and cancer drugs.

D. METHOD VALIDATION

In order to determine the suitability of the methods used in the analysis of heavy metals, validation parameters such as the method's calibration equations, determination limits, calibration coefficients, repeatability values, recovery values, and detection limits were calculated. In addition, the reproducibility values of the analysis results performed on drugs, which are real samples, were calculated and the results were recorded. The calculation techniques and parameters used for the accuracy of the method used in the study are given in order.

Table 2. Microwave-assisted digestion procedure parameters.

Energy	Power (W)	Ramp Time (min.)	Temperature (°C)	Hold Time (min.)
1600	90	8.00	140	15.00
1600	90	15.00	210	20.00

D. 1. Linear Range

In this study, standards with different concentrations were prepared and injected into the ICP-MS instrument in triplicate. Calibration charts in the study were created by evaluating the results obtained as a result of injection.

D. 2. Calibration Equation

It corresponds to the equation created through linear regression analysis of the data obtained as a result of the analysis for the linear range study.

D. 3. Calibration Coefficient

It corresponds to the R^2 value of the obtained calibration equation. In this study, the correlation coefficient varies between 0.9993 and 1.000.

D. 4. Repeatability

The repeatability value is expressed as the relative standard deviation value (%RSD) of the data obtained from the recovery studies.

D. 5. Detection and Quantification Limit

The limit of detection (LOD) is the lowest concentration of analyte at which the analyte can be detected in the sample under laboratory conditions, but cannot measure its exact amount. The limit of quantification (LOQ) is expressed as the lowest concentration of analyte at which the presence of analyte in the sample can be detected under laboratory conditions. By using these calibration lines, the detection limits (LOD) and the quantification limits (LOQ) of each element were calculated. Calculated using $LOD = 3 \times SD \times C / S - B$ and $LOQ = 10 \times SD \times C / S - B$; where SD is the standard deviation of the 15 blank measurement, C is the concentration of the standard, S is the signal values of the standard, B is the mean of the signal values of the blank.

D. 6. Recovery

Standard solutions of 4 different concentrations containing the analytes were prepared by adding them to the recovery study samples. Recovery values were given to the ICP-MS instrument repeatedly after the samples were prepared, and the results were determined.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. ANALYSIS RESULTS AND CONFORMITY

With the help of the allowable daily exposure (PDE) limit of the elements in the oral drugs, the target limits of the drugs were determined according to the daily intake doses. During the evaluation of elemental impurities, there is a control threshold limit to see if additional control equipment is needed. The limit is the 30% level of the allowable daily exposure (PDE) of the specific elemental impurity. When the results of the analysis are examined, they are evaluated according to these limits, and the conformity values are given in Table 3 and Table 4. In addition, in this study, when the analysis results

of the elements analyzed in allergy and cancer drugs were calculated, it was seen that they were below the 30% limit and therefore conformity was given.

Table 3. Cancer drug analysis result and conformity.

Element		Limits			Analysis results ($\mu\text{g/g}$)	Action
Symbol	Class	Oral PDE ($\mu\text{g/day}$)	Option Target Limit ($\mu\text{g/g}$) 0.229 g/day drug product	30% limit ($\mu\text{g/g}$)		
Cd	1	5	21.83	6.55	0.039	Valid
Pb	1	5	21.83	6.55	2.541	Valid
As	1	15	65.50	19.65	0.003	Valid
Hg	1	30	131.00	39.30	0.013	Valid
Co	2A	50	218.34	65.50	0.981	Valid
V	2A	100	436.68	131.00	0.001	Valid
Ni	2A	200	873.36	262.01	0.030	Valid
Tl	2B	8	34.93	10.48	0.001	Valid
Au	2B	100	436.68	131.00	0.030	Valid
Pd	2B	100	436.68	131.00	0.024	Valid
Ir	2B	100	436.68	131.00	0.040	Valid
Os	2B	100	436.68	131.00	0.113	Valid
Rh	2B	100	436.68	131.00	0.008	Valid
Ru	2B	100	436.68	131.00	0.001	Valid
Se	2B	150	655.02	196.51	0.019	Valid
Pt	2B	100	436.68	131.00	0.000	Valid
Li	3	550	2401.75	720.52	0.021	Valid
Sb	3	1200	5240.17	1572.05	0.037	Valid
Ba	3	1400	6113.54	1834.06	0.101	Valid
Mo	3	3000	13100.44	3930.13	0.258	Valid
Cu	3	3000	13100.44	3930.13	0.488	Valid
Sn	3	6000	26200.87	7860.26	0.315	Valid
Cr	3	11000	48034.93	14410.48	0.864	Valid

Table 4. Allergy drug analysis result and conformity.

Element		Limits			Analysis results ($\mu\text{g/g}$)	Action
Symbol	Class	Oral PDE ($\mu\text{g/day}$)	Option Target Limit ($\mu\text{g/g}$) 0.205 g/day drug product	30% limit ($\mu\text{g/g}$)		
Cd	1	5	24.39	7.32	0.021	Valid
Pb	1	5	24.39	7.32	2.464	Valid
As	1	15	73.17	21.95	0.011	Valid
Hg	1	30	146.34	43.90	0.138	Valid
Co	2A	50	243.90	73.17	0.238	Valid
V	2A	100	487.80	146.34	0.023	Valid
Ni	2A	200	975.61	292.68	0.901	Valid
Tl	2B	8	39.02	11.71	0.002	Valid
Au	2B	100	487.80	146.34	0.014	Valid
Pd	2B	100	487.80	146.34	0.013	Valid
Ir	2B	100	487.80	146.34	0.021	Valid
Os	2B	100	487.80	146.34	0.186	Valid

Rh	2B	100	487.80	146.34	0.004	Valid
Ru	2B	100	487.80	146.34	0.000	Valid
Se	2B	150	731.71	219.51	0.009	Valid
Pt	2B	100	487.80	146.34	0.000	Valid
Li	3	550	2682.93	804.88	1.611	Valid
Sb	3	1200	5853.66	1756.10	0.051	Valid
Ba	3	1400	6829.27	2048.78	0.165	Valid
Mo	3	3000	14634.15	4390.24	0.479	Valid
Cu	3	3000	14634.15	4390.24	0.205	Valid
Sn	3	6000	29268.29	8780.49	0.315	Valid
Cr	3	11000	53658.54	16097.56	0.320	Valid

B. ANALYTICAL PARAMETERS OF THIS METHOD

The analytical parameters of the validation studies for cancer and allergy drugs are presented in Table 5. According to the results, the calibration curves obtained from the calibration graphs prepared at different linear measurement intervals have high regression coefficients. By using these calibration lines, the detection limits (LOD) and the quantification limits (LOQ) of each element were calculated. Calculated using $LOD = 3 \times SD \times C / S - B$ and $LOQ = 10 \times SD \times C / S - B$; where SD is the standard deviation of the 15 blank measurements, C is the concentration of the standard, S is the signal values of the standard, B is the mean of the signal values of the blank. Here, while Cd and Tl elements have the lowest detection limit, the Cr element has the highest value. In addition, the equations of each calibration curve are given in Table 5.

Table 5. The analytical parameters of the validation studies.

Element	R ²	Calibration Curves	Linear Range	LOD ($\mu\text{g/L}$)	LOQ ($\mu\text{g/L}$)
Cd	0.9998	$y = 0.1141x + 2.0797E-004$	0.1-40	0.004	0.013
Pb	0.9987	$y = 0.0212x + 0.0038$	0.1-40	0.035	0.117
As	0.9998	$y = 0.0390x + 1.1666E-004$	0.3-120	0.007	0.025
Hg	0.9999	$y = 0.0050x + 1.1308E-004$	0.6-240	0.079	0.263
Co	0.9998	$y = 0.7136x + 0.0109$	1-400	0.009	0.031
V	0.9999	$y = 0.1205x + 0.0011$	2-800	0.013	0.043
Ni	1.0000	$y = 0.2341x + 0.0184$	4-1600	0.034	0.115
Tl	0.9993	$y = 0.0572x + 3.4351E-005$	0.160-64	0.001	0.004
Au	1.0000	$y = 0.0605x + 0.0018$	2-800	0.027	0.090
Pd	0.9997	$y = 0.5320x + 0.0048$	2-800	0.018	0.059
Ir	0.9999	$y = 0.0771x + 0.0013$	2-800	0.020	0.067
Os	0.9999	$y = 0.0189x + 0.0035$	2-800	0.059	0.197
Rh	0.9997	$y = 2.4843x + 0.0148$	2-800	0.017	0.055
Ru	0.9998	$y = 0.4092x + 0.0016$	2-800	0.015	0.050
Se	0.9999	$y = 0.0012x + 1.6606E-004$	3-1200	0.071	0.238
Pt	1.0000	$y = 0.0358x + 4.9195E-004$	2-800	0.017	0.057
Li	0.9998	$y = 0.0058x + 0.0090$	11-4400	0.280	0.935
Sb	1.0000	$y = 0.6104x + 0.0602$	24-9600	0.170	0.568
Ba	0.9999	$y = 0.1720x + 0.4695$	28-11200	0.312	1.041
Mo	0.9999	$y = 0.1378x + 0.0915$	60-24000	0.436	1.453
Cu	0.9998	$y = 0.6515x + 0.8605$	60-24000	0.489	1.630
Sn	0.9998	$y = 0.1622x + 0.0980$	120-48000	0.931	3.102
Cr	1.0000	$y = 0.1749x + 0.1063$	220-88000	1.756	5.854

C. PRECISION OF THIS METHOD

In order to calculate the precision of the method developed for cancer and allergy drugs, the relative standard deviation (RSD) values were calculated by analyzing the drug solutions at two different concentrations (25% and 100%) for both drugs 7 times. The results are given in Table 6. As a result of

the analysis, it is seen that the RSDs are quite low. Obtained RSD values vary between 0.46 and 11.52. While the V element has the lowest RSD value with 0.46%, it has the Au element with 11.52%. The low RSD values indicate the reproducibility, precision of the validation study, and reliability of the method.

Table 6. The precision results of this method.

Element	Cancer Drug		Allergy Drug	
	%RSD			
	25%	100%	25%	100%
Cd	2.91	2.62	1.18	3.39
Pb	4.61	7.96	5.16	7.93
As	2.39	2.11	2.45	2.51
Hg	2.44	1.80	1.12	2.29
Co	3.46	2.48	4.16	2.65
V	2.16	0.81	1.06	0.46
Ni	1.50	2.19	4.53	2.71
Tl	2.50	0.53	0.96	1.37
Au	4.38	3.99	11.52	2.41
Pd	2.14	2.21	2.63	5.00
Ir	2.54	1.26	0.91	1.91
Os	2.82	0.66	1.32	4.00
Rh	3.13	2.53	1.97	2.97
Ru	2.30	2.18	2.17	2.86
Se	2.78	1.80	2.82	3.57
Pt	9.29	1.79	0.47	1.31
Li	3.31	0.68	0.95	1.03
Sb	1.53	3.95	3.73	4.79
Ba	1.40	4.12	4.23	5.15
Mo	1.75	1.44	1.34	1.07
Cu	1.88	2.14	1.98	2.53
Sn	1.86	2.34	2.05	2.99
Cr	2.02	0.92	0.83	0.49

D. RECOVERY

In this study, a recovery study was carried out to determine the accuracy of the analysis method. Recovery studies of drugs are performed by adding known concentrations of analyte to the sample. The samples selected from the intermediate stock solution were added at 4 different concentrations and the recovery values were calculated. Table 7 and Table 8 show that heavy metals can be detected in allergy and cancer drugs since the recovery values found are within acceptable limits. When the results obtained were examined, it was determined that the highest recovery in the cancer drug was 112.24% for Pb, 100.53% for Sb, and 102.49% for Ba. On the other hand, the lowest recovery was found in Au with 81.09%. In the allergy drug, the metals with the highest recovery values are 105.59% for Co, 105.25% for Ir, 102.52% for Os, 107.75% for Sb, and 105.58% for Ba. The lowest recovery values in the allergy drug were obtained in Ru metal at 87.74%, Pb metal at 87.78%, and Au metal at 86.37%. When the recovery values are evaluated in general for both drugs, it is seen that even the values specified as the lowest recovery value for the elements analyzed in the study are at a high level.

Table 7. Application of the developed ICP-MS analysis procedure to the cancer drug sample.

Element	Spike (ppb)	Found (ppb)	Recovery (%)
Cd	1.25	1.14	87.33
	2.5	2.26	88.37
	5	4.48	88.63

	7.5	6.85	90.62
Pb	1.25	4.50	88.96
	2.5	6.90	109.27
	5	9.20	104.36
	7.5	12.70	112.24
As	3.75	3.47	92.40
	7.5	6.93	92.37
	15	13.86	92.36
	22.5	20.82	92.53
Hg	7.5	6.68	88.82
	15	13.57	90.37
	30	27.25	90.76
	45	41.07	91.23
Co	12.5	12.42	95.17
	25	24.73	96.81
	50	48.85	96.65
	75	73.18	96.87
V	25	21.82	87.07
	50	44.00	87.90
	100	87.72	87.66
	150	131.83	87.85
Ni	50	46.25	89.85
	100	92.03	90.70
	200	182.24	90.45
	300	289.97	96.18
Tl	2	1.70	84.82
	4	3.43	85.72
	8	6.83	85.35
	12	10.24	85.32
Au	25	20.77	82.94
	50	40.58	81.09
	100	86.34	86.30
	150	133.13	88.73
Pd	25	21.29	85.03
	50	43.10	86.14
	100	86.39	86.36
	150	141.65	94.41
Ir	25	23.59	94.15
	50	48.07	96.03
	100	96.92	96.86
	150	145.04	96.65
Os	25	20.59	81.82
	50	41.58	82.88
	100	83.57	83.42
	150	140.07	93.27
Rh	25	22.22	88.86
	50	47.05	94.09
	100	94.17	94.16
	150	142.74	95.15
Ru	25	21.39	85.57
	50	42.87	85.73
	100	86.02	86.01
	150	131.09	87.39

Se	37.5	35.22	93.85
	75	70.63	94.14
	150	139.12	92.73
	225	207.09	92.03
Pt	25	20.64	82.58
	50	41.91	83.81
	100	91.93	91.93
	150	139.90	93.26
Li	137.5	129.74	94.34
	275	268.52	97.63
	550	545.91	99.25
	825	802.60	97.28
Sb	300	269.51	89.82
	600	603.26	100.53
	1200	1186.17	98.84
	1800	1803.87	100.21
Ba	350	319.39	91.21
	700	648.02	92.55
	1400	1392.90	99.48
	2100	2152.55	102.49
Mo	750	652.79	86.99
	1500	1302.93	86.84
	3000	2614.46	87.14
	4500	4015.96	89.23
Cu	750	706.09	94.05
	1500	1412.18	94.10
	3000	2819.85	93.97
	4500	4254.05	94.52
Sn	1500	1419.13	94.58
	3000	2811.45	93.70
	6000	5593.19	93.21
	9000	8483.41	94.25
Cr	2750	2496.54	90.74
	5500	5014.29	91.15
	11000	10060.79	91.45
	16500	15201.84	92.13

Table 8. Application of the developed ICP-MS analysis procedure to the allergy drug sample.

Element	Spike (ppb)	Found (ppb)	Recovery (%)
Cd	1.25	1.20	92.13
	2.5	2.39	93.32
	5	4.55	90.01
	7.5	6.87	90.94
Pb	1.25	4.46	90.18
	2.5	5.79	93.37
	5	7.93	91.24
	7.5	9.83	87.78
As	3.75	3.76	99.85
	7.5	7.47	99.38
	15	14.26	94.99
	22.5	21.21	94.18
Hg	7.5	7.45	96.65

	15	14.69	96.61
	30	28.48	94.29
	45	42.79	94.65
Co	12.5	13.58	105.59
	25	26.08	102.87
	50	49.23	97.75
	75	73.61	97.68
V	25	23.77	94.95
	50	47.34	94.61
	100	91.29	91.26
	150	135.24	90.14
Ni	50	49.72	96.82
	100	96.77	95.48
	200	184.43	91.60
	300	293.80	97.50
Tl	2	1.87	93.18
	4	3.68	92.05
	8	7.11	88.81
	12	10.64	88.64
Au	25	22.21	88.77
	50	43.21	86.37
	100	92.06	92.04
	150	142.57	95.04
Pd	25	22.37	89.40
	50	44.73	89.42
	100	88.88	88.86
	150	130.48	86.97
Ir	25	26.17	104.55
	50	52.66	105.25
	100	101.05	101.02
	150	151.22	100.79
Os	25	23.18	91.71
	50	45.53	90.56
	100	91.51	91.26
	150	154.07	102.52
Rh	25	24.84	99.34
	50	49.91	99.82
	100	96.00	95.99
	150	144.53	96.35
Ru	25	22.80	91.20
	50	45.49	90.98
	100	87.74	87.74
	150	132.88	88.58
Se	37.5	37.84	100.88
	75	73.59	98.10
	150	141.31	94.20
	225	209.51	93.11
Pt	25	22.82	91.26
	50	46.19	92.38
	100	96.08	96.08
	150	146.10	97.40
Li	137.5	136.23	97.44
	275	263.34	94.96
	550	515.65	93.36
	825	777.84	94.02
Sb	300	320.10	106.68
	600	646.55	107.75
	1200	1256.94	104.74

	1800	1869.17	103.84
	350	345.77	98.72
Ba	700	683.94	97.67
	1400	1474.78	105.32
	2100	2217.41	105.58
	750	715.38	95.29
Mo	1500	1417.09	94.43
	3000	2766.77	92.20
	4500	4172.21	92.70
	750	759.10	101.17
Cu	1500	1500.70	100.03
	3000	2878.63	95.94
	4500	4308.39	95.74
	1500	1519.43	101.27
Sn	3000	2965.20	98.83
	6000	5667.84	94.46
	9000	8572.75	95.25
	2750	2721.86	98.96
Cr	5500	5427.02	98.67
	11000	10528.82	95.71
	16500	15580.84	94.43

IV. CONCLUSION

In this study, a microwave-assisted digestion process and ICP-MS analysis and validation were performed for the determination of heavy metals in orally administered allergy and cancer drugs. In order to determine the reliability and accuracy of the results obtained, the microwave-assisted digestion process, which is one of the most suitable processes for sample preparation, was preferred. Being a fast method, realizing the digestion process in a much shorter time compared to other methods, and with its superior properties, it increased the performance of the solubilization process and provided higher efficiency. The ICP-MS method, which was chosen for the analysis of 23 elements in cancer and allergy drugs in tablet form with the proposed method, has many advantages compared to other methods when the method was developed in this study. When the analysis results were examined, it was determined that the microwave-assisted solubilization process and the ICP-MS analysis performed were more acceptable and appropriate due to their features such as the lower amount of chemicals needed in this study, the low loss of volatile elements, and the high reproducibility values. The correlation coefficients obtained for heavy metals in this study ranged from 0.9993 to 1.000, while the detection limit was found to be between 0.001 and 1.756 µg/L. In addition, the RSD values obtained in the study ranged from 0.46 to 11.52, while the lowest RSD value of 0.46% was obtained in the V element. The low RSD values obtained prove the repeatability and reliability of the validation study. The developed method has been successfully applied for the determination of heavy metals in cancer and allergy drugs.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work is supported by Düzce University Scientific Project (Project no: 2022.05.03.1325). We thank to Nobel İlaç for their support of this study.

V. REFERENCES

[1] E. Yilmaz, and M. Soylok, "Assessment of Concentration of Trace Metals in Traditional Bread Samples from Turkey," *Fresenius Environmental. Bulletin*, vol. 23, no. 3, pp. 782-786, 2014.

- [2] A. Vural, I. Narin, M. E. Erkan, and M. Soylak, "Trace Metal Levels and Some Chemical Parameters in Herby Cheese Collected from South Eastern Anatolia-Turkey," *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 139, pp. 27–33, 2008.
- [3] H. Altundag, S. Albayrak, S. M. Dundar, M. Tuzen, and M. Soylak, "Investigation of The Influence of Selected Soil and Plant Properties from Sakarya, Turkey, on the Bioavailability of Trace Elements by Applying an *in vitro* Digestion Model," *Biological Trace Element Research*, vol. 168, pp. 276–285, 2015.
- [4] U. P. Onyedima, N. E. C. Siddhant, P. O. Chukwu, A. B. Ajong, and F. Dehmchi, "Evaluation of Risk Caused by Intake of Trace Metal Through Consumption of *Pleurotus Tuber-Regium* Collected Around Automobile Village in ABIA State," *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, vol. 35, pp. 229–241, 2021.
- [5] M. Herrero, J. Rovira, M. Nadal, and J. L. Domingo, "Risk Assessment Due to Dermal Exposure of Trace Elements and Indigo Dye in Jeans: Migration to Artificial Sweat," *Environmental Research*, vol. 172, pp. 310–318, 2019.
- [6] S. K. Taneja, and R. Mandal, "Mineral Factors Controlling Essential Hypertension—a Study in the Chandigarh, India Population," *Biological Trace Element Research*, vol. 120, pp. 61–73, 2007.
- [7] S. Ródenas, F. J. Sánchez-Muniz, S. Bastida, M. I. Sevillano, T. Larrea Marín, and M. J. González-Muñoz, "Blood Pressure of Omnivorous and Semi-Vegetarian Postmenopausal Women and Their Relationship with Dietary and Hair Concentrations of Essential and Toxic Metals," *Nutricion Hospitalaria*, vol. 26, no. 4, pp. 874–883, 2011.
- [8] S. Yalcın, S. Sezer, R. Apak, "Characterization and Lead(II), Cadmium(II), Nickel(II) Biosorption of Dried Marine Brown Macro Algae *Cystoseira barbata*," *Environmental Science Pollution Research*, vol. 19, pp. 3118–3125, 2012.
- [9] S. Farahani, N. Eshghi, A. Abbasi, F. Karimi, F. E. S. Malekabad, and M. Rezaei, "Determination of Heavy Metals in Albumen of Hen Eggs from the Markazi Province (Iran) Using ICP-OES Technique," *Toxin Reviews*, vol. 3, no. 2, pp. 96–100, 2015.
- [10] N. Khan, I. S. Jeong, I. M. Hwang, J. S. Kim, S. H. Choi, and E. Y. Nho, "Method Validation for Simultaneous Determination of Chromium, Molybdenum and Selenium in Infant Formulas by ICP-OES and ICP-MS," *Food Chemistry*, vol. 141, no. 4, pp. 3566–3570, 2013.
- [11] S. Karasakal, "Determination of Trace and Major Elements in Vegan Milk and Oils by ICP-OES After Microwave Digestion," *Biological Trace Element Research*, vol. 197, pp. 683–693, 2020.
- [12] S. Paz, C. Rubio, A.J. Gutiérrez, D. González-Weller, and A. Hardisson, "Dietary Intake of Essential Elements (Na, K, Mg, Ca, Mn, Zn, Fe, Cu, Mo, Co) from Tofu Consumption," *Biological Trace Element Research*, vol. 199, pp. 382–388, 2021.
- [13] N. H. Bings, A. Bogaerts, and J. A. Broekaert, "Atomic Spectroscopy," *Analytical Chemistry*, vol. 78, no. 12, pp. 3917–3946, 2006.
- [14] D. Beauchemin, "Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry," *Analytical chemistry*, vol. 80, no. 12, pp. 4455–4486, 2008.
- [15] I. Mazurova, A. Khvaschevskaya, and N. Guseva, "The Choice of Conditions for the Determination of Vanadium, Chromium and Arsenic Concentration in Waters by ICP-MS Using Collision Mode," *Procedia Chemistry*, vol. 15, pp. 201–205, 2015.

- [16] C. Moor, T. Lymberopoulou, and V. J. Dietrich, "Determination of Heavy Metals in Soils, Sediments and Geological Materials by ICP-AES and ICP-MS," *Microchimica Acta*, vol. 136, no. 3–4, pp. 123–128, 2001.
- [17] P. Pohl, A. Bielawska-Pohl, A. Dzimitrowicz, P. Jamroz, M. Welna, A. Lesniewicz, and A. Szymczycha-Madeja, "Recent Achievements in Element Analysis of Bee Honeys by Atomic and Mass Spectrometry Methods," *Trends Analytical Chemistry*, vol. 93, pp. 67–77, 2017.
- [18] M. L. Astolfi, M. E. Conti, E. Marconi, L. Massimi, and S. Canepari, "Effectiveness of Different Sample Treatments for the Elemental Characterization of Bees and Beehive Products," *Molecules*, vol. 25, no. 18, pp. 4263, 2020.
- [19] G. Li, and F. Zhu, "Physicochemical Properties of Quinoa Flour as Affected by Starch Interactions," *Food Chemistry*, vol. 221, pp. 1560–1568, 2017.
- [20] A. O. Mehder, E. Yilmaz, A. Sungur, M. Soylak, and Z. A. Allothman, "Assessment of Cr, Mn, Fe Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, and Pb Concentrations Found in Gluten-Free Foods from Saudi Arabia by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry," *Atomic Spectroscopy*, vol. 36, pp. 254–260, 2015.
- [21] M. Yoshida, N. Ogi, and Y. Iwashita, "Estimation of Mineral and Trace Element Intake in Vegans Living in Japan by Chemical Analysis of Duplicate Diets," *Health*, vol. 3, pp. 672–676, 2011.
- [22] Y. A. Hannon, M. J. Al-Obaidi, S.S. Al-Khafaji, A.I. Jassim, "Heavy Metals Content in Some Chips Products in Iraqi Markets," *Iraqi Journal of Science*, vol. 57, pp. 2818–2828, 2016.
- [23] M. Schneider, É. R. Pereira, D. P. C. de Quadros, B. Welz, E. Carasek, J. B. de Andrade, J. C. Menoyo, and J. Feldmann, "Investigation of Chemical Modifiers for the Determination of Cadmium and Chromium in Fish Oil and Lipoid Matrices Using HR-CS GF AAS and a Simple 'Dilute-And-Shoot' Approach," *Microchemical Journal*, vol. 133, pp. 175–181, 2017.
- [24] S. Sel, F. A. Erulaş, F. Turak, and S. Bakırdere, "Simultaneous Determination of Chromium Species in Water and Plant Samples at Trace Levels by Ion Chromatography–Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry," *Analytical Letters*, vol. 52, no. 5, pp. 761–771, 2019.
- [25] Y. Li, G. Peng, Q. He, H. Zhu, and S. M. Z. F. Al-Hamadani, "Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Based on the Solidification of Floating Organic Drop Followed by ICP-MS for the Simultaneous Determination of Heavy Metals in Wastewaters," *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 140, pp. 156–61, 2015.
- [26] S. A. Drivelos, and C. A. Georgiou, "Multi-Element and Multi-Isotope-Ratio Analysis to Determine the Geographical Origin of Foods in the European Union," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 40, pp. 38–51, 2012.
- [27] P. Pohl, A. Bielawska-Pohl, A. Dzimitrowicz, P. Jamroz, M. Welna, A. Lesniewicz, and A. Szymczycha-Madeja, "Recent Achievements in Element Analysis of Bee Honeys by Atomic and Mass Spectrometry Methods," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 93, pp. 67–77, 2017.
- [28] M. Sadowska, W. Hyk, A. Ruszczyńska, A. Roszak, A. Mycka, and B. Krasnodebska-Ostrega, "Statistical Evaluation of the Effect of Sample Preparation Procedure on the Results of Determinations of Selected Elements in Environmental Samples. Honey Bees as a Case Study," *Chemosphere*, vol. 279, pp. 130572, 2021.
- [29] E. I. Muller, C. C. Müller, J. P. de Souza, A. L. Muller, M. S. Enders, M. Doneda, A. C. Frohlich, G. D. Iop, and K. F. Anschau, "Green Microwave-Assisted Wet Digestion Method of Carbohydrate-Rich Foods with Hydrogen Peroxide Using Single Reaction Chamber and Further Elemental Determination Using ICP-OES and ICP-MS," *Microchemical Journal*, vol. 134, pp. 257–261, 2017.

[30] A. B. P. Leme, S. Bianchi, R. L. Carneiro, and A. R. A. Nogueira, "Optimization of Sample Preparation in the Determination of Minerals and Trace Elements in Honey by ICP-MS," *Food Analytical Methods*, vol. 7, pp. 1009–1015, 2013.

[31] S. Oliveira, C. N. Alves, E. S. B. Morte, A. D. F. S. Junior, R. G. O. Araujo, and D. C. M. B. Santos, "Determination of Essential and Potentially Toxic Elements and Their Estimation of Bioaccessibility in honeys," *Microchemical Journal*, vol. 151, pp. 104221, 2019.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Examination of the Reliability of a Robustness Test for the Self-Directed Channel Carbon-Based Memristors by Reading Their DC Resistance

Ceylan DALMIŞ ERCAN ^{a,*}, Ertuğrul KARAKULAK ^b, Reşat MUTLU ^a

^a *Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu, Tekirdağ, TÜRKİYE*

^b *Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cylvn.dalmis@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1084460

ABSTRACT

An ideal memristor that has been theoretically predicted almost a half-century ago is a nonlinear power dissipating circuit element. Nowadays, memristive systems such as thin films which are not ideal memristors are also called memristors. Such systems have current-dependent behavior and nonlinear charge-dependent electrical resistance. Self-directed channel Carbon-, Tungsten-, Chrome-, and Tin-based memristors have become commercially available nowadays and they are used for research purposes. All circuit components must be tested before their usage. It is expected that memristors will become commonly used in electronic circuits in the future. However, the literature has just a few memristor tests reported. To the best of our knowledge, there is not a suggested robustness test for the self-directed channel Carbon-based memristors in the literature. In this study, A recently suggested memristor robustness test which could be made using just a multimeter is modified using a series resistor. The test is tried on the Self-Directed Channel Carbon-Based memristors. Unfortunately, the test is found unreliable and invalid for the self-Directed Channel Carbon-Based memristors.

Keywords: *Memristor, Component test, Known memristors, Carbon-based memristors*

Kendiliğinden Kanal Oluşturmalı Karbon Tabanlı Memristörler İçin DC Dirençlerini Okuyarak Yapılan Bir Sağlamlık Testinin Güvenilirliğinin İncelenmesi

ÖZ

Neredeyse yarım yüzyıl önce varlığı teorik olarak tahmin edilen ideal memristör, doğrusal olmayan ve güç tüketen bir devre elemanıdır. Günümüzde, ideal memristör olmayan ince filmler gibi memristif sistemler de memristör olarak isimlendirilmektedir. Bu tür sistemler akıma bağlı davranışa ve doğrusal olmayan yüke bağlı elektrik direncine sahiptir. Kendiliğinden kanal oluşturmalı (KKO) Karbon, Tungsten, Krom ve Kalay tabanlı memristörler günümüzde ticari olarak temin edilebilir hale gelmiştir ve araştırma amacıyla kullanılmaktadır. Tüm devre elemanları kullanılmadan önce test edilmelidir. Gelecekte memristörlerin elektronik devrelerde yaygınca kullanılması beklenmektedir. Bununla birlikte, literatürde rapor edilmiş az sayıda memristör testi mevcuttur. Bildiğimiz kadarıyla, literatürde Kendiliğinden Kanal Oluşturmalı Karbon Tabanlı memristörler için önerilmiş bir sağlamlık testi yoktur. Bu çalışmada yakın zamanda önerilen sadece bir multimetre kullanılarak yapılabilen bir memristör sağlamlık testi bir seri direnç kullanılarak modifiye edilmiştir. Bu test Kendiliğinden Kanal Oluşturmalı Karbon Tabanlı memristörler üzerinde denenmiştir. Ne yazık ki, bu test Kendiliğinden Kanal Oluşturmalı Karbon Tabanlı memristörler için güvenilirmez ve geçersiz bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: *Memristör, Eleman testi, Known memristörler, Karbon tabanlı memristörler*

I. INTRODUCTION

A memristor is a nonlinear charge-dependent circuit element. It has been predicted to exist in 1971 [1]. Memristive systems have been described in 1976 [2]. A TiO₂ thin-film has been shown to behave as a memristor in 2008 in [3]. Even though there are no ideal memristors found yet [4], nowadays, memristive systems are also called memristors [5-7]. Memristor has emerged as a popular research area [5-10]. It may be used in not only analog but also digital applications [8-10]. Companies are trying to make memristor commercially available in the market [11, 12]. The self-directed channel (SDC) Carbon-, Tungsten-, Chrome-, and Tin-based memristors are already on the market [12]. The SDC memristors have already been used in chaotic circuit applications recently [13-15]. In the future, more memristor-based analog circuit applications such as programmable oscillators, amplifiers, and comparators examined in [10,16] are expected to appear. When it happens, such memristor-based circuits or memristors will need test devices or testing methods. A test for memristor-based memories is suggested in [17]. A simple test for ideal memristors has been suggested in [18]. A robustness test is suggested for non-ideal memristors having a high R_{OFF}/R_{ON} ratio (Off-state resistance to on-state resistance ratio) in order to learn whether such a device is broken or not [19]. The test was so simple that it could be made using just a multimeter or an ohmmeter. However, some memristors or memristive systems have bipolar characteristics such as Complementary Resistive Switches (CRSs), discharge lamps, ZnO-based memristive systems, and diacs [20-27] and such a test may not be used to test memristive systems with bipolar resistive switching or CRS switches [20-27]. They obtain ideally the same resistance values for each polarity when excited with a DC source for a duration greater than its memristive or resistive switching time [28, 29]. The structure of the SDC Carbon-based memristors is similar to the bipolar or the CRS resistive switches. In this paper, the test suggested in [19] is used with a modification on the SDC Carbon-based memristors to verify whether such a memristor is broken or not. Considering the saturation mechanism of the SDC Carbon-based memristors and their required protection resistance, the simple test in [19] is modified. The resistances of an SDC Carbon-based memristor are measured using different series resistors in both forward and reverse directions just using a multimeter. Based on the data obtained from the experiments performed, the test is evaluated.

The study is structured as follows. The definition of memristor and memristive systems is given, the SDC Carbon-based memristors are briefly told, and a simple robustness test is presented in the second section. The experimental results are given in the third section. The study is concluded with the last section.

II. MATERIALS and METHOD

In this section, first, the description of Memristor and Memristive Systems is given to remind us how the resistance of the memristors changes, the SDC carbon-based memristors are introduced, and then the suggested test is described.

A. Memristor and Memristive Systems

In this section, memristive system equations are given first. In [2], Chua et al. have described an n^{th} degree voltage-controlled memristive system as

$$v(t) = R(x(t), v(t), t)i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), v(t), t) \quad (2)$$

where $R(x(t), v(t), t)$ is the electrical resistance or the memristance of the system, $v(t)$ is the system voltage, $i(t)$ is the system current, and $x(t)$ is the set of n^{th} state variables used to describe the internal state of the system.

Nonlinear dopant drift memristor models do already exist in the literature [30-32]. They have window functions to model nonlinear drift speed within the TiO₂ region. The window function shows how a memristor deviates from being an ideal memristor. Their resistance value starts varying when the window function is different from zero. The memristor model in [30] is given as,

$$v(t) = R(x)i(t) \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_v i(t) R_{ON}}{D^2} g(x, i) \quad (4)$$

where $g(x, i)$ is the window function of the memristor, μ_v is the mobility constant, and $x(t)$ is the state variable of the memristor.

In literature, there are many different window functions used to model nonlinear drift phenomena. For example, the one suggested in [13] is given as

$$g(x, i) = 1 - (x - stp(i))^{2p} \quad (5)$$

where p is a shaping constant.

The memristance of such a memristor is given as

$$R(x) = R_{ON}x + R_{OFF}(1 - x) \quad (6)$$

Its resistance stays between the minimum and the maximum value, R_{ON} and R_{OFF} :

$$R_{OFF} \geq R(x) \geq R_{ON} \quad (7)$$

The CRS memristors have also been examined in the literature, especially for their usage in computer memories [23, 26]. More information about them can be found in [21-23, 33-34]. For the CRS memristors, their equivalent resistance for both polarities is almost the same after resistive switching completes since they are connected in anti-series [21-23, 26].

Therefore, the following is true:

$$R_{OFF} \cong R_{ON} \quad (8)$$

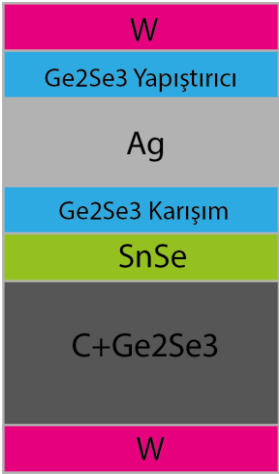
In [19], a simple test is suggested to test using just an AVOMeter or a multimeter, or an ohmmeter to check whether a memristor with a high R_{OFF}/R_{ON} ratio or not. The memristor models given in [26-28] are not sufficient to model the SDC memristors due to their complex and bipolar-like characteristics. More information about the SDC memristors is given in the following section.

B. The Self-directed Channel Carbon-based Knownm Memristors

In this section, the SDC Carbon-based memristors produced by Knownm company [12] are briefly told. Its topology is shown in Figure 1.a. The SDC Carbon-based memristor circuit element has been tried to be optimized with various additives. Memristor channels formed within the material layers, used to change device resistance, rely on the movement of Ag⁺ ions inside the active layers. These layers of material form a metal ion conducting device and are often referred to as an electrochemical metallization cell. The forward voltage applied to the memristor will create a channel with the movement of Ag⁺ ions and will bring the device from the low conductivity state to the high conductivity state. If a reverse voltage is applied, the device whose resistance value will increase considerably will become less conductive. Knownm company defines the natural direction, i.e. forward direction, as the direction in which the resistance value decreases and the conductivity increases in its memristors. The opposite or the reverse direction defines the direction where the resistance value increases and the conductivity decreases. Photographs of the SDC Carbon-based memristor integrated circuits are given in Figure 1.b. The integrated circuit has 16 pins and 8 SDC memristors. The leg connections of these integrated circuits are given in Figure 1.c.

According to the information given in [12], the SDC Carbon-based memristor used in this study has been defined as the most suitable device for low-power binary switching. One of the memristors in the integrated circuit is chosen and excited with a sinusoidal signal and the acquired hysteresis curves of the memristor are given in Figure 2 for two different frequencies. As it can be seen in these figures, the area

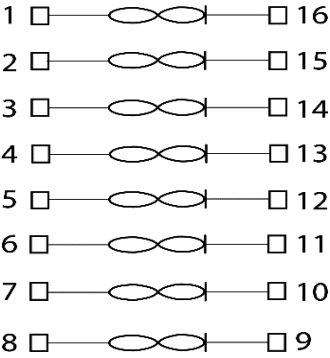
of the zero-crossing hysteresis loop of the memristor gets smaller when the frequency increases as described in [2]. More detailed information about Knowm memristors can be found in [12].



a)



b)



c)

Figure 1. a) The SDC Carbon-based Knowm Memristor topologies [12], b) The SDC Carbon-based Knowm Memristor Integrated Circuits having 8 memristors [12], and c) The Pin connections of the Knowm memristor Circuits [12]

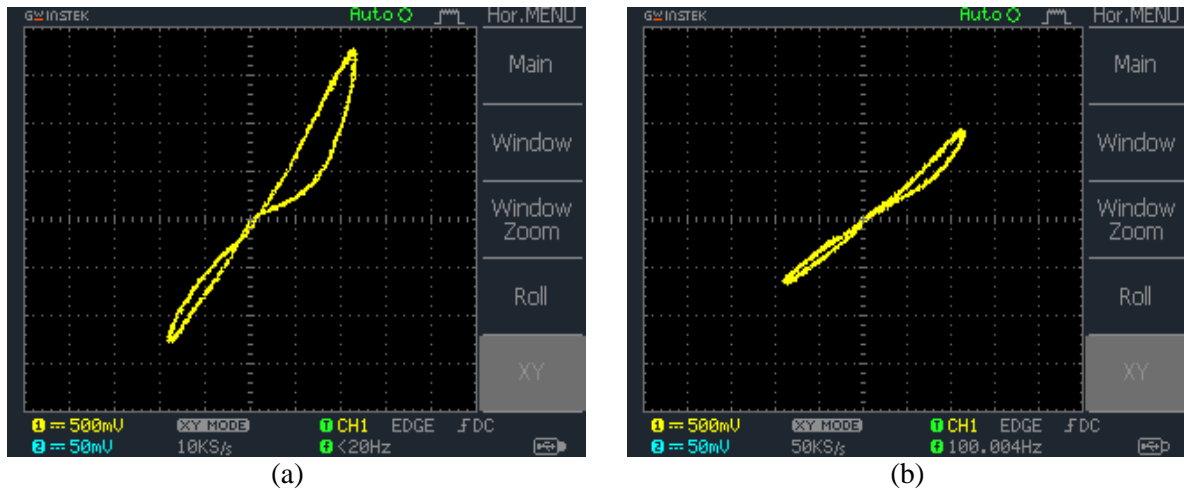


Figure 2. The Hysteresis curves of an SDC Carbon-based memristor observed at a) 20 Hz and b) 100 Hz under a sinusoidal voltage

C. A Simple Test for the SDC Carbon-based Known Memristors

Tests are commonly used for semiconductor circuit elements. A test that has been given in [19] can be easily adapted to an SDC Carbon-based memristor. Considering the protection resistor, the test given in [19] is modified a bit for the SDC Carbon-based memristors. The following test which can be done to learn whether it is good (working) or bad (failed) is summarized below:

- A protection resistor whose resistance is between 50 kOhms and 100 kOhms should be put in series with an SDC Carbon-based memristor as suggested in its datasheet. Such a series resistor is not needed in [19]. In this study, the protection resistors whose values range from 50 kOhms to 350 kOhms are used in the experiments. Then, a measurement device, which can be a multimeter or an AVOMeter, or an Ohmmeter, is used to read its resistance in experiments. Such a measurement device provides the voltage needed for the resistive switching of an SDC Carbon-based memristor to occur.
- If an SDC Carbon-based memristor is not broken, i.e., it keeps showing the zero-crossing hysteresis curve shown in Figure 2. When it is read with an ohmmeter or multimeter as shown in Figure 3, and the memristor is forward-biased, i.e., with positive DC voltage applied by the measurement device for a sufficient time for its resistive switching to occur in this direction [28]. Then, this forward-biased resistance value is measured with the device used. Several series resistors are used to examine how the resistance of the memristor varies with the resistance of the series-connected resistor used.
- Then, if the memristor is not broken, when it is read with the device used, as shown in Figure 3, and the memristor is reverse-biased, i.e., with negative DC voltage applied by the measurement device for a sufficient time for its resistive switching to occur in this direction. Then, that reverse-biased resistance value is also measured for the several series protection resistors.
- If the reverse-biased resistance is quite different from the forward-biased resistance, the memristor model is similar to the HP memristor model and, in this case, the memristor can be regarded as operational or not broken. More on this can be found in [19].
- If the reverse-biased resistance is almost the same but not equal to the forward-biased resistance, such a memristor has a bipolar characteristic, and, in this case, the memristor can be regarded as operational or not broken.

- If the same resistance value is read in both polarities, using a different resistor, the forward- and reverse-biased resistances of the memristor are read again with a different series resistor. If they are not the same, the memristor is not broken.
- For an SDC Carbon-based memristor with threshold voltages to switch in the forward and reverse directions, it must be supplied with a voltage whose absolute magnitude is higher than its threshold voltage. Under DC or low frequency (0-10 Hz), their forward polarity threshold voltages range from 0.15 V to 0.35 V and their reverse polarity threshold voltages range from -0.27 V to -0.05 V. The measurement device should be able to provide the polarity-dependent threshold voltages required but not a voltage high enough to destroy the memristor in the resistance measurement range. That's why protection resistors are needed.

The suggested test is performed and its experimental results are given in the following section.

III. RESULT and DISCUSSION

In this section, the experimental results are given and interpreted. The experiments are done with the Known SDC Carbon-based memristors, eight different resistors, and just using a multimeter for resistance measurement. The circuit given in Figure 3 is used for the experiments. The resistors whose values are given in Tables 1-3 are used in the experiments. At the time of the experiment, only two of the memristors (Memristor 1 and Memristor 3, the first one and the third one from the upside of the integrated circuit shown in Figure 1.c) in the memristor integrated circuit are operational, i.e., only two of them have shown proper hysteresis loops similar to the one in Figure 2 before and after the resistance measurement and used in the experiments. The ones that do not show zero-crossing hysteresis loops are not operational, i.e., broken and that's why the test is not performed on them. The SDC Carbon-based memristor resistances are measured for both of the memristor polarities using the multimeter which is first dialed to its suitable resistance range. The resistances of the memristors measured are given in Tables 1 and 2. During reading, the resistance values of Memristor 1 and Memristor 3 varied and became fixed after almost a minute in the forward and reverse directions.

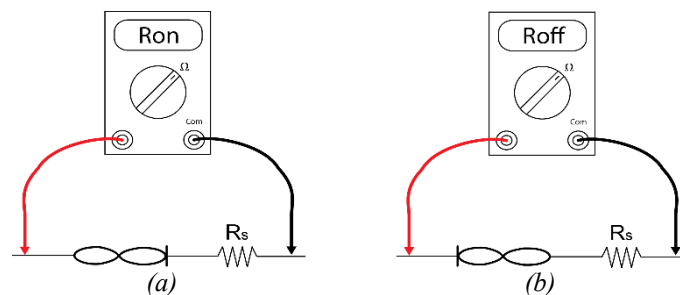


Figure 3. Memristor test with a multimeter: a) Forward resistance reading or Forward test and b) Reverse resistance reading or Reverse test

As can be seen from Table 1, Memristor 1 has almost the same resistance value for both of the polarities. The measured resistances of Memristor 1 are dependent on the resistance of the series protection resistor. However, there is a difference between them and its reverse resistance is higher than its forward resistance. It was observed that the difference between them increases as the resistance value of the series resistor used increases. During reading, the resistance values of Memristor 3 have kept increasing in both directions. The forward resistance value is read after a minute and recorded in Table 2. In the forward direction, the resistance value of the Memristor 3 is higher than 2 MOhms, which is out of the range for the multimeter since the device used can only read resistance up to 2 MOhms. However, the reverse resistance kept increasing to a level the device cannot measure. That's why the reverse resistance

of the Memristor 3 is recorded as greater than 2 MOhms. The reverse resistance values are read after almost a minute and put in Table 2. The measured forward resistance of the memristors is also dependent on the resistance of the series protection resistor. Its forward resistance is higher than its reverse resistance. That is the opposite of Memristor 1. Comparing Tables 1 and 2, it can be seen that the same test gives different results for the memristors even though both of the memristors still have zero-crossing hysteresis loops after the tests.

For Memristor 3, the data given in Table 3 was acquired in the previous experiments done one year ago. The data in Table 3 was starting point of this study since the memristor can be thought of as having bipolar characteristics due to the resistance value being almost the same but different in both directions. As can be seen from Table 3, the forward resistance is just a little below the reverse resistance except for just the data point obtained for the series resistance of 234 kOhm which can be due to an experimental error. Such is the case for the memristors or memristive systems with bipolar characteristics given in [21-28, 33-34]. According to the results of the experiments done one year ago and recently, it is found that the resistance values read are not stable and keep varying even though they continue being able to show zero-crossing hysteresis loops after the experiment is performed. More importantly, for the same memristor, Memristor 3, the data read at one year ago and the current data are different even though the same experiment is performed. The resistance values in Table 2 are in the order of MOhms while those in Table 3 are in the order of kOhms. Memristor 3 still shows the three fingerprints of a memristor and this means it is operational not broken. This shows that the test method suggested in this study is unfortunately not reliable. That's why such a test method is not suitable for the Known SDC Carbon-based memristors.

Table 1. The forward and reverse resistance values of Memristor 1 measured recently

Serial Resistance (Ohm)	R_{forward} (Ohm)	R_{reverse} (Ohm)
49.7k	1.203M	1.365M
77.1k	1.243M	1.384M
99.9k	1.248M	1.408M
127.3k	1.259M	1.487M
198k	1.291M	1.512M
225k	1.338M	1.559M
297k	1.394M	1.634M

Table 2. The forward and reverse resistance values of Memristor 3 measured recently

Serial Resistance (Ohm)	R_{forward} (Ohm)	R_{reverse} (Ohm)
49.7k	>2M	1.021M
77.1k	>2M	1.334M
99.9k	>2M	1.435M
127.3k	>2M	1.479M
198k	>2M	1.608M
225k	>2M	1.617M
297k	>2M	1.637M

Table 3. The forward and reverse resistance values of Memristor 3 measured one year ago

Serial Resistance (Ohm)	R_{forward} (Ohm)	R_{reverse} (Ohm)
------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

49.9k	119.6k	120.6k
59.9k	125.3k	126.7k
99.9k	170.7k	172.3k
118.3k	183.4k	185.6k
168.7k	234k	236k
199.6k	267k	268k
234k	236k	235k
353k	354k	354k

IV. CONCLUSION

In the future, it is expected that memristor will emerge as an off-the-shelf circuit element in the market for not only analog but also digital circuit applications. When this happens, the circuit designers will need new test methods to verify whether a memristor works properly or not. The Known memristors can already be bought in the market [12]. In this study, the usability of a simple robustness test for an SDC carbon-based memristor with a multimeter is examined. This test is different from the test given for the memristors with a high R_{OFF}/R_{ON} ratio in [19] since it requires at least a series-connected resistor. Only two memristors that show a proper zero-crossing hysteresis loop have been used in the experiments. Unfortunately, due to not having additional operational Known memristor integrated circuits and/or functional memristors with proper hysteresis loops, more experiments for different memristors could not have been performed. The suggested test has been simple enough and could have been easily made by connecting the memristor in series with a few different resistors and using just an Ohmmeter or AVOMeter, or multimeter. The experimental data are different for each memristor. Even the resistance data measured at different times are not the same for the same memristor. It should have been the same considering the resistive switching phenomenon. Therefore, the test is not validated when the recent experimental results are compared with the previous ones and found to be unusable for the SDC carbon-based memristors. More sophisticated tests should be employed for such memristors. Perhaps, they may be based on dynamic reading with a microcontroller.

ACKNOWLEDGEMENTS: The memristor used in this study has been funded by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Tekirdağ Namık Kemal University. Project number: NKUBAP.42.GA.19.206.

V. REFERENCES

- [1] L. O. Chua, "Memristor - The Missing Circuit Element," *IEEE Trans. Circuit Theory*, Vol. 18, pp. 507-519, 1971.
- [2] L. O. Chua, and S. M. Kang, "Memristive devices and systems," *Proc. IEEE*, Vol. 64, pp. 209-223, 1976.
- [3] D. B. Strukov, G. S. Snider., D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *Nature (London)*, Vol. 453, pp. 80-83, 2008.
- [4] S. Vongehr, and M. Xiangkang "The missing memristor has not been found," *Scientific reports 5*, 2015.
- [5] T. Prodromakis, and C. Toumazou, "A review on memristive devices and applications," *17th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Inspec Accession Number: 11861759, 2010.

- [6] Y. V. Pershin, J. Martinez-Rincon, and M. Di Ventra, "Memory circuit elements: from systems to applications," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* 8.3: 441-448, 2011.
- [7] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memory effects in complex materials and nanoscale systems," *Adv. Phys.*, vol. 60, pp. 145–227, 2011.
- [8] L. O. Chua, "Resistance switching memories are memristors," *Appl. Phys. A*, vol. 102, pp. 765–783, 2011.
- [9] M. Roberto, G. Gelao, and A. G. Perri, "A Review on Memristor Applications," *International Journal of Advances in Engineering & Technology* 8.3: 294, 2015.
- [10] Y. V. Pershin, and M. Di Ventra, "Practical approach to programmable analog circuits with Memristors," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 57(8), 1857-1864, 2010.
- [11] InformationWeek. Memristor Developer, <http://www.informationweek.com/desktop/hp-hynix-to-collaborate-on-memristormemory-technology/d/did/1092114>. (Date of access: 10.02.2021).
- [12] Knowm, Self Directed Channel Memristors Datasheet, https://knowm.org/downloads/Knowm_Memristors.pdf. (Date of access: 10.02.2021), 2019.
- [13] C. Volos, V. T. Pham, H. E. Nistazakis, and I. N. Stouboulos, "A Dream that has Come True: Chaos from a Nonlinear Circuit with a Real Memristor," *International Journal of Bifurcation and Chaos* 30(13):2030036, 2020.
- [14] S. Majzoub, A. S. Elwakil, C. Psychalinos, and B. J. Maundy, "On the mechanism of creating pinched hysteresis loops using a commercial memristor device," *AEU- International Journal of Electronics and Communications*, Volume 111, 152923, 2019.
- [15] L. Minati, L. V. Gambuzza, W. J. Thio, J. C. Sprott, and M. Frasca, "A chaotic circuit based on a physical memristor," *Chaos, Solitons & Fractals, Elsevier*, vol. 138(C), 2020.
- [16] Ş.Ç. Yener, R. Mutlu ve H. Kuntman, "Memristor Temelli Sallen-key Süzgeçler," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (2), 173-184, 2015.
- [17] S. Hamdioui, A. Hassan and G. Ch. Sirakoulis. "Memristor based memories: Technology, design and test," *2014 9th IEEE International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era (DTIS)*. IEEE, Inspec Accession Number: 14447109, 2014.
- [18] Y. V. Pershin, and M. Di Ventra, "A simple test for ideal memristors," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 52, Number 1, 2018.
- [19] R. Mutlu ve E. Karakulak, "A Simple Test for Non-ideal Memristor with High ROFF/RON Ratio," *European Journal of Engineering and Applied Sciences* 2 (1), 1-5, 2019.
- [20] F. Gul, and H. Efeoglu, "Bipolar resistive switching and conduction mechanism of an Al/ZnO/Al-base memristor," *Superlattices and Microstructures*, 101, 172-179, 2017.
- [21] E. Linn, R. Rosezin, C. Kügeler, and R. Waser, "Complementary resistive switches for passive nanocrossbar memories," *Nature Mater*; 9: 403–406, 2010.
- [22] R. Rosezin, E. Linn, C. Kügeler, R. Bruchhaus, and R. Waser, "Crossbar Logic Using Bipolar and Complementary Resistive Switches," *Electron Device Letters*; 32: 710–712, 2011.

- [23] R. Rosezin, E. Linn, L. Nielen, C. Kügeler, R. Bruchhaus, and R. Waser, "Integrated Complementary Resistive Switches for Passive High-Density Nanocrossbar Arrays," *Electron Device Letters*; 32: 191–193, 2011.
- [24] D. Lin, R. Hui SY, and L. O. Chua, "Gas discharge lamps are volatile memristors," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, Volume: 61, Issue: 7, 2066-2073, 2014.
- [25] C. P. Uzunoğlu, Y. Babacan, F. Kaçar, and M. Uğur, "Modeling of discharge lamp characteristics by using floating memristor circuit emulator with tunable threshold," *Electric Power Components and Systems*, 48(1-2), 138-147, 2020.
- [26] E. Karakulak, R. Mutlu, and E. Uçar, "Reconstructive sensing circuit for complementary resistive switches-based crossbar memories," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24.3: 1371-1383, 2016.
- [27] E. Karakulak, and R. Mutlu, "The memristive system behavior of a diac," *Journal of Computational Electronics*, 19(3), 1344-1355, 2020.
- [28] F.Z. Wang, N. Helian, S. Wu, M.G. Lim, Y. Guo, and M.A. Parker, "Delayed switching in memristors and memristive systems," *Electron Device Letters*, Vol. 31, pp. 755–757, 2010.
- [29] R. Mutlu, and E. Karakulak, "A methodology for memristance calculation," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22(1), 121-131, 2014.
- [30] Z. Biolek, D. Biolek, and V. Biolkova, "SPICE Model of Memristor with Nonlinear Dopant Drift," *Radioengineering*, 18.2, 210-214, 2009.
- [31] Y. N. Joglekar, and S. J. Wolf, "The elusive memristor: properties of basic electrical circuits." *European Journal of Physics*, 30.4: 661, 2009.
- [32] T. Prodromakis, B. P. Peh, C. Papavassiliou, and C. Toumazou, "A versatile memristor model with nonlinear dopant kinetics," *IEEE transactions on electron devices*, 58.9: 3099-3105, 2011.
- [33] Y. Yang, J. Mathew, D. K. Pradhan, M. Ottavi, and S. Pontarelli, "Complementary resistive switch based stateful logic operations using material implication," *In 2014 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE) IEEE*, pp. 1-4, 2014.
- [34] K. A. Ali, M. Rizk, A. Baghdadi, J. P. Diguët, J. Jomaah, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Memristive computational memory using memristor overwrite logic (MOL)," *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 28(11), 2370-2382, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Duygu Analizi ve Topluluk Öğrenmesi Yaklaşımları ile Kullanıcı Yorumlarının Analizi

 Adham Jolosı Jolosı ZADA ^a,  Ahmet ALBAYRAK ^{b,*}

^a Siber Güvenlik ABD, Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahmetalbayrak@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1102181

ÖZ

Bu çalışmada doğal dil işleme yaklaşımlarından olan duygu analizi teknikleri kullanılarak çevrimiçi alışveriş platformlarında ürün satın almış kullanıcıların yaptıkları yorumlar analiz edilmiştir. Türkiye’de yıllardır çevrimiçi alışveriş platformu olarak bilinen bir platformdan alınan kullanıcı yorumları üzerinde duygu analizi yapılmıştır. İlk olarak belirli bir kategoride 2237 yorum toplanmıştır. Yorumların üzerinde temel doğal dil işleme teknikleri işletilmiş, veriler temizlenmiş ve analiz edilecek hale getirilmiştir. Ardından veri seti üzerinde duygu analizi ile kullanıcıların vermiş oldukları puanlar karşılaştırılmıştır. Kullanıcı yorumları sınıflandırılırken topluluk öğrenme tekniklerinden Random Forest ve AdaBoost yaklaşımları denenmiştir. Çalışma sonucunda kullanıcı yorumlarının verilen puan ile tutarlı olmadığını görülmüştür. Kullanıcıların verdikleri puanlar ile yaptıkları yorumların en uyumlu olduğu dört yıldız verilen kategori olmuştur. Bu nedenle çevrimiçi alışveriş platformlarının kullanıcı yorumlarını toplarken daha nitelikli toplaması ve yorumların geçerlilikleri üzerine sistem geliştirmeleri, makine öğrenmesi ve doğal dil işleme tekniklerini sistemlerine entegre etmeleri gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Duygu Analizi, Topluluk Öğrenmesi, Random Forest Regresyon, AdaBoost Regresyon

Analysis of User Comments with Sentiment Analysis and Ensemble Learning Approaches

ABSTRACT

In this study, the comments made by users who purchased products on online shopping platforms were analyzed by using sentiment analysis techniques, which is one of the natural language processing approaches. Sentiment analysis was conducted on user comments received from a platform known as an online shopping platform in Turkey for years. Initially, 2237 comments were collected in a specific category. Basic natural language processing techniques were operated on the comments, the data was cleaned and made available for analysis. Then, the scores given by the users were compared with the sentiment analysis on the data set. While classifying user comments, Random Forest and AdaBoost approaches from community learning techniques were tried. As a result of the study, it was seen that the user comments were not consistent with the given score. The four-star category was the one with the most consistent ratings and comments made by the users. For this reason, it has been concluded that online shopping platforms should collect user comments in a more qualified way and develop systems on the validity of comments, integrate machine learning and natural language processing techniques into their systems.

Keywords: Sentiment Analysis, Ensemble Learning, Random Forest Regression, AdaBoost Regression

I. GİRİŞ

Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing- NLP), var olan dillerin kurallı yapısının çözümlenerek sayısallaşması veya yeniden üretilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu tekniğin getireceği kolaylıklar arasında yazılı belgelerin otomatik çevrilmesi, soru-cevap şeklinde çalışabilecek makineler, otomatik konuşma, komut anlama, konuşmaların sentezi, konuşma üretme, otomatik metin özetleme, bilgi çıkarma gibi birçok başlıkla özetlenebilmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin yoğun kullanımı, bu başlıklardan üretilen uzman yazılımların gündelik hayatımızın her alanına girmesini sağlamıştır. Örneğin, mobil telefon yazılımları birer imlâ düzeltme aracı barındırmaktadır. Ayrıca sürekli iyileşen çeviri yazılım araçları da örnek verilebilmektedir. Bu araçlar aslında yazılan metni çözümleyerek dil kurallarını denetleyen doğal dil işleme yazılımlarıdır [1, 2].

Duygu analizi, duygusal durumları ve öznel bilgileri sistematik olarak tanımlamak, çıkarmak, ölçmek ve incelemek için kullanılmaktadır. Doğal dil işleme, metin analizi, hesaplamalı dilbilim ve biyometrinin kullanılmasını içermektedir. Duygu analizi, incelemeler ve anket yanıtları, çevrimiçi ve sosyal medya gibi kullanıcı verileri, pazarlamadan müşteri hizmetlerine ve klinik tıba kadar uzanan uygulamalar için sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 4]. Duygu analizindeki temel görev, belirli bir metin kutupluluğunu (belge cümle veya özellik/boyut düzeyinde) bir belgede, bir cümlede veya bir varlık özelliği/boyutunda ifade edilen görüşün olumlu, olumsuz veya tarafsız olup olmadığını sınıflandırmaktır. Bilgisayarlar gibi iki sınıflı (1,0) sınıflandırmanın aksine duygu sınıflandırması (zevk, öfke, iğrenme, üzüntü, korku ve şaşkınlık) gibi duygusal durumlar elde edebilmektedir [5, 6].

Duygu analizinin öncüleri, metindeki kalıpları sayısallaştırmaya yönelik ipuçları sağlayan General Inquirer tarafından sözlü davranışların analizine dayalı olarak psikolojik durumu inceleyen psikolojik araştırmalar yapmıştır. Daha sonra, Volcani ve Fogel'in bir çalışmasında özellikle duyguya bakmış ve farklı duygusal ölçeklere göre metindeki tek tek kelimeleri ve cümleleri belirlemiştir. EffectCheck adı verilen çalışmalarına dayalı güncel bir sistem, her ölçekte duygu düzeyini artırmak veya azaltmak için kullanılabilir eş anlamlı sözcükler sunmaktadır [7, 8]. Sırasıyla ürün incelemelerinin ve film incelemelerinin kutupluluğunu tespit etmek için farklı yöntemler uygulayan Turney ve Pang'in çalışması gibi, olumludan olumsuzla yalnızca kutupsal bir duygu bakış açısı elde etmek oldukça basit olmaktadır. Çoğu istatistiksel sınıflandırma yöntemlerinde, nötr metinlerin ikili sınıflandırıcının sınırına yakın olduğu varsayımı altında nötr sınıf göz ardı edilse de birçok araştırmacı, her polarite probleminde olduğu gibi üç kategorinin tanımlanması gerektiğine inanmaktadır. Nötr bir sınıfla çalışmanın prensipte iki yolu vardır. Algoritma ya önce nötr dili belirleyerek, onu filtreleyerek ve ardından geri kalanını olumlu ve olumsuz duygular açısından değerlendirerek ilerler ya da tek adımda üç yönlü bir sınıflandırma oluşmaktadır [7]. Bu ikinci yaklaşım genellikle tüm kategoriler üzerinde bir olasılık dağılımının tahmin edilmesini içermektedir. Nötr bir sınıfın kullanılıp kullanılmaması ve nasıl kullanılacağı verinin doğasına bağlıdır, eğer veriler açıkça nötr, negatif ve pozitif dil olarak kümelense, nötr dili filtrelemek ve pozitif-negatif duygular arasındaki kutupluluğa odaklanmak mantıklıdır. Buna karşılık, veriler olumlu ve olumsuz etkilere yönelik küçük sapmalarla çoğunlukla nötr ise, bu strateji iki kutup arasında net bir şekilde ayırım yapmayı zorlaştıracaktır [6][9, 10]. Duyarlılığı belirlemek için farklı bir yöntem, genellikle olumsuz, nötr veya olumlu bir duyguya sahip olmakla ilişkilendirilen sözcüklere -10 ile +10 ölçeğinde (en olumsuzdan en olumluya) ilişkili bir sayı verildiği bir ölçeklendirme sisteminin kullanılmasıdır.

Bu, belirli bir terimin çevresine göre duyarlılığını ayarlamayı mümkün kılmaktadır. Yapılandırılmamış bir metin parçası, doğal dil işleme kullanılarak analiz edildiğinde, belirtilen ortamdaki her bir kavrama, duygu sözcüklerinin kavramla ilişkisine ve bununla ilişkili puana dayalı olarak bir puan verilmektedir. Bu, daha karmaşık bir duygu anlayışına doğru harekete izin verir çünkü artık bir kavramın duygu değerini, onu çevreleyen değişikliklere göre ayarlamak mümkün hale gelmektedir. Alternatif olarak, amaç metnin genel kutupluluğu ve gücünden ziyade bir metindeki duyguyu belirlemekse, metinlere olumlu ve olumsuz bir duygu gücü puanı verilebilmektedir [3][11]. Duygu analizine yönelik mevcut yaklaşımlar üç ana kategoride gruplandırılabilir: bilgiye dayalı teknikler, istatistiksel yöntemler ve hibrit

yaklaşımlar. Bilgiye dayalı teknikler metni, mutlu, üzgün, korkmuş ve sıkılmış gibi belirsiz duygu sözcüklerinin varlığına dayalı olarak duygu kategorilerine göre sınıflandırmaktadır [12]. İstatistiksel yöntemlerde, gizli anlamsal analiz, destek vektör makineleri, kelime torbası yaklaşımı (Bag of Words), noktasal karşılıklı bilgi (Semantic Orientation) ve derin öğrenme gibi makine öğrenimi yaklaşımları kullanılmaktadır. Hibrit yaklaşımlar ise, anlambilimi saptamak için ilgili bilgileri açıkça iletmeyen, ancak dolaylı olarak bağlantılı olan kavramların analizi yoluyla hem makine öğreniminden hem de ontolojiler ve anlamsal ağlar gibi bilgi temsilinden öğelerden yararlanmaktadır. Bir duygu analizi sisteminin doğruluğu prensipte, insan yargılarıyla ne kadar iyi uyduğu ile ölçülebilmektedir [13].

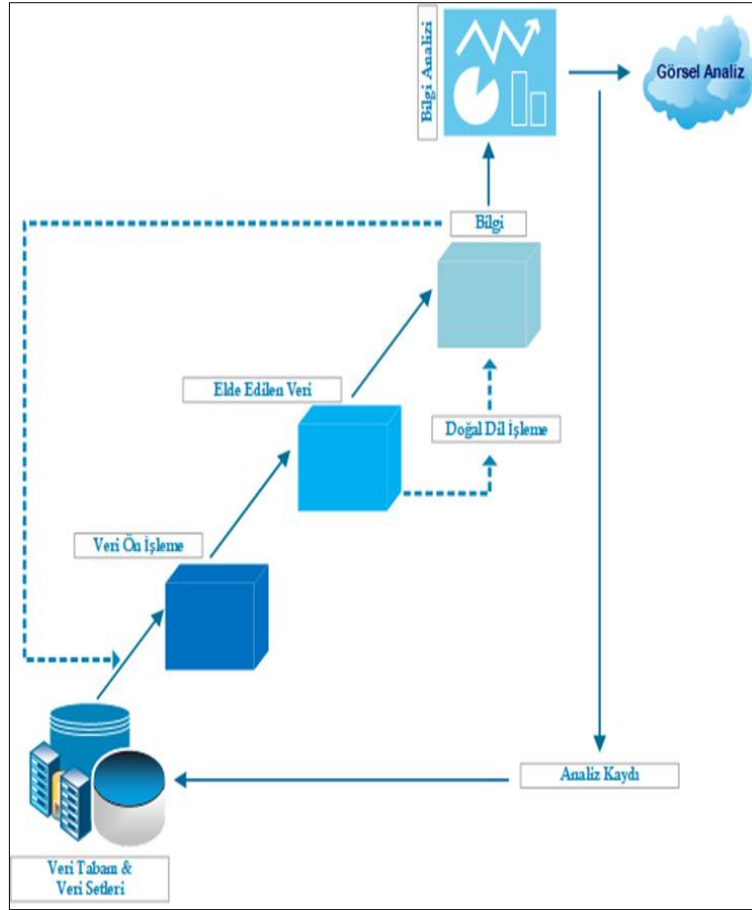
Duygu analizi televizyon kanalları üzerinden satışı yapılan ürünler için gerçekleştirilen reklamların analiz edilmesinde kullanılmıştır. Reklamların müşteri üzerindeki etkisini anlayabilmek ve gelecek ile ilgili yorum yapabilmek için reklamlar ile ilişkili sosyal medya üzerinden toplanan veriler analiz edilmiştir. Twitter kullanıcılarının (Haziran- Kasım 2017) televizyon yayınları hakkındaki duygu ve düşünceleri pozitif, negatif veya nötr olma durumu incelenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre televizyon kanallarındaki programların izleyici görüşlerine göre değiştiği gözlemlenmiştir [12]. Bu çalışmanın amacı özellikle salgın döneminde kullanımı artan e-ticaret platformlarında satılan ürünlere yapılan yorumların ve verilen puanların ne kadar tutarlı olduğunu araştırmaktır. Bu çalışma materyal ve metot, deneysel çalışma ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

II. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada doğal dil işleme teknikleri kullanılarak duygu analizi yapılmış ve kullanıcı yorumları analiz edilmiştir. Geliştirilen sistemin blok şeması Şekil 1’de verilmektedir. Şekil 1’de de verildiği gibi ilk olarak ülkemizde önemli bir e-ticaret platformundan kullanıcı yorumları alınmıştır. Yorumlar el ile toplanmış ve toplam 2237 yorum kaydedilmiştir. Toplanan yorumlar ham veri formatındadır yani yapılandırılmamış veri yapısındadır. Yapılandırılmamış veri seti ön işleme adımı ile anlam ifade etmeyen, duygu analizi için kullanılmayan ifadeler çıkarılmıştır. Her yoruma benzersiz bir nitelik alanı eklenmiştir. id, ürün bilgisi, yorum içeriği ve kullanıcının verdiği puan şeklindeki değişkenlerden/sütunlardan oluşacak şekilde csv uzantılı dosyaya kaydedilmiştir. Bu aşamada veri seti yapılandırılmış veri formuna dönüşmüştür.

Veri temizleme adımında istenmeyen kelime ve karakterlerin ayrıştırılması amacıyla yapılmıştır. Veri temizleme işlemi yapılmaması durumunda gürültülü ve tutarsız veriler ile çalışmak doğru bir sonuca ulaşılmasını engellemektedir. Bu adımda noktalama işaretleri, özel karakterler, sayılar ve istenilen metin dışındaki kelimeler temizlenerek gürültüsüz veri seti elde edilmiştir. Geliştirilen uygulama Jupyter ortamında kodlanmıştır. Jupyter Notebook, çeşitli programlama dilleri için etkileşimli bir ortam sağlayan açık kaynak kodlu bir programdır. Bu çalışmada duygu analizi için Python NLTK paketi kullanılmıştır.

NLTK, makine öğrenimi yeteneklerine başvurmadan önce metni anlamlı bir şekilde analiz etmeye yardımcı olacak çok az argümanla veya hiç argüman kullanmadan arayabilecek bir dizi fonksiyon sağlamaktadır. Veri temizleme işleminden sonra veri seti üzerinde sözcüklerin sıklık analizi yapılmıştır. Bu işlemler VADER (Valence Aware Dictionary ve Entiment Reasoner) aracılığıyla yapılmıştır [14]. VADER özellikle sosyal medyada ifade edilen duygulara uyum sağlayan, sözlük ve kural tabanlı bir duygu analizi aracıdır. Olumlu/olumsuz her iki kutbu da olan metnin duygu analizi için kullanılır. Verileri görselleştirerek tipografik kelime bulutu için ise WordCloud kütüphanesi kullanılmıştır. Pyplot kütüphanesi ve uzantıları sayesinde veriler görselleştirilmiştir. Şekil 2’de örnek bir kelime bulutu paylaşılmaktadır.



Şekil 1. Çalışmanın blok şeması.

VADER'ı kullanmak için önce bir nltk.sentiment.SentimentIntensityAnalyzer örneği oluşturulmuştur. Ardından dizide .polarity_scores() fonksiyonu kullanılmıştır. Bu işlem sonucunda farklı puanlardan oluşan bir sonuç elde edilmektedir. Negatif, nötr ve pozitif puanlar birbiriyle ilişkilidir, hepsinin toplamı 1 olmakta ve negatif değer almamaktadır [15].



Şekil 2. Yorumlar için kelime bulutu.

NLTK, duygu analizi de dâhil olmak üzere çeşitli analiz türleri için uygun olan birkaç yerleşik sınıflandırıcı barındırmaktadır. Önemli olan veri kümesine uygun sınıflandırıcıyı bulmaktır. Makine öğrenimi dünyasında bu özellikler, verilerle çalışırken ortaya çıkarılması ve seçilmesi gereken özellikler olarak bilinmektedir. NLTK'nin tüm kelimeleri daha doğru şekilde etiketleyebilmesi için kelime listeleri filtrelemeden önce `pos_tag()` ögesini çağırılmıştır. Bu özellikler listesindeki her ögenin, ilk ögesi `extract_features` tarafından döndürülen sözlük olan ve ikinci ögesi metin için önceden tanımlanmış kategori olan bir satırdır. Sınıflandırıcıyı önceden kategorize edilmiş bazı verilerle eğittikten sonra yeni veriler sınıflandırılabilir. Özellik listesi karıştırıldığı için her çalıştırmada farklı sonuçlar vermektedir. NLTK, popüler makine öğrenimi çerçevesi scikit-learn sınıflandırıcıdan çoğu sınıflandırıcıyı kullanabilmektedir [16].

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

NLTK, scikit-learn sınıflandırıcılarını doğrudan kendi sınıflandırıcı sınıfına entegre etmeye izin verdiği için, eğitim ve sınıflandırma süreçleri için `train()` ve `classify()` yöntemleri kullanılabilir. Özellikler listesi, ilk ögesi `extract_features()` tarafından verilen bir dizi özellik ve ikinci ögesi `user_reviews` veri setindeki önceden sınıflandırılmış (kullanıcı puanları) verilerden sınıflandırma etiketi olan kayıtları içermektedir. Her bir scikit-learn sınıflandırıcı için, NLTK sınıflandırıcısı oluşturmak amacıyla `nlk.classify.SklearnClassifier` eklenir.

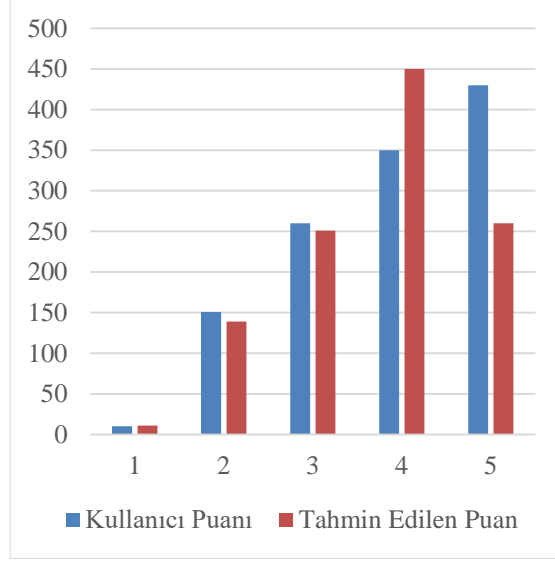
`.train()` ve `.accuracy()` yöntemleri, aynı özellik listesinin farklı bölümlerini almaktadır. Burada Random forest ve AdaBoost teknikleri sınıflayıcı olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda karşılaştırılmıştır. İstatistik ve makine öğreniminde topluluk yöntemleri, tek başına herhangi bir kurucu öğrenme algoritmasından elde edilebilecek olandan daha iyi tahmine dayalı performans elde etmek için çoklu öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır.

İstatistiksel mekanizmada genellikle sonsuz olan istatistiksel bir topluluğun aksine, bir makine öğrenimi topluluğu yalnızca somut bir sonlu alternatif model kümesinden oluşur, ancak tipik olarak bu alternatifler arasında çok daha esnek bir yapının var olmasına izin vermektedir [17- 19]. Random forest eğitim zamanında çok sayıda karar ağacı oluşturarak çalışan sınıflandırma, regresyon ve diğer görevler için bir topluluk öğrenme yöntemidir. Sınıflandırma görevleri için Random forest çıktısı, çoğu ağaç tarafından seçilen sınıftır. Regresyon görevleri için tek tek ağaçların ortalama tahmini döndürülmektedir [20].

Adaptive Boosting'in kısaltması olan AdaBoost, bir istatistiksel sınıflandırma meta-algoritmasıdır. Performansı artırmak için diğer birçok öğrenme algoritması türüyle birlikte kullanılabilir. Diğer öğrenme algoritmalarının ('zayıf öğrenenler') çıktısı, güçlendirilmiş sınıflandırıcının nihai çıktısını temsil eden ağırlıklı bir toplamda birleştirilmektedir.

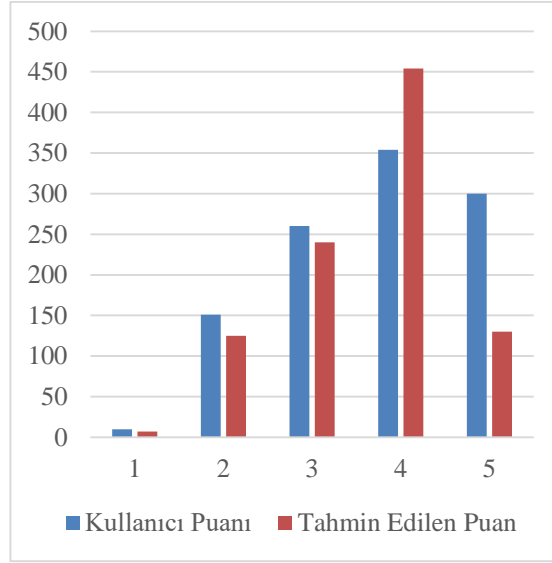
AdaBoost, sonraki zayıf öğrenicilerin önceki sınıflandırıcılar tarafından yanlış sınıflandırılan örnekler lehine ayarlanması anlamında uyarlanabilmektedir. Bazı problemlerde, diğer öğrenme algoritmalarına göre fazla uydurma problemine daha az duyarlı olabilmektedir. Bireysel öğrenenler zayıf olabilir, ancak her birinin performansı rastgele tahminden biraz daha iyi olduğu sürece, nihai modelin güçlü bir öğreniciye yakınsadığı söylenebilir [21].

Bu çalışmada kullanıcı yorumlarının duygu analizi ile puanlanması sonucu elde edilen puanlar için Random forest ve AdaBoost teknikleri sınıflama amacıyla kullanılmıştır. Şekil 3'te Random forest ile yapılan tahmin sonuçları verilmektedir. Her bir puan kategorisi için algoritmalar tekrar tekrar çalıştırılmıştır.



Şekil 3. *Random forest tahmin sonuçları.*

Şekil 3'te de verildiği gibi Random forest algoritması ile yapılan tahminlerde en yüksek başarıyı 4. Kategoride elde edilmiştir (%87,9). Şekil 4'te ise AdaBoost algoritması sonuçları verilmektedir.



Şekil 4. *AdaBoost tahmin sonuçları.*

Şekil 4'te verilen AdaBoost algoritması sonuçlarında en iyi tahmin Random forest algoritmasında olduğu gibi 4. kategoride gerçekleşmiştir (%79,6). Şekil 3 ve Şekil 4'te de verildiği gibi kullanıcı puanlarının yoğun biçimde 5. kategoride yer almasına karşın her iki algoritmanın sonuçlarına bakıldığında 4. kategoriye daha fazla puan verildiği görülmektedir. Bu kullanıcı yorumları ile verilen puanların uyumlu olmadığını ifade etmektedir.

IV. SONUÇ

Alışveriş platformları alışveriş yapan kullanıcıların ürünlerini teslim almalarını takiben, sipariş süreci ile ilgili hem yorum hem de 1-5 arası yıldız ile puan vermesini istemektedir. Kullanıcıların yaptıkları yorumların verdikleri puan ile uyumlu olması halinde yorumların geçerliliği anlamında önemlidir. Kullanıcılar ürün satın alırken ürünün özelliklerini inceledikten sonra hem ürün hem de sipariş süreci

ile ilgili yorum yapan kullanıcı yorumlarını okumaktadır. Şekil 3 ve 4 incelendiğinde kullanıcı puanı ile tahmin edilen puanların birbirlerine en yakın olduğu kategoriler ve en gerçekçi yorumları içermektedir. Şekil 3 ve 4'te dördüncü kategori haricinde diğer tüm kategorilerde ve denenen iki teknikte de kullanıcı puanları tahmin puanından yüksek olarak tespit edilmiştir. İki tekniğin de kategoriler bazında benzer sonuçlar vermesi, iki tekniğinde bu sorun alanında kullanılabilceğini göstermektedir. Buna ek olarak iki teknikte dördüncü kategoride kullanıcıların verdikleri puanlar ile yaptıkları yorumların geçerliliğinin daha doğru olduğu sonucunu vermektedir. Diğer tüm kategorilerde ise yorumlar ve puanlar arasında büyük tutarsızlık olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada son yıllarda tüm dünyada yaşanan Covid-19 salgını sürecinde ülkemizde de artan hacmi ile e-ticaret platformlarında kullanıcı yorumları analiz edilmiştir. Kullanıcı yorumları duygu analizi teknikleri ile analiz edilmiştir. Ardından kullanıcıların yaptıkları yorumlar ile verdikleri puanların karşılaştırılması için Random forest ve AdaBoost topluluk öğrenme teknikleri kullanılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'te verildiği gibi kullanıcı yorumları ile verilen puanların uyumlu olmadığı görülmüştür. Bu nedenle e-ticaret platformlarının kullanıcı yorumlarını toplarken makine öğrenmesi ve doğal dil işleme tekniklerini sistemlerine entegre etmeleri gerektiği sonucuna varılmıştır.

E-ticaret platformları özellikle Covid-19 salgını sürecinde satış hacimlerini olağanüstü oranda artırmıştır. 2019 yılına göre (136 milyar TL) 2020 yılında e-ticaret platformlarında yurt içinde %66'lık artış (226,2 milyar TL) olmuştur. Böylesi bir artış ve ticaret hacminin olduğu e-ticaret platformlarının elde ettikleri bu potansiyeli devam ettirebilmeleri için kullanıcılardan aldıkları geri bildirimleri iyi analiz etmeleri ve değerlendirmeleri gerekmektedir.

Bu çalışmada da görüldüğü gibi kullanıcı yorumları ve verilen puanlar diğer kullanıcılar için yanıltıcı olabilmektedir. Bu çalışmanın devamında e-ticaret platformları için kullanıcı verilerinin toplanması için prototip bir sistem tasarımı yapılacaktır. Çalışmada doğal dil işleme teknikleri, duygu analizi ve makine öğrenmesi yaklaşımları kullanılacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] Albayrak A., "Preparing Interdisciplinary Graduate Course Contents Using Natural Language Processing Techniques," *Gazi Bilişim Teknolojileri Dergisi*, pp. 373–383, doi: 10.17671/gazibtd.714447, 2020
- [2] M. Giménez, J. Palanca, and V. Botti, "Semantic-based padding in convolutional neural networks for improving the performance in natural language processing. A case of study in sentiment analysis," *Neurocomputing*, vol. 378, pp. 315–323, doi: 10.1016/j.neucom.2019.08.096 , 2020
- [3] Bostancı B., and Albayrak A., "Duygu Analizi İle Kişiyeye Özel İçerik Önermek", *Veri Bilimi Dergisi*, vol. 4, no. 1, pp. 53–60, 2021.
- [4] Akın B., and Şimşek Umman T., "Social Media Analytics: Value Creation With Sentiment Analysis Analysis", *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, pp. 1–14, 2017.
- [5] P. Sasikala and L. M. I. Sheela, "Sentiment analysis of online product reviews using DLMNN and future prediction of online product using IANFIS," *J. Big Data*, doi: 10.1186/s40537-020-00308-7 , 2020
- [6] I. Chaturvedi, E. Cambria, R. E. Welsch, and F. Herrera, "Distinguishing between facts and opinions for sentiment analysis : Survey and challenges," *Inf. Fusion*, vol. 44, no. June 2017, pp. 65–77, 2018, doi: 10.1016/j.inffus.2017
- [7] Y. Mehmood and V. Balakrishnan, "An enhanced lexicon-based approach for sentiment

analysis: a case study on illegal immigration,” *Online Information Review* vol. 44, no. 5, pp. 1097–1117, doi: 10.1108/OIR-10-2018-0295, 2020

[8] C. Troussas, M. Virvou, K. J. Espinosa, K. Llaguno, and J. Caro, “Sentiment analysis of Facebook statuses using Naive Bayes Classifier for language learning,” *IISA 2013 - 4th Int. Conf. Information, Intell. Syst. Appl.*, pp. 198–205, doi: 10.1109/IISA.2013.6623713, 2013

[9] I. Yahav, O. Shehory, and D. Schwartz, “Comments Mining With TF-IDF: The Inherent Bias and Its Removal,” *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 31, no. 3, pp. 437–450, doi: 10.1109/TKDE.2018.2840127, 2019.

[10] B. Ayan, B. Kuyumcu, and B. Cıylan, “Detection of Islamophobic Tweets on Twitter Using Sentiment Analysis,” *Gazi Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 495–502, doi: 2019.

[11] E. S. Akgül, C. Ertano, and B. Diri, “Sentiment analysis with Twitter,” *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 22, no. 2, pp. 106–110, doi: 10.5505/pajes.2015.37268, 2016

[12] B. Akın and U. T. GÜR SOY ŞİMŞEK, “Sosyal Medyanın Değer Yaratma: Duygusal Analizi ile Geleceğe Yönelim,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, pp. 797–811, doi: 10.30798/makuiibf.435804, 2018

[13] C. Aydın, “Classification of fire station requirement using machine learning algorithms,” *European Journal of Science and Technology*, no. 14, pp. 169–175, doi: 10.31590/ejosat.458613, 2018.

[14] H. Tang, S. Tan, and X. Cheng, “Expert Systems with Applications A survey on sentiment detection of reviews,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 7, pp. 10760–10773, doi: 10.1016/j.eswa.2009.02.063, 2009.

[15] G. G. Sundarkumar and V. Ravi, “Engineering Applications of Artificial Intelligence Brief paper A novel hybrid undersampling method for mining unbalanced datasets in banking and insurance,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 37, pp. 368–377, doi: 10.1016/j.engappai.2014.09.019, 2015.

[16] J. Villanu and A. Lo, “Neurocognitive disorder detection based on feature vectors extracted from VBM analysis of structural MRI,” *Comput Biol Med* vol. 41, pp. 600–610, doi: 10.1016/j.combiomed.2011.05.010, 2011.

[17] T. Vidal and M. Schiffer, “Born-Again Tree Ensembles,” *37th International Conference on Machine Learning (ICML)*. Vol. 119, pp. 9743–9753, 2020.

[18] H. Liu and L. Zhang, “Advancing Ensemble Learning Performance through data transformation and classifiers fusion in granular computing context,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 131, pp. 20–29, doi: 10.1016/j.eswa.2019.04.051, 2019

[19] M. Saarela and S. Jauhiainen, “Comparison of feature importance measures as explanations for classification models,” *SN Appl. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–12, doi: 10.1007/s42452-021-04148-9, 2021.

[20] S. Kar et al., “An ensemble machine learning approach for determination of the optimum sampling time for evapotranspiration assessment from high-throughput phenotyping data,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 182, no. doi: 10.1016/j.compag.2021.105992, June 2020, 2021

[21] S. Lahmiri, S. Bekiros, A. Giakoumelou, and F. Bezzina, “Performance assessment of ensemble learning systems in financial data classification,” *Intell. Syst. Accounting, Financ. Manag.*, vol. 27, no. 1, pp. 3–9, doi: 10.1002/isaf.1460, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Doğu Pontid Volkanik Kuşağında Yer Alan Tersiyer (Eosen) Yaşlı Volkaniklerin Petrolojik Özellikleri: Yusufeli (Artvin) Civarında Yüzeylenen Volkanik Kayaçlar

 Aslıhan YILMAZ ^{a,*},  Necla KÖPRÜBAŞI ^b

^a Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: aslihanymaz@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1120070

Öz

Bu çalışma Yusufeli (Artvin) civarında yüzeylenen Eosen yaşlı volkanik kayaçların mineralojik, petrografik ve petrolojik özelliklerinin incelenmesi için yapılmıştır. İnceleme alanında yüzeyleme veren Eosen yaşlı volkanik kayaçlar genellikle siyahımsı gri, yeşilimsi gri renklerde olup ileri derecede altere olmuşlardır. Bu kayaçların yüzeylendiği değişik yörelerden alınan kayaç örnekleri üzerindeki ince kesit çalışmaları sonucunda plajiyoklaz – piroksen – amfibol – kalsit – klorit – opak minerallerden oluşan bir mineralojik bileşime, porfirik ve intersertal dokuya sahip oldukları saptanmıştır. Bölgedeki volkanik kayaçların andezit, bazalt, bazaltik andezit bileşiminde oldukları görülmüştür. Seçilen kayaç örneklerinin analizlerinden elde edilen veriler ile oluşturulan diyagramlar Eosen yaşlı volkanik kayaçların kalkalkali özellikte olduğunu göstermiştir. Kondrite normalize edilmiş nadir toprak element dağılımları konkav şekilli olup, genellikle birbirine paralel dağılım göstermeleri volkanik kayaçların aynı veya benzer kaynaktan itibaren oluştuğunu düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yusufeli (Artvin), Eosen, Volkanik Kayaçlar

Petrological Characteristics of Tertiary (Eocene) Volcanics Located in the Eastern Pontid Volcanics Belt: Volcanic Rocks Outcropping Around Yusufeli (Artvin)

ABSTRACT

This study was carried out to examine the mineralogical, petrographic and petrological properties of Eocene volcanic rocks outcropping around Yusufeli. The Eocene volcanic rocks cropping out in the study area are generally blackish gray, greenish gray and are highly altered. As a result of thin section studies on rock samples taken from different locations where these rocks are exposed, it has been determined that they have a mineralogical compositions consisting of plagioclase – pyroxene – amphibole – calcite – chlorite – opaque minerals with porphyritic and intersertal texture. It has been observed that the volcanic rocks in the study area are in the composition of andesite, basalt and basaltic andesite. Diagrams created with the data obtained from the analyzes of the selected rock samples showed that the Eocene volcanic rocks are calc-alkaline type rocks. The rare element distributions normalized to condrite are concave in shape, and the fact that they are generally distributed parallel to each other suggests that the volcanic rocks were originated from the same or similar source.

Keywords: Yusufeli (Artvin), Eocene, Volcanic Rocks

I. GİRİŞ

Bu çalışmada Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Kuzey Zonu'nda yer alan Yusufeli (Artvin) civarında yüzeylenen Tersiyer yaşlı volkanik kayaların petrolojik özellikleri ele alınmış ve incelenmiştir. Elde edilen veriler dikkate alınarak volkanizmanın kökeni ve geçirdiği magmatik süreçlerin açıklığa kavuşturulması amaçlanmıştır.

Arslan [1], Doğu Pontid Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası ve Petrojenezi adlı çalışmada, Eosen volkanizmasının yitim süreci sonunda alt kabuk ve/veya üst mantodan kısmi ergime sonucu oluştuklarını belirtmiştir.

Kaygusuz [2], "Doğu Pontidlerde (KD Türkiye) Çarpışma Sonrası Kalk-Alkalin Volkanizmanın Jeokimyası ve Sr-Nd İzotopik Karakterleri" isimli çalışmalarında Doğu Pontidlerde Eosen yaşlı Torul volkanitlerinin ana, iz element, K/Ar yaş ve Sr-Nd izotop verileri incelenmiştir. Buldukları veriler ışığında, volkanitlerin köken magmalarının muhtemelen daha önceki yitim akışkanları tarafından metasomatizmaya uğratılmış zenginleşmiş bir üst manto kaynağından, çarpışma sonrası jeodinamik bir ortamda türeyebileceklerini ifade etmiştir.

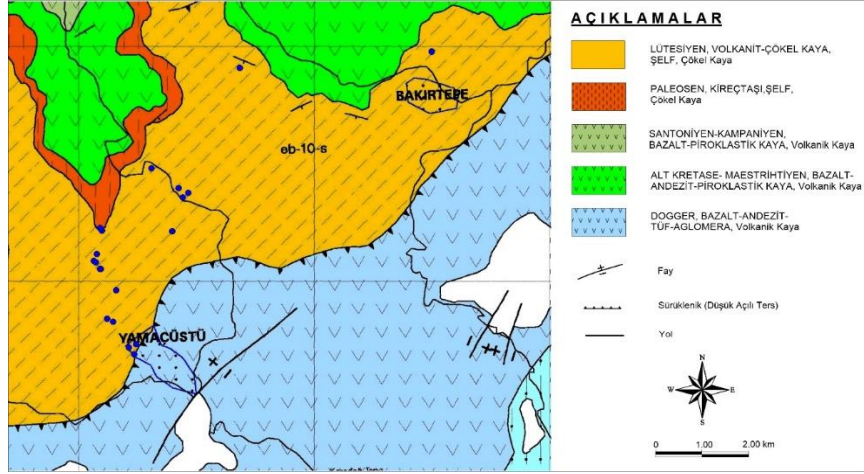
Aslan [3] çalışmasında Doğu Pontidlerde yayılım gösteren Eosen birimleri, Üst Kretase volkanoklastik ve sedimanter kayaçlarını uyumsuz olarak üzerlediğini belirtmiştir. Çalışılan Eosen biriminin başlıca lav ve daha az oranda tüf ve sedimanlardan oluştuğunu ve kalk-alkalin volkanik yay karakterini yansıttıklarını ve iz element değişimleri sonucunda da bu volkanitlerin ana magmasının zenginleşmiş üst manto kaynağından türediğini belirtmiştir.

Şen vd. [4] Doğu Pontid Alkalin Provansinin, Senozoyik dönemde gelişen volkanik faaliyetler sonucunda oluştuğunu ve alkalin kayaçların iki farklı gruptan (Tonya grubu ve Trabzon grubu) oluştuğunu belirtmişlerdir. Petrografik olarak her iki grubun alkali bazalt, tefrit, fonolitik tefrit, bazanit, nefelinit, nefelinlatit ve bunların piroklastik kayaçlarını içerdiğini söylemişlerdir. Jeokimyasal veriler, Tonya grubu örneklerinin Trabzon grubu örneklerine göre daha yüksek MgO ve Ni, daha düşük hafif toprak element (HNTE) içerikleri ve büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİLE) / aşırı duraylı element (ADE) oranlarına sahip olduklarını belirtmişlerdir. İlk bulgular, bu iki grup kayacın, metasomatizmaya uğramış bir manto kaynağından türeyen sığ derinliklerde farklılaşmaya uğrayan birincil bir magma ile ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Arslan ve Aslan [5] çalışmalarında, petrografik olarak Kuzey Zon kayaçlarının monzonit, kuvars monzonit, monzodiyorit ve kuvars monzodiyorit, Güney Zon kayaçlarının ise monzogranit ve granodiyoritten ibaret olduklarını belirtmişlerdir. Kuzey Zon intrüzyonları çarpışma sonrası, A-tipi, alkalin monzonitik birlikteliğinden, Güney Zon intrüzyonları çarpışma sonrası, I-tipi, granodiyoritik kalkalkali-alkali geçiş birlikteliğinden oluştuğunu, jeokimyasal verilerin, farklılaşmanın ayrımlaşma ve/veya magma karışımı ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir.

II. JEOLojİ

Çalışma alanı ilk kez Ketin [6] tarafından sınırlandırılan, coğrafik olarak Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'ne karşılık gelen Pontid Tektonik Birliği'nin doğu kesimini oluşturan "Doğu Pontid Orojenik Kuşağı" olarak adlandırılan birliğin içinde yer alır.



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası.

Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda yer alan çalışma sahasındaki birimler litostratigrafi esaslarına göre yaşlıdan gence doğru şu birimler ayırtlanmıştır; Paleozoyik yaşlı granitler (adlanmamış), Liyas-Dogger yaşlı Hamurkesen Formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu, Üst Kretase yaşlı Çatak, Kızılkaya ve Çağlayan Formasyonu, Paleosen yaşlı Ahlatlı Formasyonu, Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu [7]. Liyas'tan başlayan ve Eosen sonlarına kadar gelişimini sürdüren aktif bir magmatizmanın etkisinde olan inceleme alanında bu magmatizmanın ürünü olan volkanik, volkano-tortul ve intrüzif kayaçlar yaygındır. Volkanizmanın durakladığı dönemlerde ise tortul istifler çökelmiştir (Şekil 1). İnceleme alanında belirlenen ve İspirden batıya doğru Çoruh vadisinin kuzeyinde geniş yayımlı olan volkano-tortul kayalar Güven [7] tarafından Kabaköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İspir dolayında İspir Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenen Kabaköy Formasyonu doğuda bir bindirme ile sınırlanır ve Oltuçayı volkanitleri ile Kabaköy Formasyonu üzerine itilmiştir. Kabaköy formasyonu içerisinde gözlenen Eosen yaşlı volkanitlerin petrolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, alınan örnekler üzerinde çeşitli laboratuvar yöntemleri uygulanmıştır. İnceleme alanındaki volkanitler bazalt ve andezit, bazaltik andezit olarak gruplandırılmıştır. Kabaköy formasyonunu oluşturan volkanik birimlerden alınan kayaç örnekleri üzerinde yapılan mikroskopik çalışmalar sonucunda bazaltların dokusal olarak kendi aralarında farklılıklar görülmüştür. Buna göre bazaltların porfirik doku (hipokristalin porfirik doku) ve intersertal doku (holokristalin porfirik doku) özelliklerine sahip oldukları saptanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda bu bölgedeki bazaltlarda;

- Plajiyoklaz ± Piroksen (klinopiroksen) + Amfibol ± Apatit ± Opak mineral
- Plajiyoklaz ± Piroksen + Amfibol ± Biotit ± Opak Mineral ± Volkanik cam
- Plajiyoklaz ± Piroksen ± Olivin ± Opak mineral ± Volkanik cam

mineral bileşimleri saptanmıştır.

Yine aynı formasyonu oluşturan volkanik birimlerden alınan kayaç örnekleri üzerinde yapılan mikroskopik çalışmalar sonucunda bu bölgedeki andezitlerde;

- Plajiyoklaz ± Amfibol ± Biotit ± Opak mineral ± Volkanik cam
- Plajiyoklaz ± Amfibol ± Piroksen ± Apatit ± Opak Mineral ± Volkanik cam
- Plajiyoklaz ± Amfibol ± Opak mineral ± Volkanik cam

mineral bileşimleri saptanmıştır.

III. JEOKİMYA

Çalışmalar sırasında alınan kayaç örneklerinden 24 adet örnek üzerinde yapılan majör element, iz (Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Co, Cs, Ga, Sn, V, Y, Hf, Ta, Pb, Th, U) ve nadir toprak element (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) analizleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri Dairesi Başkanlığı Jeokimya laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.1. Ana Oksit Jeokimyası

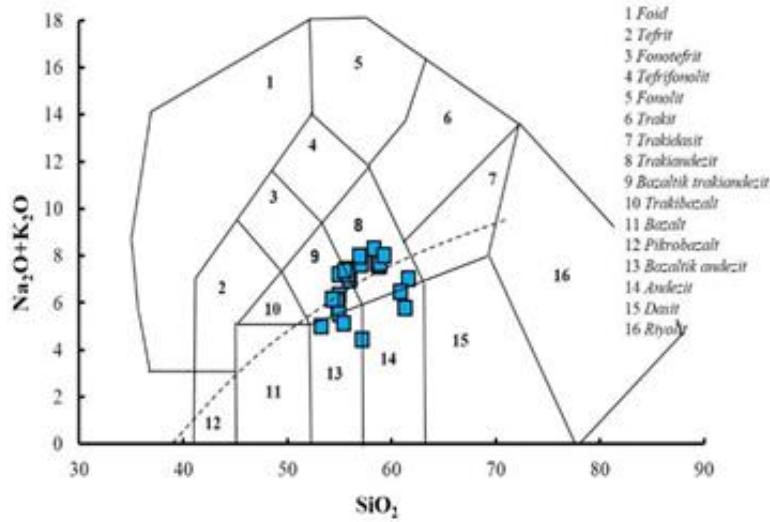
24 örnek üzerinde gerçekleştirilen major-oksit, iz ve nadir toprak element çözümleme sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Çalışılan kayaçları adlandırmak için ana-oksit çözümleme sonuçları susuz baza göre tekrar hesaplanarak, toplam alkali (% Na₂O+K₂O)-% SiO₂ diyagramı çizilmiştir [8] (Şekil 2). Diyagrama göre, kayaçlar genel olarak alkali-subalkali çizgisi üzerinde yer almakta ve bazaltik trakiandezit, bazaltik andezit, andezit ve trakiandezit bileşimi sergilemektedir. Ancak, çalışılan örneklerin ateşte kayıp değerlerinin yüksek olması kayaçların alterasyondan etkilendiğine işaret etmektedir. Alterasyon koşullarında Na ve K gibi elementlerin mobilitesi arttığından, kayaçların adlandırılmasında daha az mobil veya immobil elementlerin kullanılması tercih edilmiştir. Bu nedenle, kayaçların adlandırılmasında [9] Zr/Ti'a karşı Nb/Y diyagramı kullanılmıştır (Şekil 3). Çünkü Ti, Zr, Y ve Nb elementleri alterasyon sırasında immobil davranış gösterirler [10]. Şekil 2'ye göre Eosen volkanitlerini oluşturan kayaçlar bazalt, andezit ve bazaltik andezit alanına düşmektedir. Zr/Ti-Nb/Y diyagramı ile elde edilen jeokimyasal adlandırmalar, petrografik değerlendirmeler ile de uyumludur. Örnekler genel olarak subalkali karakter göstermekte olup, toplam alkali-Fe₂O₃-MgO (AFM) kalkalkali-toleyitik ayırım diyagramında [11] çoğunlukla kalk-alkali bölgesinde yer aldığı gözlenmektedir (Şekil 3).

Örnek No	12AY-01	12AY-02	12AY-03	12AY-05	12AY-07	12AY-08	12AY-10	12AY-12	12AY-14	12AY-16	12AY-18	12AY-19
Na ₂ O (%)	3,3	3,6	4,4	3,5	3,2	3,2	4,2	3,2	2,9	3,0	3,7	3,6
MgO	1,5	2,2	2,9	1,2	5,3	4,2	2,0	4,8	2,9	2,5	0,8	1,5
Al ₂ O ₃	19,3	19,5	17,9	19,5	18,4	18,0	17,9	18,1	18,8	17,3	19,3	18,6
SiO ₂	57,6	55,5	53,3	53,9	52,9	53,0	60,4	52,8	55,3	51,7	56,2	54,2
P ₂ O ₅	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,3	0,4	0,7	0,7
K ₂ O	4,1	3,8	2,6	3,2	2,9	2,4	2,7	2,7	1,4	2,2	4,3	4,0
CaO	4,8	5,8	7,4	7,7	5,1	6,5	4,8	5,8	7,7	8,0	5,3	6,0
TiO ₂	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,5	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8
MnO	<0,1	<0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Fe ₂ O ₃	5,8	5,3	7,3	5,8	7,3	8,0	5,2	7,8	6,8	8,2	5,3	5,8
Ateşte Kayıp	2,05	2,45	2,60	3,30	3,45	3,15	1,45	3,25	2,95	5,60	3,20	4,55
La (ppm)	48	55,9	33,7	56,9	28	28,9	15,4	31,8	16,5	24,5	57,2	61,4
Ce	98,8	99,1	66,4	114,2	63,8	63,6	39,1	68	34,8	55,3	105,1	110
Pr	11,6	14,3	7,8	13,7	8,4	7,8	5,4	8,9	4,2	7,1	13,5	14,4
Nd	46,7	54,7	30	51,2	35	30,9	23,4	35,4	16,6	29,8	53,2	57,2
Sm	8,7	11,1	6,2	10,4	7,6	7	4,6	7,9	3,6	6,8	9,9	10,7
Eu	1,1	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	0,8	1,4	0,5	1	0,7	0,8
Gd	8,7	11	6,2	10,1	7,4	6,9	4,2	7,7	3,5	6,3	10	10,9
Tb	1,2	1,5	0,9	1,4	1,1	1,1	0,6	1,2	0,6	1	1,4	1,5
Dy	4,8	5,7	4,1	5,6	5,2	4,8	2,4	5,3	2,6	4,4	5,9	6,2
Ho	0,9	1,1	0,8	1	1	0,9	0,4	1	0,5	0,9	1,1	1,2
Er	3	3,3	2,5	3,3	3	2,7	1,4	3	1,7	2,6	3,4	3,6
Tm	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4
Yb	2,3	2,2	2	2,6	2,1	2,1	0,9	2,2	1,5	2	2,6	2,7
Lu	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4
Ni	6	5	10	8	8	8	8	9	16	19	5	7
Sc	5,4	14,5	6,9	13,5	20,8	17,8	8,4	19,2	15,4	18,9	13,8	13,6
Ba	1068	1012	882	964	1504	1052	1282	1356	710	940	1086	1014
Co	19	21	27	21	23	29	17	28	30	31	17	22
Cs	1	<0,5	16	<0,5	2	2	4	4	<0,5	1	<0,5	<0,5
Ga	11	11	18	11	14	17	10	24	11	10	5	6
Hf	4	4	3	2	5	7	3	4	3	5	3	3
Nb	10	9	10	9	7	9	6	8	7	10	8	10
Rb	57	69	45	39	34	28	53	37	<20	<20	75	54
Sr	909	983	1058	1138	919	856	910	885	760	899	1061	1060
Ta	1	1	1	1	<0,5	1	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	1
Th	14	10	6	19	4	5	5	6	1	4	21	16
U	2,5	<2	<2	3,4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,3	4,8
V	122	129	186	129	169	202	120	187	187	228	119	128
Zr	77	97	70	50	84	78	73	82	45	66	81	83
Y	20,9	24,1	18,9	23,4	22,7	21	10,2	23,3	12,5	19,2	24,8	26,6
Pb	36	40	45	18	27	22	31	27	26	31	47	39
Ge	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	<0,5	<0,5
Mo	2	6	3	4	6	5	1	7	6	6	3	1
Be	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2
As	5	4	9	4	4	14	8	14	10	9	17	12
Ce	76	81	45	71	64	62	57	64	43	64	76	74
Zn	75	83	80	76	90	103	79	97	86	96	76	81
Cu	112	152	38	134	56	55	29	56	127	86	136	145
Cr	20	<20	24	24	30	22	22	30	59	45	23	<20
Mn	647	758	1181	728	983	1056	870	1014	760	1115	731	836

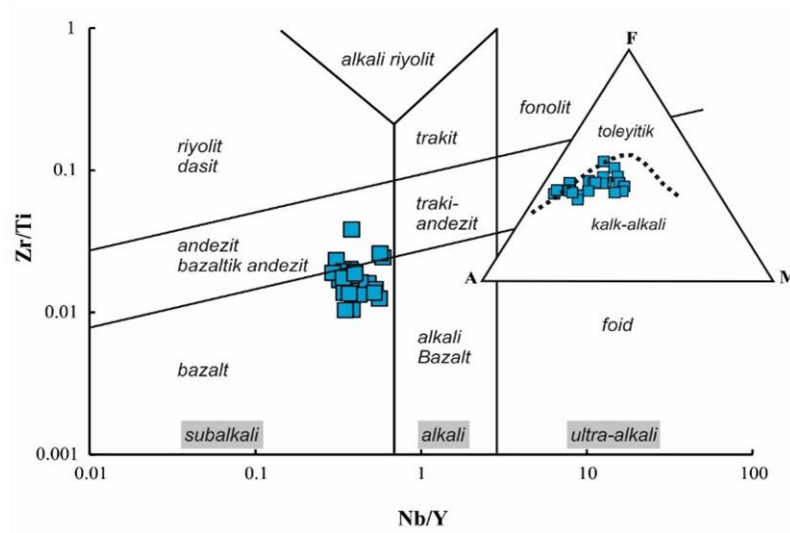
Tablo 1 (devam ediyor). Yusufeli (Artvin) civarındaki volkanik kayaçlarının ana-oksit, iz ve nadir toprak element çözümlenme sonuçları.

Örnek No	12AY-21	12AY-23	12AY-24	12AY-25	12AY-26	12AY-28	12AY-29	12AY-32	12AY-35	12AY-37	12AY-41	12AY-42
Na ₂ O (%)	3,6	3,9	3,8	3,5	3,5	4,9	3,4	3,3	3,1	4,6	3,0	3,8
MgO	1,7	2,7	2,4	3,0	3,0	2,5	1,7	5,1	5,3	2,9	0,8	2,4
Al ₂ O ₃	18,2	17,0	16,2	17,2	17,2	18,1	18,6	17,8	18,1	18,9	17,4	17,3
SiO ₂	56,4	51,8	48,8	60,4	60,4	54,1	56,8	54,5	52,1	54,2	56,2	59,2
P ₂ O ₅	0,7	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,8	0,4
K ₂ O	3,8	0,9	0,8	2,2	2,2	2,3	4,0	3,7	2,8	2,6	4,6	2,5
CaO	5,3	10,8	13,3	4,9	4,9	6,6	5,0	4,4	5,5	5,7	5,7	5,7
TiO ₂	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,5
MnO	<0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
Fe ₂ O ₃	5,7	5,6	5,6	6,4	6,4	7,4	5,6	7,5	7,7	7,4	5,4	5,5
Ateşte Kayıp	3,60	6,15	7,90	1,45	1,45	2,80	3,00	2,15	3,85	2,30	4,70	2,30
La (ppm)	56,8	19,1	18,8	82,1	41	39,1	60,3	35,4	32,8	30,5	74,1	16,9
Ce	101,7	39,4	38,1	148,3	73,3	76,7	102,3	79,8	68,1	73,2	120,1	41,2
Pr	13,6	4,7	4,6	19,9	8,8	8,8	14	9,6	8,2	9,2	16,5	5,5
Nd	50,9	18,8	18,6	61	33,8	34,5	55,3	39,3	31,4	36,9	61,7	23,1
Sm	10,1	4,4	4,3	14,3	6,4	6,9	10,6	8,8	6,6	8,5	12	4,6
Eu	1	0,9	0,9	1,5	1,1	2	1,3	1,4	1,3	1,4	1,6	0,8
Gd	9,8	4,3	4,2	14,7	6,5	7	10,2	8,4	6,6	8	12,1	4,3
Tb	1,4	0,7	0,7	2	0,9	1,1	1,4	1,3	1	1,3	1,6	0,6
Dy	5,7	3,6	3,6	7,9	3,9	4,9	5,6	5,9	4,4	5,7	6,7	2,5
Ho	1,1	0,7	0,7	1,5	0,8	1	1,1	1,2	0,9	1,1	1,2	0,5
Er	3,4	2,3	2,3	4,8	2,3	3	3,2	3,5	2,6	3,3	4,1	1,4
Tm	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,1
Yb	2,7	2,1	2,2	3,3	1,6	2,6	2,2	2,8	2,1	2,4	3,1	1
Lu	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,1
Ni	5	9	6	6	4	9	5	8	9	8	2	8
Sc	13,1	29	27,9	13,7	9,7	9,9	7,5	15,8	6,4	22,1	9,1	8,3
Ba	1024	515	441	1428	1125	980	1015	1046	1519	1051	1011	1247
Co	22	21	17	21	19	27	19	26	25	29	17	26
Cs	1	1	1	1	1	1	1	2	5	3	2	3
Ga	8	11	13	14	11	17	11	21	22	18	10	11
Hf	3	3	3	5	4	3	3	4	5	5	3	3
Nb	10	6	6	13	5	8	9	9	8	10	10	6
Rb	47	25	26	109	<20	<20	65	64	39	30	92	52
Sr	785	707	731	768	876	772	829	673	910	1203	560	1016
Ta	1	<0,5	<0,5	1	<0,5	<0,5	1	1	<0,5	1	1	<0,5
Th	21	15	1	14	8	10	10	8	8	5	21	4
U	2,9	<2	<2	4,5	2,5	<2	<2	<2	<2	<2	3,9	<2
V	154	170	169	139	107	179	121	185	174	197	117	129
Zr	64	43	41	115	57	57	76	84	81	90	56	78
Y	23,7	17,4	17,5	34,1	17	21,7	23,6	26,6	20,1	25,1	28,6	10,6
Pb	24	36	38	49	41	32	61	31	29	22	59	47
Ge	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Mo	2	<0,5	<0,5	2	7	6	2	2	6	3	2	1
Be	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1
As	15	10	7	13	12	6	5	9	3	18	6	8
Ce	77	43	42	105	51	58	77	63	64	68	93	60
Zn	85	82	84	104	91	82	88	107	98	101	100	95
Cu	154	72	57	218	49	57	118	38	57	44	175	30
Cr	<20	22	24	<20	<20	<20	20	24	36	<20	<20	22
Mn	651	1496	1573	792	842	942	759	1213	1021	1178	799	1063

Tablo 1. Yusufeli (Artvin) civarındaki volkanik kayaların ana-oksit, iz ve nadir toprak element çözümleme sonuçları.

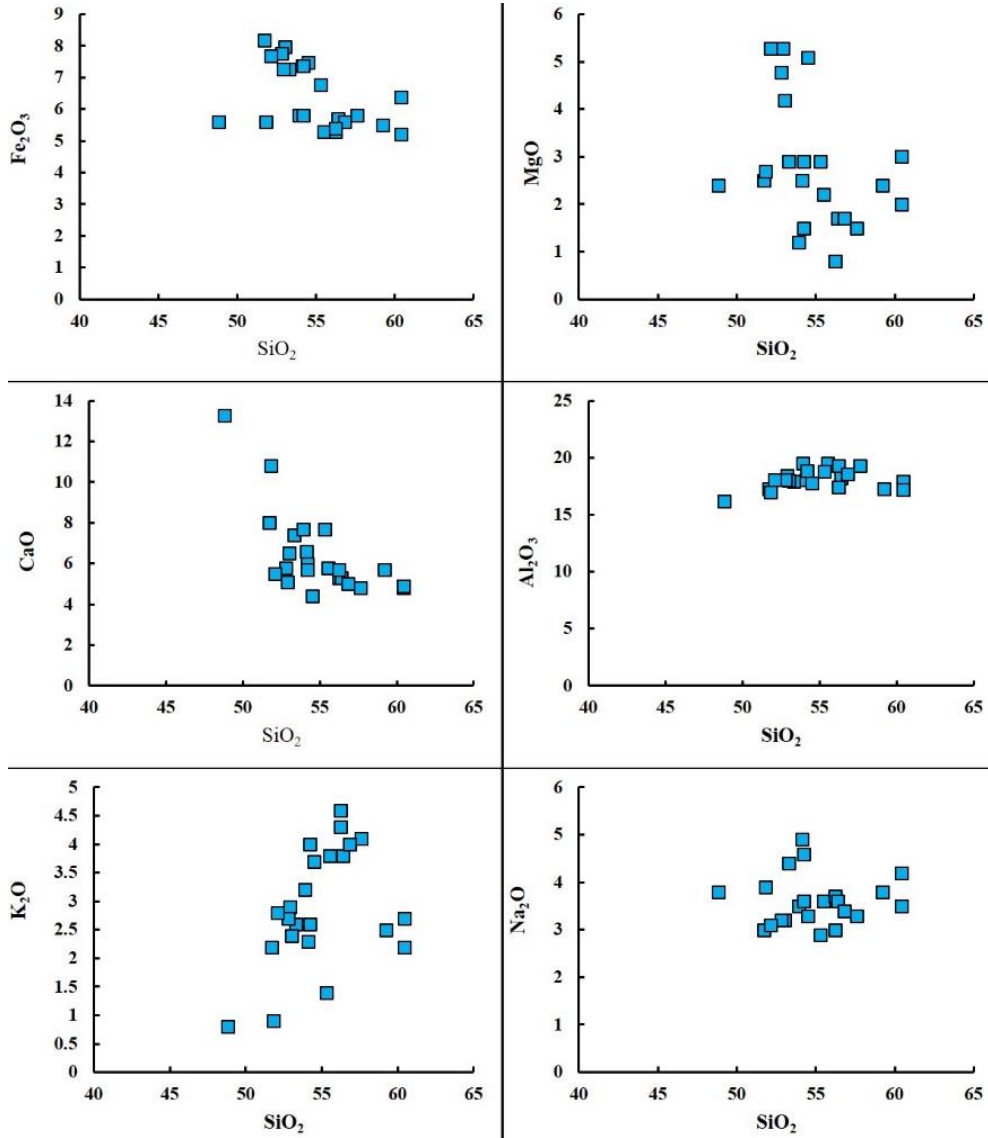


Sekil 2. Yusufeli (Artvin) civarındaki volkanik kayaların SiO_2 'ye karşı Na_2O+K_2O diyagramı [8].



Sekil 3. Yusufeli (Artvin) civarındaki volkanik kayaların Zr/Ti 'ye karşı Nb/Y diyagramı [9]- [12]. Ek şekil, kayaların AFM [11] diyagramındaki gösterimidir.

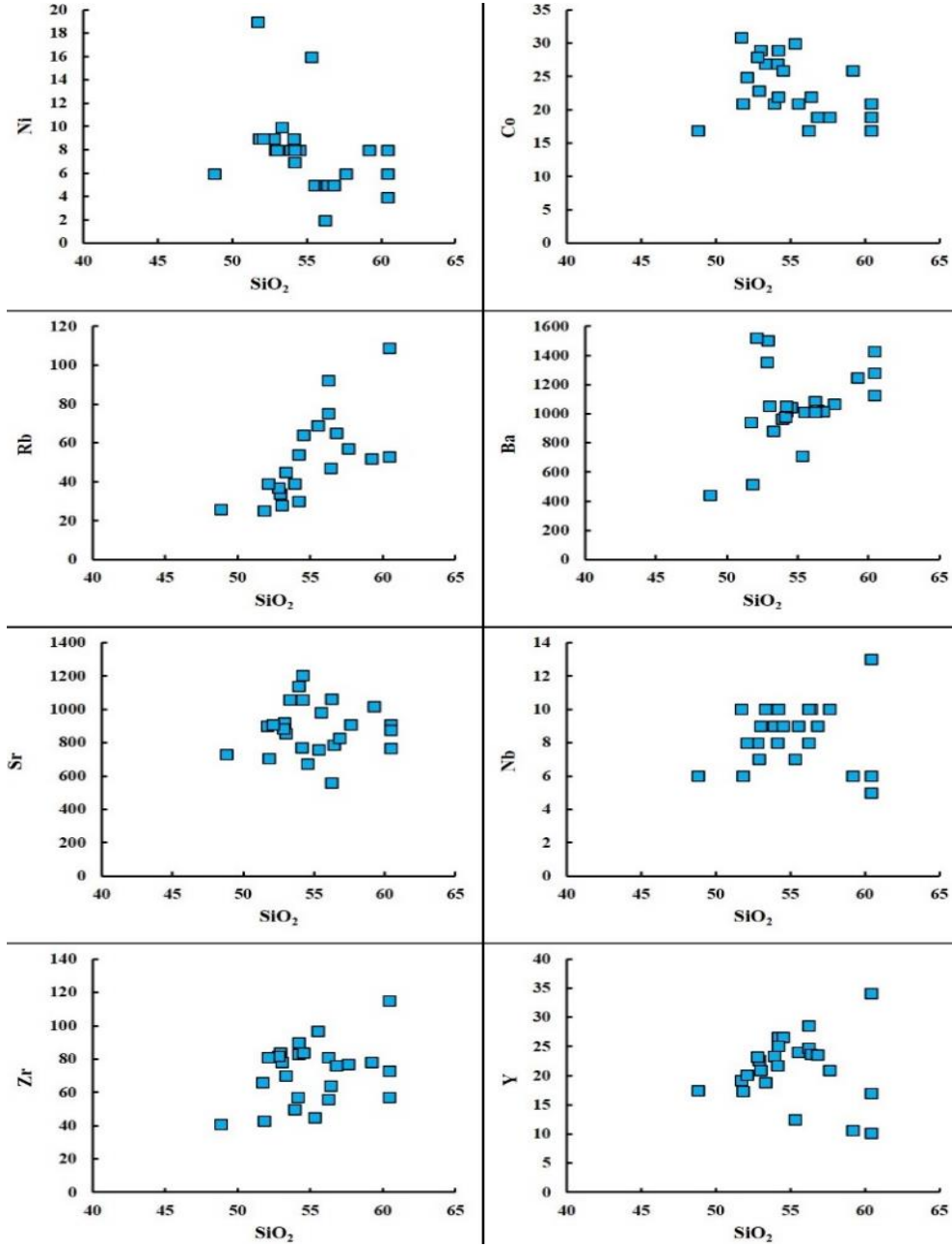
Ana oksitlerin SiO_2 ile olan değişim diyagramları Şekil 4'te verilmiştir. Fraksiyonel kristalleşmenin ilk evrelerinde olivin, piroksen, Ca-plajiyoklaz ve opak mineraller eriyikten ilk önce ayrılacaktır. Bu nedenle, Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , CaO , Al_2O_3 bu minerallerin bünyesine gireceğinden, artık eriyik bu elementler bakımından fakirleşecektir. Bu arada eriyik, K_2O ve Na_2O bakımından ise zenginleşecektir. Buna göre, SiO_2 'ye karşı ana-oksit diyagramlarında da Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , CaO , Al_2O_3 ile SiO_2 arasında negatif bir korelasyon K_2O ve Na_2O ile SiO_2 arasında ise pozitif bir korelasyon olması beklenir. Şekil 4'ten de görüleceği gibi, SiO_2 artışıyla beraber Fe_2O_3 , MgO , CaO azalarak negatif bir ilişki göstermektedir. K_2O ve Na_2O ile SiO_2 arasında ise artarak pozitif bir ilişki gözlenmektedir. Bu durum fraksiyonel kristalleşme sonucu ortaya çıkmaktadır. Fe_2O_3 , MgO , CaO azalması, eriyikten öncelikle olivin, piroksen, Ca-plajiyoklaz ve oksit minerallerinin ayrılmasına bağlıdır. SiO_2 'e karşı Al_2O_3 diyagramında ise dağınık bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışılan kayaların ana-oksit-SiO₂ değişim diyagramları.

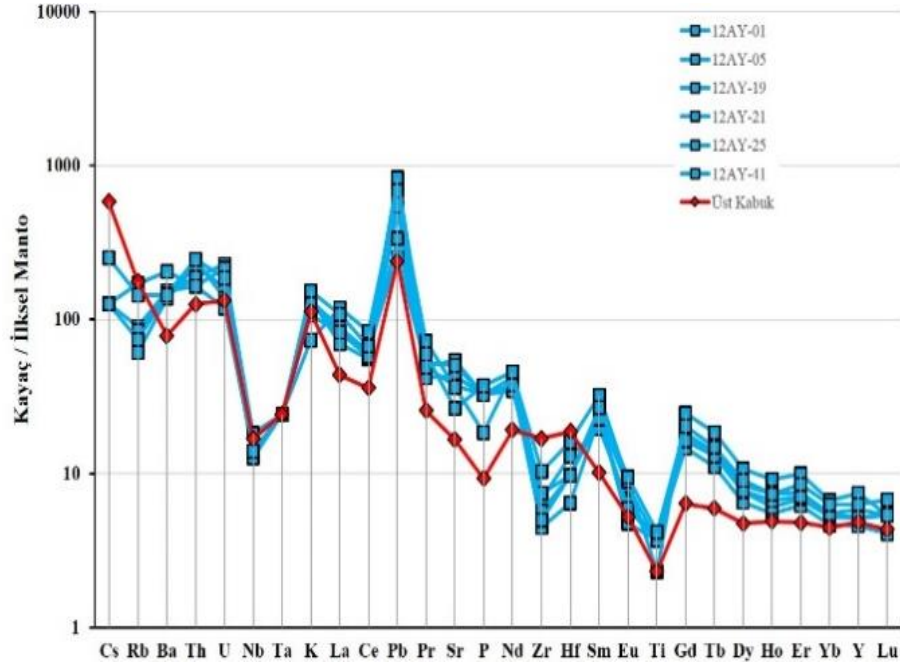
2.2. İz ve Nadir Toprak Element Jeokimyası

Ana oksitlerde olduğu gibi, kristallenme süreci ve değişimleri gözlemlemek için bazı seçilmiş iz elementler ile SiO₂ arasında değişim diyagramları çizilmiştir (Şekil 5). Kayaların Ni (≤ 19) ve Cr (≤ 60) içerikleri çok düşüktür ve SiO₂ ile arasında negatif bir ilişki gözlenmektedir. Bu durum, fraksiyonel kristalleşme sırasında olivin ve piroksen minerallerinin kristalleşerek eriyikten ilk önce ayrılmasına işaret etmektedir (Şekil 5). Normal şartlarda, Rb ve Ba elementleri fraksiyonel kristalleşme sırasında K-feldispat, hornblend ve biyotit gibi minerallerinin bünyesine girmektedir ve bu nedenle, fraksiyonel kristalleşme sırasında geç evrelerde kristalleşmektedir [13]. Sr elementi ise genellikle plajiyoklazlarda Ca elementinin yerini alabildiğinden, SiO₂ ile arasında negatif bir ilişki olmalıdır. Zr, uyumsuz bir element olduğundan ve normal manto minerallerinin bünyesine girmediğinden SiO₂ ile arasındaki korelasyon da pozitif olmalıdır. Y elementinin ise granat, amfibol daha az olarak da klinopiroksenin bünyesine dahil oldukları bilinmektedir [14]. Şekil 5'teki iz element değişim diyagramlarından da görüldüğü gibi SiO₂ ile Rb, Ba ve Zr arasında pozitif bir korelasyon, Sr ile negatif bir korelasyon mevcuttur. SiO₂ ile Y arasındaki ilişkiyi incelediğimizde ise, Y elementi ilk önce SiO₂'nin artışına bağlı olarak artmakta, daha sonra ise azalma eğilimi göstermektedir. Bu durum, Y elementinin mineral (granat, amfibol gibi) bünyesine girerek ortamdan ayrılmasıyla açıklanabilir.



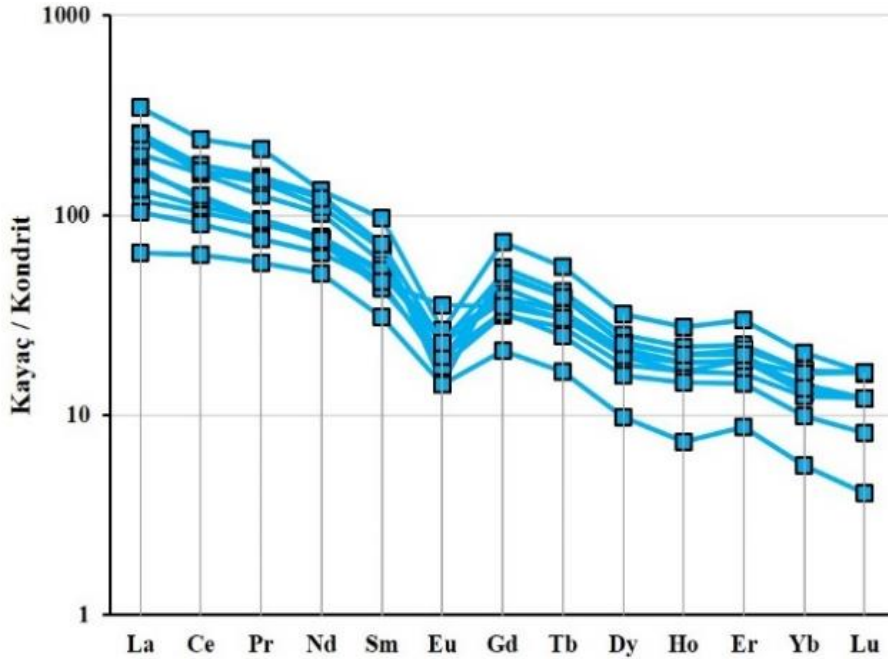
Şekil 5. Çalışılan kayaçların SiO₂ (%)'ye karşı iz element değişim diyagramları.

Yusufeli (Artvin) civarında yüzeyleyen Eosen yaşlı volkanik kayaçlarından seçilmiş örneklerin ilksel mantoya göre [15] göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları Şekil 6'te verilmiştir. Çalışılan kayaçlar birbirine benzer iz element dağılımları sunmaktadır. Diyagramdan da görüldüğü gibi, tüm örnekler belirgin negatif Nb, Ta, Ti, Zr ve Hf ve pozitif Th, U ve Pb anomalilerine sahiptir. Örnekler büyük iyon yarıçaplı elementler (BIYE; Cs, Rb, Ba, K, Th, U) bakımından ilksel mantoya göre zenginleşmiş durumdadır. Nb, Ta ve Ti elementlerinde gözlenen negatif ve beraberinde Th, U ve Pb elementlerinde gözlenen pozitif anomaliler, yay magmatizmasının tipik özellikleri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, yükselen magmanın kıtasal kabuk ile etkileşimi sonucu bu tür anomaliler oluşmaktadır [16]- [17]- [18]. Bu nedenle, örnekler üst kabuk değerleri [19] ile karşılaştırıldığında, örneklerin iz element profillerinin üst kabuğa ait iz element profiline yakın benzerlikler sergilediği gözlenmektedir. Ancak, çalışılan örneklerdeki Ba, Th, U ve Pb zenginleşmesi ve Zr ve Hf fakirleşmesi üst kabuktan daha fazladır.



Şekil 6. Çalışılan Eosen volkanitlerinden seçilmiş örneklerin ilkse mantoya [15] göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramı.

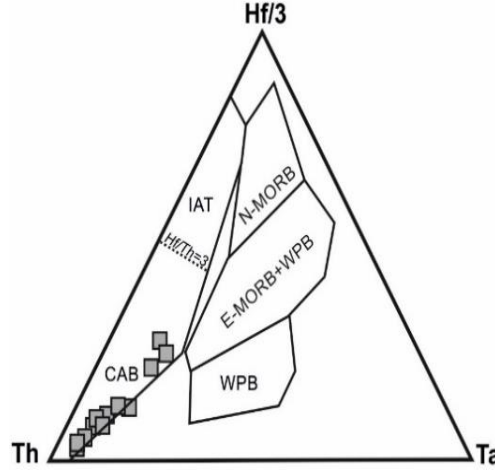
Çalışılan volkanitlerden seçilmiş örneklerin kondrite göre normalize edilmiş [20] nadir toprak element (NTE) dağılım diyagramları Şekil 7’de verilmiştir. Bütün örnekler hafif nadir toprak elementler (HNTE) bakımından ağır nadir toprak elementler göre (ANTE) zenginleşmiştir [(La/Yb)_n= 5.77-18.52; [19] normalizasyon değerleri kullanılmıştır]. Bu durum, volkanik kayaların gelişiminde klinopiroksen ve hornblend ayrışmasının etkili olduğunu göstermektedir [14]. Örneklerde belirgin bir Eu anomalisi gözlenmektedir. Eu elementinde gözlenen bu anomali plajiyoklaz fraksiyonlaşmasına veya kayacın kısmi ergimesi sırasında plajiyoklazın kaynaktan alıkonmasına işaret etmektedir.



Şekil 7. Çalışılan Eosen volkanitlerinden seçilmiş örneklerin kondrite [20] göre normalize edilmiş NTE dağılım diyagramı.

IV. SONUC

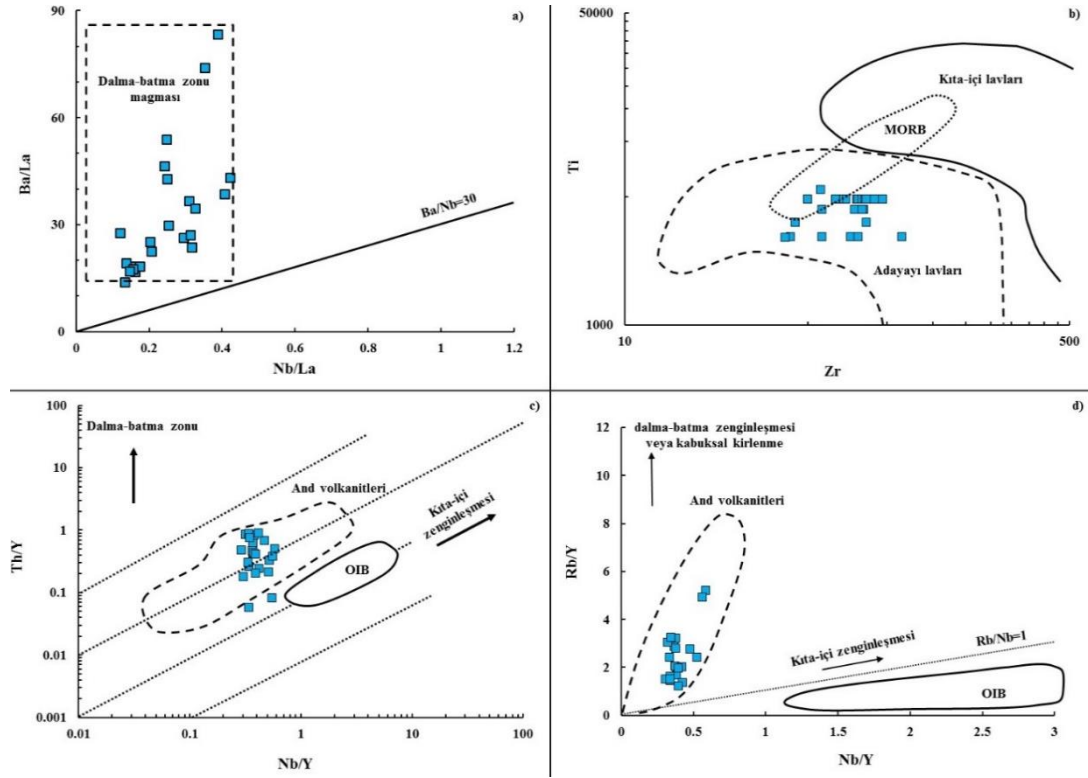
İncelenen volkanitlerin iz element dağılım profilleri, volkanizmanın oluşumunda dalma-batma ve/veya kabuksal kirlenme süreçlerinin varlığını ortaya koymuştur. Çünkü Nb, Ta, Ti ve Zr elementlerinde gözlenen fakirleşme ve beraberinde Th, U ve Pb elementlerindeki zenginleşmeler bu tür süreçlerin jeokimyasal özellikleri arasında yer almaktadır [21]- [22]- [23]- [16]- [9]. Bu nedenle, volkanitlerin oluşum ortamını tespit etmek amacıyla, Hf/3-Th-Ta tektonik ortam ayırtman diyagramı [24] çizilmiştir. Diyagrama göre volkanitler, kalk-alkali bazalt (CAB) kesiminde yer almaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Çalışılan volkanitlerin Hf/3-Th-Ta üçgen diyagramında gösterimi, CAB kalk-alkali bazalt [24].

Volkanitlerin Ba/Ta ve Ba/Nb oranları sırasıyla 882-3008 ve 73.5-225 arasında değişmektedir. Yüksek Ba/Ta (>450) ve Ba/Nb(>28) değerleri, dalma-batma magmalarının en tipik özellikleri arasında yer almaktadır [16]. Bu kriterlere göre, çalışılan volkanitlerde gözlenen bu değerler, volkanizmanın kökeninde dalma-batma süreçlerinin hakim olduğunu göstermektedir. Şekil 9a'da da, Yusufeli civarında yüzlek veren volkanitlerin dalma-batma ile temsil olunan bölgede yer aldığı gözlenmektedir. Benzer şekilde, Ti-Zr tektonik ortam ayırtman diyagramında [25] da örnekler yay magmatizması ile temsil edilen bölgeye düşmektedir. Şekil 9a ve b diyagramlarına göre, çalışılan volkanitlerinin yay magmatizmasıyla ilişkili bir kaynaktan türediği düşünülmektedir.

Th/Y-Nb/Y diyagramı (Şekil 9c), kıta içi volkanitleri, dalma-batma zonu ile ilişkili volkanitlerden ayırmak için kullanılmaktadır. Diyagramda düşey yönelim dalma-batma zonu zenginleşmesini gösterirken, artan Nb/Y içeriği ise kıta içi zenginleşmesini vermektedir. Çünkü kıta içi volkanitler yüksek Nb/Y oranı (>1.5) sahiptir [26]- [27]. Ayrıca, diyagram üzerine dalma-batma magmatizmasının bir örneği olan And volkanitleri iz düşürülerek, çalışılan örneklerin kökenine açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Buna göre, örneklerin And volkanitleri bölgesinde yer aldığı ve genel olarak dalma-batma zonu zenginleşmesi yönünde düşey bir yönelim sunduğu gözlenmektedir. Şekil 9d'deki Rb/Y – Nb/Y diyagramı da yukarıda bahsedilen bulguları destekler nitelikte olup, örnekler And volkanitleri bölgesinde düşey bir dağılım sergilemektedir. Jeokimyasal veriler, Tersiyer yaşlı Yusufeli volkanizmasını oluşturan kaynağın adayayı magması ile ilişkili olduğunu ve volkanizmanın gelişimde fraksiyonel kristalleşme süreçlerinin de etkili olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 9. Çalışılan volkanitlerin a) Ba/La-Nb/La diyagramı; b) Ti-Zr diyagramı [25]; c) Th/Y-Nb/Y diyagramı ve d) Rb/Y-Nb/Y diyagramı [26]. And volkanitleri ve Okyanus adası bazaltlarına (OIB) ait veriler [28]- [29]- [30]'dan alınmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmalarım sırasında desteklerini gördüğüm MTA Genel Müdürlüğüne ve Maden Analizleri ve Teknolojisi (MAT) Dairesi Başkanlığı'na, MTA Marmara Bölge Müdürlüğü'ne sonsuz şükranlarımızı sunarım.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Arslan, N. Tüysüz, S. Korkmaz ve H. Kurt, "Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanics Rocks, Northeast Turkey", *Chemi der Erde*, no. 57, pp. 157-187, 1997.
- [2] A. Kaygusuz ve E. Aydınçakır, "U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of Cretaceous plutons in the eastern Pontides (NE Turkey): The Dağbaşı Pluton", *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, vol. 188, no. 3, pp. 211-233, 2011.
- [3] Z. Aslan, "U-Pb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides", *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, vol. 187, no. 3, pp. 329-346, 2010.
- [4] C. Şen, M. Arslan ve A. Van, "Doğu Pontid (KD Türkiye) Eosen alkalin Volkanik Provensinin Jeokimyasal ve Petrolojik Karakteristikleri", *Tübitak Yayınları, Turkish Journal of Earth Science*, no. 7, ss. 231-239, 1998.
- [5] M. Arslan ve Z. Aslan, "Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, NE Turkey", *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 27, pp. 177-193, 2006.

- [6] İ. Ketin, Anadolu'nun tektonik birlikleri, *MTA Dergisi*, no. 66, ss. 20-34, 1996.
- [7] İ. H. Güven, MTA, *1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Tortum-D31 Paftası*, Ankara, Açınsama Nitelikli Harita, 1/100.000, 1998.
- [8] E. A. Middlemost, "Naming materials in magma/igneous rock system", *Earth Science Reviews*, no. 37, pp. 215-224, 1994.
- [9] J. A. Pearce, "Sources and settings of granitic rocks", *Episodes*, vol. 19, no. 4, pp. 120-125, 1996.
- [10] P. A. Floyd ve J. A. Winchester, "Identification and discrimination of althered and metamorphosed volcanic rock using immobile elements", *Chemical Geology*, vol. 21 (3-4), pp. 291-306, 1981.
- [11] T. N. Irvine ve W. R. Barager, "A guide to the chemical classification of the common volcanics rocks", *Canadian Journal of Earth Sciences*, pp. 523-548, 1971.
- [12] J. A. Winchester ve P. A. Floyd, "Geochemical discrimination of different magma series and their diffentiation products using immobile elements", *Ghemical Geology*, vol. 20, pp. 325-343, 1977.
- [13] M. Wilson, *Igneus Petrogenesis*, London, UK, Unwin Hyman Ltd. 1989, p. 465.
- [14] H. Fujimaki, M. Tatsumoto ve K. Aoki, "Partition coefficients of Hf, Zr and REE between phenocrysts and groundmasses", Proc. 14th Lunar Planet Sci Conf. Part 2. *Journal of Geophysical Research*, vol. 89, pp. 662-672, 1984.
- [15] S. S. Sun ve W. F. Mcdonough, "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in ocean basins", In: A. D. Saunders, M. J. Norry, Eds., *Geol. Soc. Spec. Pub.*, London, 1989, pp. 313-345.
- [16] J. B. Gill, *Orogenic andesites and Plate tectonics*, New York: Springer-Verlag, 1981.
- [17] J. G. Fitton, D. James, P. D. Kempton, D. S. Ormerod ve W. P. Leeman, "The role of lithospheric mantle in the generation of late Cenozoic basic magmas in the Western United States", *Special Lithosphere Issue*, pp. 331-349, 1988.
- [18] R. N. Thompson, M. A. Morrison, G. L. Hendry ve S. J. Parry, "An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: An elemental approach", *Philosophieal Transactions of the Royal Society of London*, vol. 310, pp. 549-585, 1984.
- [19] S. R. Taylor ve S. M. Mc Lennan, "The continental crust: its composition and evolution", *An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*, United States: 1985.
- [20] W. F. Mcdonough ve S. S. Sun, "The composition of the Earth", *Chemical Geology*, vol. 120, pp. 223-253, 1995.
- [21] P. B. Kelemen, K. T. Johnson, R. J. Kinzler ve A. J. Irving, "High-Fieald-Strength Element Depletion in Arc Basalts Due to Mantle-Magma Interaction ", *Nature*, vol. 345, pp. 521-524, 1990.
- [22] A. Stolz, R. Varne, G. R. Davies, G. E. Wheller ve J. D. Folden, "Magma source components in an arc-continent collision zone: the Flores-Lembata sector, Sunda arc, Indonesia", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 105, pp. 585-601, 1990.

- [23] A. E. Rigwood, "Slab-mantle Interactions: 3. Petrogenesis of Intraplate Magmas and Structure of the Upper Mantle", *Chemical Geology*, vol. 82, pp. 187-207, 1990.
- [24] D. A. Wood, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problem of tectomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province, *Earth and planetary science Letters*, vol.50, pp. 11-30, 1980.
- [25] J. A. Pearce, "Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries ", In: R. S. Thorpe (ed.) *Orogenic Andesites and Related Rocks*, Chichester, England: J. Wiley and Sons, 1982, pp. 525-548.
- [26] C. Edwards, M. Menzies ve M. Thirwall, "Evidence from Muriah Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas", *Journal of Petrology*, vol. 32, pp. 555-592, 1991.
- [27] A. Temel, M. N. Gündoğdu ve A. Gourgaud, "Petrological and Geochemical Characteristics of Cenozoic high-K Calc-Alcaline Volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 85 (1), pp. 327-354, 1998.
- [28] R. V. Hickey, F. A. Frey, D. C. Gerlach ve L. L. Escobar, "Multiple source basaltic arc rock from the southern volcanic zone from of the Andes (34°–41° S): trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust", *Journal of Geophysical Research*, vol. 91 (B6), pp. 5963-5983, 1986.
- [29] R. V. Hickey, H. M. Roa, L. L. Escobar ve F. Frey, "Geochemical variations in Andean basaltic and silicic lavas from the Villarica-Lanin Chain (39.5° S): an evaluation of source heterogeneity, fractional crystallization and crustal assimilation", *Contribution to Mineralogy and Petrology*, vol. 03, pp. 361-386, 1989.
- [30] D. J. Chaffey, R. A. Cliff ve B. M. Wilson, "Characterization of the St. Helena magma source", In magmatism in the ocean basins", *Geol. Soc. Spec. Publ.*, London, England: A.D. and M.J. Norry, pp. 257-276, 1989.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

2-Formilpiridin N(4)-Metil Tiyosemikarbazon Ve 2-Asetilpiridin N(4)-Etil Tiyosemikarbazon Moleküllerinin Teorik Olarak İncelenmesi

 Metin TOPRAK^a,  Ömer TAMER^b,  Göksel DAYLAN ESMER^c

^a Fizik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^c Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: goksel@istanbul.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1249906

Öz

Bu çalışmada (HFo4M) 2-Formilpiridin N(4)-metil tiyosemikarbazon ($C_8H_{10}N_4S$) ve (HAc4E) 2-Asetilpiridin N(4)-etil tiyosemikarbazon ($C_{10}H_{14}N_4S$) moleküllerinin yapısal, spektroskopik, elektronik ve doğrusal olmayan optik özellikleri kuantum kimyasal hesaplamaları metodları kullanılarak incelendi. Optimize edilmiş geometri için hesaplanan teorik sonuçlar deneysel değerler ile karşılaştırıldı ve oldukça uyum içinde oldukları görüldü. HFo4M ve HAc4E molekülleri için statik yüksek mertebeli kutuplanabilirlik parametreleri sırayla 23.6815×10^{-30} ve 20.838×10^{-30} esu olarak elde edilmiş ve doğrusal olmayan optik malzemeler için umut verici bir aday olduğu görülmüştür. HFo4M ve HAc4E molekülleri için B3LYP yöntemi ile 2.1630 ve 2.2556 eV olarak hesaplanan HOMO ve LUMO arasındaki enerji aralıklarının nispeten düşük olması doğrusal olmayan optik özelliklerin belirgin olmasına katkı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: 2-Formilpiridin N(4)-metil tiyosemikarbazon, 2-Asetilpiridin N(4)-etil tiyosemikarbazon, DFT, Doğrusal Olmayan Optik, IR ve NMR

Theoretical Investigation Of 2-Formylpyridine N(4)-Methyl Thiosemicarbazone And 2-Acetylpyridine N(4)-Ethyl Thiosemicarbazone Molecules

ABSTRACT

In this study, the structural, spectroscopic, electronic and nonlinear optical properties of (HFo4M) 2-Formylpyridine N(4)-methyl thiosemicarbazone ($C_8H_{10}N_4S$) and (HAc4E) 2-Acetylpyridine N(4)-ethyl thiosemicarbazone ($C_{10}H_{14}N_4S$) molecules were investigated using quantum chemical calculation methods. The theoretical results calculated for the optimized geometry were compared with the experimental values and they were found to be in good agreement. Static high-order polarizability parameters for HFo4M and HAc4E molecules were obtained as 23.6815×10^{-30} and 20.838×10^{-30} esu, respectively, and it was found to be a promising candidate for nonlinear optical materials. The relatively low energy gaps between HOMO and LUMO, calculated as 2.1630 and 2.2556 eV by the B3LYP method for HFo4M and HAc4E molecules has been contributed a little to the clarity of the nonlinear optical properties.

Keywords: 2-Formylpyridine N(4)-methyl thiosemicarbazone, 2-Acetylpyridine N(4)-ethyl thiosemicarbazone, DFT, Nonlinear Optic, IR and NMR

I. GİRİŞ

İleri teknolojik gelişmeler her alanda olduğu gibi sağlık ve tedavi sektörünü de yakından ilgilendirmektedir. Bu anlamda ilaç endüstrisi, günümüzde çok yüksek araştırma-geliştirme potansiyeline sahip global bir endüstri olup, gelişmesi ürün odaklı disiplinler arası işbirliğini kaçınılmaz kılmaktadır. 1946 yılında Domagk ve çalışma grubu tarafından tüberküloza karşı aktif olduğu keşfedilen [1-4] tiyosemkarbazit türevleri, antitümör, antibakteriyel, antiviral ve aktivitel gibi oldukça fazla biyolojik aktivitelerinden dolayı ilaç sanayinde yaygın olarak incelenmektedir [5-6].

İlaçların endüstriyel üretimi, birçok nedene bağlı zorluk ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle sentezlenecek kimyasal reaksiyonların tahmini sonuçları hakkında bilgi edinilmesi ve optimum şartların sağlanabilmesi için, bilgisayar destekli teorik çalışmalar hem zamanlama hem de maliyet açısından oldukça önem arz etmektedir. Bilgisayar destekli teorik hesaplamalar, FT-IR, NMR, UV, elektronik ve lineer olmayan optik özellikleri üzerine olup detaylı incelemeler Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) ile desteklenmiştir. [7-10].

Bu çalışmada 2-Formilpiridin N(4)-metil tiyosemkarbazon (HFo4M) ($C_8H_{10}N_4S$) ve 2-Asetilpiridin N(4)-etil tiyosemkarbazon (HAc4E) ($C_{10}H_{14}N_4S$) moleküllerinin, yukarıda belirtilen bilgisayar destekli teorik hesaplamaları yapıldı ve hazır sentezlerin benzer özellikleri deneysel incelenen literatür sonuçları ile karşılaştırıldı. Yukarıda belirtilen spektroskopik çalışmalarda yapısal özellikleri incelendi. B3LYP ve HSEH1PBE yoğunluk fonksiyonları 6-311++G(d,p) temel seti ile birlikte kullanıldı. Tiyosemkarbazit türevi iki molekülün yapısal, spektroskopik, elektronik ve doğrusal olmayan optik özellikleri arasında ilişki araştırıldı.

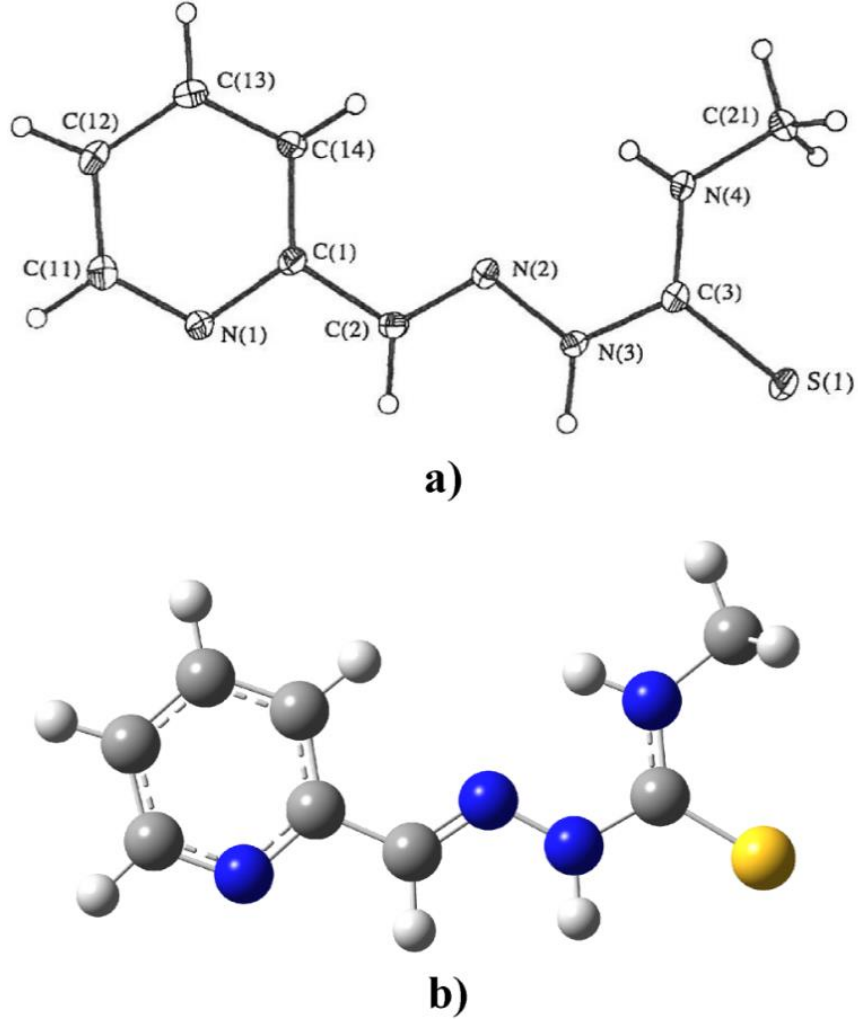
II. HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Tiyosemkarbazit içeren 2-Formilpiridin N(4)-metil tiyosemkarbazon ($C_8H_{10}N_4S$) ve 2-Asetilpiridin N(4)-etil tiyosemkarbazon ($C_{10}H_{14}N_4S$) moleküllerinin geometrik aynı zamanda elektronik ve spektroskopik yapısal özellikleri için üç boyutlu yaklaşık geometrileri GaussView 5.0 [11] programında çizilerek Gaussian 09W [12] paket programında giriş verileri olarak kullanılmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Yoğunluk Fonksiyoneli teorisi (DFT/B3LYP ve DFT/HSEH1PBE) yöntemi ve 6-311++G(d,p) temel seti kullanılarak optimize edilmiştir. Denge durumunda HOMO-LUMO enerjileri zamana bağlı B3LYP (TD-B3LYP) yöntemi kullanılarak hesaplandı. Bu enerjiler dikkate alınarak kimyasal sertlik (η) ve elektronegatiflik (χ) parametreleri belirlenmiş ve kararlı yapıların dipol momentleri (μ), ortalama kutuplanabilirlik ($\langle\alpha\rangle$), yönelime bağlı kutuplanabilirlik ($\Delta\alpha$) ve yüksek mertebeli kutuplanabilirlik (β) değerleri B3LYP yöntemi ile hesaplanmıştır.

III. BULGULAR

III. 1. Geometri Optimizasyonu

HFo4M ve HAc4E moleküllerinin taban durumu moleküler geometrileri, HSEH1PBE, B3LYP metotları kullanılarak ve 6-311++G(d,p) temel seti ile hesaplanmıştır. X-Işını kırınımı ile elde edilen geometrik yapılar [13] ve hesaplama sonucu optimize edilmiş geometrik yapıları sırasıyla Şekil 1. (a, b) ve Şekil 2. (a, b) de verilmiştir. Her iki metod ve temel set ile elde edilen bağ uzunlukları ve bağ açıları, literatürde sunulan deneysel sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak sırasıyla Tablo 1. ve Tablo 2.'de verilmiştir.



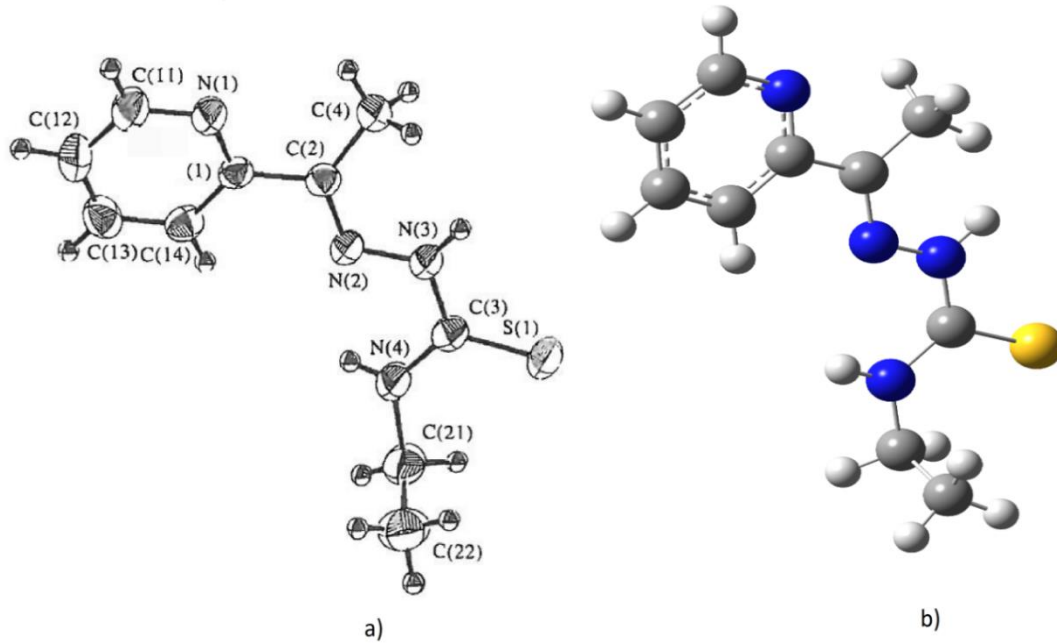
Şekil 1. HFo4M molekülüne ait (a) X-Işını kristal yapısı [13], (b) Teorik olarak elde edilen optimize geometrik yapısı.

Hesaplanan bağ uzunlukları ve bağ açıları deneysel değerlerle karşılaştırıldığında, B3LYP modeli ile hesaplanan bağ uzunluklarının HSEH1PBE modeli ile elde edilen değerlerden bir miktar büyük olduğu görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi bağ açıları ise; her iki model ile hesaplanan değerler birbirine çok yakın olup, literatürde yer alan deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında hesaplanan tüm sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 1. HFo4M molekülü için deneysel X-ray, B3LYP ve HSEH1PBE metotlarında 6-311++G(d,p) baz seti kullanılarak hesaplanan bağ uzunlukları (Å), bağ açıları (°)

Parametreler	Deneysel	Teorik		Parametreler	Deneysel	Teorik	
Bağ uzunlukları (Å)	X-Ray [13]	B3LYP	HSEH1PBE	Bağ açıları (°)	[13]	B3LYP	HSEH1PBE
N1-C1	1.355(4)	1.344	1.339	C1-N1-C11	117.9(2)	118.073	117.940
C1-C14	-	1.403	1.399	N1-C1-C2	114.7(2)	114.539	114.544
C1-C2	1.467(3)	1.465	1.459	C1-C2-N2	120.5(2)	122.299	122.079
C2-N2	1.285(2)	1.283	1.280	C2-N2-N3	115.0(2)	117.990	118.130
N2-N3	1.375(2)	1.349	1.336	N2-N3-C3	119.3(14)	122.225	121.971
N3-C3	1.369(2)	1.382	1.375	N3-C3-S1	119.1(1)	119.383	119.535

C3-S1	1.649(2)	1.675	1.665	N3-C3-N4	116.4(2)	114.967	114.922
C3-N4	1.334(3)	1.342	1.336	S1-C3-N4	124.6	125.649	125.544
C11-N1	1.346(2)	1.333	1.328	N1-C11-C12	123.2(2)	123.554	123.649
N4-C21	1.454(3)	1.453	1.443	N1-C1-C14	122.6(2)	122.476	122.694
				C14-C1-C2	122.7(2)	122.986	122.762
				C3-N4-C21	123.6(2)	123.745	123.235



Şekil 2. HAc4E molekülüne ait (a) X-Işın kristal yapısı [13], (b) Teorik olarak elde edilen optimize geometrik yapısı.

Tablo 2’de sunulan hesaplama sonuçlarına bakıldığında, HFo4M molekülü sonuçlarına benzer olup, B3LYP modeli ile hesaplanan bağ uzunlukları HSEH1PBE modelinden biraz büyük hesaplanmıştır. HSEH1PBE metodu ile yapılan hesaplamalarında tüm yapısal parametrelerde (bağ uzunlukları, bağ açıları) deneysel değerler ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2. HAc4E molekülü için deneysel X-ray, B3LYP ve HSEH1PBE metotlarında 6-311++G(d,p) baz seti kullanılarak hesaplanan bağ uzunlukları (Å), bağ açıları (°)

Parametreler	Deneysel		Teorik		Parametreler	Deneysel		Teorik
	X-Ray [13]	B3LYP	HSEH1PBE	Bağ açıları (°)		[13]	B3LYP	
N1-C1	1.339 (2)	1.3420	1.3366	C1-N1-C11	117.4 (2)	118.643	118.494	
C1-C2	1.484 (3)	1.4864	1.4789	N1-C1-C2	115.9 (2)	116.521	116.441	
C2-C4	1.491 (3)	1.5048	1.4955	C1-C2-N2	114.7 (2)	116.839	116.886	
C2-N2	1.287 (2)	1.2924	1.2890	C1-C2-C4	119.4 (2)	119.684	119.690	

N2-N3	1.370 (2)	1.3515	1.3392	C4-C2-N2	125.8 (2)	123.477	123.425
N3-C3	1.364 (2)	1.3831	1.3760	C2-N2-N3	119.3 (2)	118.614	118.351
C3-S1	1.676 (2)	1.6791	1.6695	N2-N3-C3	118.3 (2)	121.988	121.783
C3-N4	1.326 (3)	1.3429	1.3370	N3-C3-S1	120.1 (2)	118.706	118.882
C11-N1	1.333 (3)	1.3352	1.3301	N3-C3-N4	115.7 (2)	114.846	114.793
N4-C21	1.467 (2)	1.4595	1.4492	S1-C3-N4	124.2 (2)	126.446	126.324
				N1-C11-C12	124.2 (2)	123.546	123.624
				N1-C1-C14	122.0 (2)	121.716	121.971
				C14-C1-C2	122.1 (2)	121.763	121.588
				C3-N4-C21	125.2 (2)	125.007	124.360
				N4-C21-C22	113.4 (2)	113.208	113.061

III. 2. Titreşim Frekansları

HFo4M ve HAc4E molekülleri için B3LYP ve HSEH1PBE yöntemi ile hesaplanan FT-IR titreşim frekansları arasından seçilen bazı titreşim kiplerinin deneysel karşılıkları ile birlikte Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Anharmoniklik ve temel set eksikliği gibi iyi bilinen bazı nedenlerden dolayı, B3LYP ve HSEH1PBE modelleri ile elde edilen titreşim frekansları 0.96 ile skala edilmiştir.

Tablo 3. HFo4M molekülünün B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ile hesaplanan ve deneysel titreşim frekansları

Titreşim Dalga sayıları (cm^{-1})	Deneysel	B3LYP		HSEH1PBE	
ν NH (100)	3360 [14]	3450	60.27	3619	67.13
ν NH (100)	3240 [15]	3383	26.19	3552	29.71
ν CH (10)	3100 [15]	3081	3.80	3227	3.75
ν NC (65)	1628 [15]	1592	39.00	1690	59.63
ν NC (10) + ν CC (30)	1581 [15]	1557	75.44	1648	81.63
β HCH (67)	1443 [15]	1451	2.08	1508	202.26
β HCN (22)	1335 [15]	1352	27.25	1414	17.33
ν NC (13)	1257 [15]	1259	39.34	1337	40.88
ν NC (56)	1142 [15]	1136	84.20	1204	24.30
τ HCCC (11) + τ HCCC (47)	933 [15]	946	2.06	990	2.05
β CNN (12)	764 [15]	766	12.49	814	11.83
β NCC (23)	625 [15]	651	11.06	679	10.83
β CNC (17) + τ CCCC (13)	544 [15]	507	1.10	533	0.33
τ HNNC (46) + τ HNCN (50)	478 [15]	486	128.84	514	128.16

Tablo 4. HAc4E molekülünün B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ile hesaplanan ve deneysel titreşim frekansları

Titreşim Dalga Sayıları (cm^{-1})	Deneysel	B3LYP		HSEH1PBE	
ν NH (99)	3360 [14]	3434	60.33	3602	67.50
ν NH (99)	3344 [16]	3419	33.99	3582	35.26
ν CH (83)	3156 [16]	3072	15.63	3220	11.88
ν CH (12)	3104 [16]	3051	6.79	3197	5.65

ν CH (49)	3028 [16]	3028	27.33	3173	26.49
ν NC (47)	1602 [16]	1582	10.44	1682	21.78
ν NC (29)	1432 [16]	1437	138.32	1495	10.83
β HNC (40)	1266 [16]	1288	43.45	1347	30.84
τ HNCN (24)	640 [16]	613	7.08	645	5.82
τ HCCC (12)	464 [16]	443	50.56	469	43.08

Her iki Tablodan da görüldüğü gibi B3LYP metoduyla hesaplanan değerler, HSEH1PBE metoduna göre deneysel değerlere daha yakındır. Anoop tarafından yapılan çalışmada, N-H gerilme titreşiminin 3379 ve 3322 cm^{-1} değerinde gözlemlendiği rapor edilmiştir [17]. HFo4M molekülü için 3360 [14] ve 3240 [15] cm^{-1} 'de rapor edilen N-H gerilme titreşimleri B3LYP yöntemi ile 3450 ve 3383 cm^{-1} olarak hesaplanmıştır. HAc4E molekülü için ise 3360 cm^{-1} [14] ve 3344 cm^{-1} [16] değerlerinde rapor edilen N-H gerilme titreşimleri B3LYP yöntemi ile 3434 ve 3419 cm^{-1} 'de hesaplanmıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda aromatik C-H bağına ait titreşim gerilmelerinin 3100-3000 cm^{-1} aralığında olduğu rapor edilmiştir [18]. HFo4M ve HAc4E molekülleri için 3100 cm^{-1} , 3156, 3104 ve 3028 cm^{-1} değerlerinde gözlenen C-H gerilme titreşimleri [16] B3LYP yöntemi kullanılarak 3081-3028 cm^{-1} aralığında hesaplanmıştır. Tablo 3 ve Tablo 4'de sunulan HFo4M ve HAc4E molekülleri için titreşim frekanslarının deneysel karılıkları ve literatür değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

III. 3. ^1H ve ^{13}C NMR Sonuçları

NMR ve hesaplamalı yöntemlerin birlikte kullanımı, büyük moleküler sistemlerin yapılarını belirlemede avantaj sağlamaktadır. HFo4M ve HAc4E molekülleri için, B3LYP/6-311++G(d,p) ve HSEH1PBE/6-311++G(d,p) yöntemleri kullanılarak hesaplanan ^1H ve ^{13}C NMR kimyasal kayma değerleri deneysel karşılıkları ile birlikte Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 5. HFo4M molekülünün B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ile hesaplanan ve deneysel ^{13}C ve ^1H NMR kimyasal kaymaları

^1H	Deneysel [19]	B3LYP	HSEH1PBE
H-C11	8.60 [19]	8.8053	8.8647
H-N3	8.50 [19]	8.3554	8.3807
H-C14	7.88 [19]	8.1311	8.2456
H-C13	7.70 [19]	7.7464	7.8482
H-C12	7.28 [19]	7.1727	7.2737
^{13}C			
C3	182.70 [19]	187.6560	183.5110
C1	154.80 [19]	162.2720	160.5300
C11	148.80 [19]	157.2390	156.6550
C2	148.50 [19]	145.2780	144.3070
C13	136.30 [19]	141.3340	141.2400
C12	123.87 [19]	127.9880	127.7090
C14	119.90 [19]	124.1690	123.8020

Tablo 6. HAc4E molekülünün B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ile hesaplanan ve deneysel ^{13}C ve ^1H NMR kimyasal kaymaları

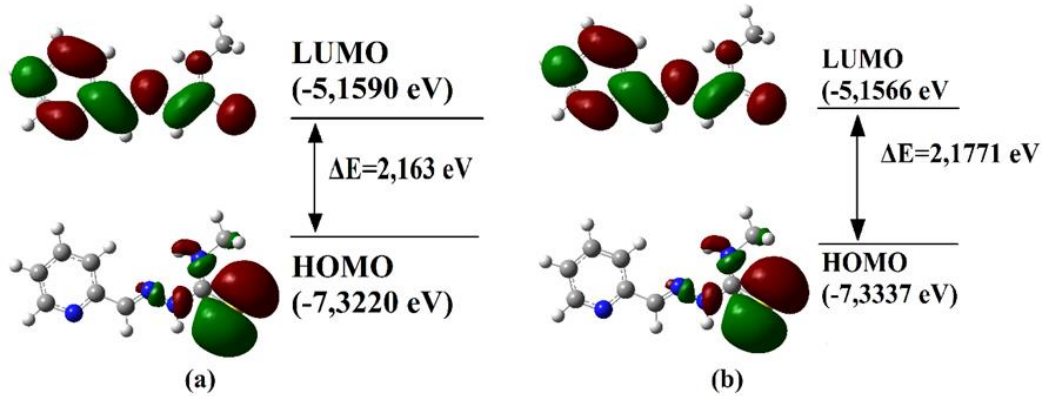
^1H	Deneysel [16]	B3LYP	HSEH1PBE
$\text{H}_{\text{N}3}$	11.6	8.3509	8.3850
$\text{H}_{\text{N}4}$	8.71	7.2425	7.3238

H _{C13}	7.51	7.7258	7.8246
HaC21	3.59	4.5591	4.6147
HbC21		3.1289	3.1279
HaC22		1.8259	1.9141
HbC22	1.15	0.9902	0.9837
HcC22		0.9584	0.9413
¹³C			
C3	177.30	186.8900	182.6930
C13	139.00	141.4510	141.3640
C12	128.10	128.2510	127.9760
C14	125.50	124.3790	124.0000
C21	38.80	43.0108	41.4267
C22	15.00	16.7979	16.4839

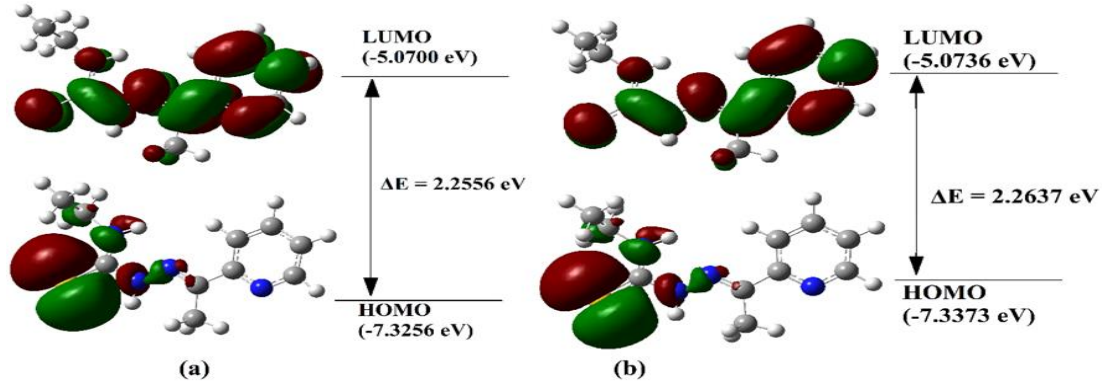
Aromatik C atomlarının 100-150 ppm aralığında NMR sinyali verdiği iyi bilinmektedir [20]. Ancak elektronegatif atomlara koordinasyon durumunda aromatik C atomlarından kaynaklanan bu NMR sinyalleri daha yüksek değerlere kayar. HFo4M molekülünde 154.80-119.90 ppm [19] aralığında rapor edilen aromatik ¹³C NMR değerleri B3LYP yöntemi kullanılarak 162.2720-124.1690 ppm aralığında hesaplanmıştır. Tablo 5 ve Tablo 6'da görüldüğü gibi, C3 atomunun 182.70 [19] ve 177.30 [16] ppm değerlerinde ¹³C NMR piki verdiği rapor edilmiştir. C3 atomu elektronegatif N ve S atomlarına koordine olduğu için NMR sinyali daha yüksek değerlere kaydığı açıkça görülmektedir. B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri deneysel değerlere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Benzer şekilde, elektronegatif atomlara bağlı olan H atomlarının da ¹H NMR sinyalleri daha yüksek değerlerde gözlenmektedir. HAC4E molekülünde N3 ve N4 atomlarına bağlı olan H atomlarının NMR sinyalleri 11.6 ve 8.71 ppm olarak rapor edilmiş [19] ve 8.3509-7.2425 ppm olarak hesaplanmıştır. HAC4E molekülü CH₂ grubu H atomları için NMR sinyalleri 4.5591-3.1289 ppm değerinde, CH₃ grubu H atomları için NMR sinyalleri ise 1.8259-0.9584 ppm aralığında literatür değerlerine uygun olarak hesaplanmıştır [18].

III. 4. Elektronik ve Doğrusal Olmayan Optik Özellikler

HFo4M ve HAC4E moleküllerinin elektronik soğurma HOMO ve LUMO enerjileri, B3LYP/6-311++G(d,p) ve HSEH1PBE/6-311++G(d,p) yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki yöntemle elde edilen sınır moleküler orbitalleri sırasıyla Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 3. HFo4M molekülünün (a) B3LYP, (b) HSEH1PBE yöntemleri ile elde edilen sınır moleküler orbitalleri.



Şekil 4. HAc4E molekülünün (a) B3LYP, (b) HSEH1PBE yöntemleri ile elde edilen sınır moleküler orbitalleri.

HFo4M ve HAc4E molekülleri için HOMO-LUMO enerji aralıklarının birbirine oldukça yakın değerde olduğu görülmektedir. Her iki yöntemle hesaplanan elektronik yapı parametreleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. HFo4M ve HAc4E moleküllerinin elektronik yapı parametreleri

Parametre	HFo4M		HAc4E	
	B3LYP	HSEH1PBE	B3LYP	HSEH1PBE
E_{HOMO} (eV)	-7.3220	-7.3337	-7.3256	-7.3220
E_{LUMO} (eV)	-5.1590	-5.1566	-5.0700	-5.0736
ΔE (eV)	2.1630	2.1771	2.2556	2.2637
η (eV)	1.0815	1.0886	1.1278	1.1319
χ (eV)	6.2405	6.2452	6.1978	6.2055
μ (eV)	-6.2405	-6.2452	-6.1978	-6.2055
S (1/eV)	0.9246	0.9186	0.8867	0.8835

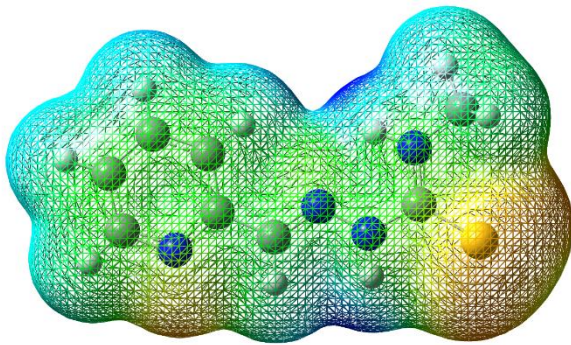
En yüksek dolu molekül orbital enerjileri (E_{HOMO}) ve en düşük boş molekül orbital enerjileri (E_{LUMO}) denge durumunda B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ve 6-311++G(d,p) temel seti kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7’de sunulmuştur. HOMO ve LUMO arasındaki enerji farkı HFo4M molekülü için 2.1630 ve 2.1771 eV, HAc4E molekülü için 2.2556 ve 2.2637 eV olarak hesaplanmıştır. Nispeten düşük olarak elde edilen HOMO-LUMO enerji aralığı molekül içinde yük geçişlerinin aktif olduğunun bir göstergesidir. B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri kullanılarak HFo4M ve HAc4E moleküllerinin doğrusal olmayan optik özellikleri de hesaplanmıştır. Elektron yoğunluğu fazla olan bölgeden az olan bölgeye doğru konjuge gruplar üzerinden gerçekleşen molekül içi yük transferleri, dipol moment (μ) ve kutuplanabilirlikte (α) artışlara neden olabilmektedirler. Yüksek mertebeli kutuplanabilirlikte (β) moleküler sistemlerin doğrusal olmayan optik özelliklerinin önemli bir ölçütü olup, herhangi bir moleküler sistemin β parametresinin yüksek olması, konjuge π sistemi boyunca elektronların hareketinden kaynaklanan molekül içi yük transferine işaret eder [22,23]. Kutuplanabilirlik değerleri için hesaplamalarda, α : 1 a.u.= $0,1482 \times 10^{-24}$ esu ve yüksek mertebeli kutuplanabilirlik değerleri β : 1 a.u.= $8,6393 \times 10^{-33}$ esu birim çevirme çarpanları kullanılmıştır.

B3LYP seviyesi ile HFo4M ve HAc4E molekülleri için dipol moment parametresi sırasıyla 5.8777 ve 5.4867 Debye olarak elde edilmiştir. Aynı seviye kullanılarak kutuplanabilirlik parametreleri ise sırasıyla 2.64×10^{-23} ve 2.9616×10^{-23} esu olarak elde edilmiştir. Statik yüksek mertebeli kutuplanabilirlik

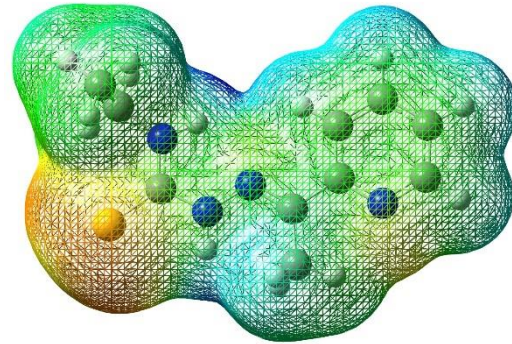
parametreleri de her iki molekül için sırayla 23.6815×10^{-30} ve 20.838×10^{-30} esu olarak elde edilmiştir. β parametrelerinin deneysel olarak ölçülemediği durumlarda, literatürde referans molekül olarak p-nitroanilin (pNA) kullanılmaktadır. pNA için elde edilen β parametresi 9.2×10^{-30} esu olarak rapor edilmiştir [21]. Bu sonuçlara göre incelenen her iki molekülün de doğrusal olmayan optik malzemeler için iyi adaylar olduğu söylenebilir. Doğrusal olmayan optik özelliklerin artmasında, moleküler yapıdaki aromatik halkalar arasındaki konjuge π bağlarının uzun olmasının etkili olabileceği düşünülmektedir.

III. 5. Moleküler Yüzey Özellikleri

Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), moleküler davranışların reaktifliği, yapı aktifliği ve hidrojen bağlarını açıklamada kullanılan bir yöntemdir [22]. Bu çalışmada HFo4M ve HAc4E molekülleri için moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) yüzey haritaları, B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ile hesaplanmış ve her iki yöntem sonuçları benzer olduklarından sadece B3LYP sonuçlarına göre 3 boyutlu moleküler elektrostatik potansiyel yüzey haritaları sırayla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. HFo4M ve HAc4E molekülleri için elektrostatik potansiyel aralıkları sırasıyla -0.05932, - 0.05932 ve -0.05709 – 0.05709 au olarak elde edilmiştir. Her iki molekülde de kükürt atomu negatif elektrostatik potansiyel yoğunluğuna sahipken, N-H, aromatik ve metil grubu hidrojen atomlarının pozitif potansiyele sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi, HFo4M ve HAc4E moleküllerinin reaktif kısımları mavi ve kırmızı renkler ile simgelenmiştir. Buna göre, her iki molekülünde N-H grubu veya S atomu üzerinden yeni etkileşimlere katılabilecekleri açıkça görülmektedir.



Şekil 5. HFo4M molekülünün B3LYP yöntemi ile elde edilen MEP yüzeyi



Şekil 6. HAc4E molekülünün B3LYP yöntemi ile elde edilen MEP yüzeyi

IV. SONUÇ

HFo4M ve HAc4E molekülleri için taban durumu geometrisi, titreşim frekansları, elektronik soğurma dalga boyları, ^1H ve ^{13}C NMR kimyasal değerleri B3LYP ve HSEH1PBE yöntemleri ile 6-311++G(d,p) temel seti kullanılarak hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalarda her iki molekül için de sırasıyla, minimum enerjili-kararlı yapılar için geometri optimizasyonu yapıldı. Hesaplanan titreşim frekanslarının titreşim modları belirlendi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı. Elektronik ve doğrusal olmayan optik özellikler için HOMO ve LUMO enerjileri ve elektronik yapı parametreleri hesaplamalarında iki yöntemde de birbirine yakın değerler elde edildi. Özellikle her iki molekül yapı için statik yüksek mertebeli kutuplanabilirlik parametreleri kayda değer olarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik hesaplama sonuçları bütün olarak değerlendirildiğinde, ulaşılabilir literatürdeki deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu ve tiyosemikarbazit içeren bu tür moleküllerin optimize geometrilerinin doğrusal olmayan optik malzeme adayı olduğu söylenebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Çobanoğlu, “Substitue tiyosemikarbazonlar ve tiyadiazollerin sentezi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Organik Kimya Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [2] M.C. Rodríguez-Argüelles, E.C. López-Silva, J. Sanmartín, P. Pelagatti and F. Zani, “Copper complexes of imidazole-2-, pyrrole-2-and indol-3-carbaldehyde thiosemicarbazones: inhibitory activity against fungi and bacteria,” *Journal of Inorganic Biochemistry*, vol. 99(11), pp. 2231-2239, 2005.
- [3] D.L. Klayman, J.F. Bartosevich, T.S. Griffin, C.J. Mason, and J.P. Scovill, “2-Acetylpyridine thiosemicarbazones. 1. A new class of potential antimalarial agents,” *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 22(7), pp. 855-862, 1979.
- [4] J.P. Scovill, D.L.Klayman, and C.F. Franchino, “2-Acetylpyridine thiosemicarbazones. 4. Complexes with transition metals as antimalarial and antileukemic agents,” *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 25(10), pp. 1261-1264, 1982.
- [5] T.S. Lobana, R. Sharma, G. Bawa, and S. Khanna, “Bonding and structure trends of thiosemicarbazone derivatives of metals—an overview,” *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 253(7-8), pp. 977-1055, 2009.
- [6] M. Baldini, M. Belicchi-Ferrari, F. Bisceglie, G. Pelosi, S. Pinelli, and P. Tarasconi, “Cu (II) complexes with heterocyclic substituted thiosemicarbazones: the case of 5-formyluracil. Synthesis, characterization, x-ray structures, DNA interaction studies, and biological activity,” *Inorganic Chemistry*, vol. 42(6), pp. 2049-2055, 2003.
- [7] M.R. Mlahi, S.J. Azhari, A.A. El-Asmy, and M.M. Mostafa, “Comparative spectroscopic and DFT calculations of binary and ternary complexes derived from 4-allyl-1-(2-hydroxybenzoyl) thiosemicarbazide (L1) and 2, 2'-dipyridyl,” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 134, pp. 465-472, 2015.
- [8] T. A. Yousef, O.A. El-Gammal, S.F. Ahmed, and G.A. Abu El-Reash, “Structural, DFT and biological studies on Co(II) complexes of semi and thiosemicarbazide ligands derived from diketo hydrazide,” *Journal of Molecular Structure*, vol. 1076, pp. 227–237, 2014.
- [9] T.S. Lobana, S. Indoria, M. Sharma, J. Nandi, A.K. Jassal, M.S. Hundal, and A. Castineiras, “Synthesis, structure and spectroscopy of mono- and di-nuclear copper (I) complexes incorporating anionic thiophene based thiosemicarbazones-first examples,” *Polyhedron*, vol. 80, pp. 34–40, 2014.
- [10] A. Castiñeiras, I. García-Santos, S. Nogueiras, I. Rodríguez-González, and R. Rodríguez-Riobó, “Supramolecular interactions in biologically relevant compounds. 2-Pyrazineformamide thiosemicarbazones and some products of their cyclization,” *Journal of Molecular Structure*, vol. 1074, pp. 1-18, 2014.
- [11] R. Dennington, T. Keith, and J. Millam, Semichem Inc. *Shawnee Mission KS, GaussView, Version 5*, 2009.
- [12] Gaussian 09, Revision A.1, M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, B. Mennucci, G. A. Petersson, H. Nakatsuji, M. Caricato, X. Li, H. P. Hratchian, A. F. Izmaylov, J. Bloino, G. Zheng, J. L. Sonnenberg, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, T. Vreven, J. A. Montgomery, Jr., J. E. Peralta, F. Ogliaro, M. Bearpark, J. J. Heyd, E. Brothers, K. N. Kudin, V. N.

Staroverov, R. Kobayashi, J. Normand, K. Raghavachari, A. Rendell, J. C. Burant, S. S. Iyengar, J. Tomasi, M. Cossi, N. Rega, J. M. Millam, M. Klene, J. E. Knox, J. B. Cross, V. Bakken, C. Adamo, J. Jaramillo, R. Gomperts, R. E. Stratmann, O. Yazyev, A. J. Austin, R. Cammi, C. Pomelli, J. W. Ochterski, R. L. Martin, K. Morokuma, V. G. Zakrzewski, G. A. Voth, P. Salvador, J. J. Dannenberg, S. Dapprich, A. D. Daniels, O. Farkas, J. B. Foresman, J. V. Ortiz, J. Cioslowski, and D. J. Fox, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2009.

[13] D.X. West, G.A. Bain, R.J. Butcher, J.P. Jasinski, Y. Li, R.Y. Pozdniakiv, and S. Hernández-Ortega, "Structural studies of three isomeric forms of heterocyclic N(4)-substituted thiosemicarbazones and two nickel (II) complexes," *Polyhedron*, vol. 15(4), pp. 665-674, 1996.

[14] H. Beraldo, R. Lima, L.R. Teixeira, A.A. Moura, and D.X. West, "Crystal structures and IR, NMR and UV spectra of 3-formyl- and 3-acetylpyridine N(4)-methylthiosemicarbazones," *Journal of Molecular Structure*, vol. 553, pp. 43-48, 2000.

[15] M. Ahmadi, J.T. Mague, A. Akbari, and R. Takjoo, "Dianion N1, N4-bis (salicylidene)-S-allyl-thiosemicarbazide complexes: synthesis, structure, spectroscopy and thermal behavior," *Polyhedron*, vol. 42(1), pp. 128-134, 2012.

[16] L.C. Dias, G.M. de Lima, C.B. Pinheiro, M.A.C. Nascimento, and R.S. Bitzer, "Molecular and supramolecular properties of nitroaromatic thiosemicarbazones: synthesis, spectroscopy, X-ray structure elucidation and DFT calculations," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1131, pp. 79-86, 2017.

[17] M.R. Anoop, P.S. Binil, S. Suma, M.R. Sudarsanakumar, Sheena Mary. Y, Hema Tresa Varghese, C. Yohannan Panicker, "Vibrational spectroscopic studies and computational study of ethyl methyl ketone thiosemicarbazone", *Journal of Molecular Structure*, vol. 969, pp.48–54, 2010.

[18] A. Pekparlak, O. Tamer, S.D. Kanmazalp, N. Berber, M. Arslan, D. Avci, N. Dege, E. Tarcan, Y. Atalay, "Crystal structure, spectroscopic (FT-IR, ¹H and ¹³C NMR) characterization and density functional theory calculations on Ethyl 2- (dichloromethyl)-4-methyl-1-phenyl-6-thioxo-1,6-dihydropyrimidine-5-carboxylate", *Journal of Molecular Structure*, vol. 1171, pp.762-770, 2018.

[19] K. Nomiya, K. Sekino, M. Ishikawa, A. Honda, M. Yokoyama, N.C. Kasuga, H. Yokoyama, S. Nakano, and K. Onodera, "Syntheses, crystal structures and antimicrobial activities of monomeric 8-coordinate, and dimeric and monomeric 7-coordinate bismuth (III) complexes with tridentate and pentadentate thiosemicarbazones and pentadentate semicarbazone ligands," *Journal of inorganic Biochemistry*, vol. 98(4), pp. 601-615, 2004.

[20] K. Pihlaja, E. Kleinpeter, "Carbon-13 Nmr Chemical Shifts in Structural and Stereochemical Analysis (Methods in Stereochemical Analysis)", New York, USA, Wiley-Blackwell, 1994, pp. 379.

[21] L.T. Cheng, W. Tam, S.H. Stevenson, G.R. Meredith, G. Rikken, S.R. Marder, "Experimental investigations of organic molecular nonlinear optical polarizabilities. 1. Methods and results on benzene and stilbene derivatives," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 95, 10631–10643, 1991.


[22] Ö. Tamer, D. Avci, and Y. Atalay, "Quantum chemical characterization of N-(2-hydroxybenzylidene) acetohydrazide (HBAH): A detailed vibrational and NLO analysis," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 117, pp. 78-86, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Asbest Söküm İşleri Risk Değerlendirmesi

 Özgen MOGAN^a,  Celal GÜNGÖR^{b,*}

^a İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

^b Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: celal.gungor@ikcu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1261328

Öz

Asbest ısı ve elektrik iletkenliği düşük, fiziksel ve kimyasal etkenlere direnci yüksek bir malzeme olduğu için geçmişte inşaat, kimya, petrol, lastik ve plastik, otomotiv ve enerji sektörü gibi birçok alanda kullanılmıştır. Başta asbestozis ve malign plevral mezotelyoma olmak üzere pek çok sağlık sorununa neden olduğu anlaşıldıktan sonra kullanımını yasaklayıcı yasal düzenlemeler yapılmıştır. Fakat geçmişteki yoğun kullanımı nedeniyle günümüzde halen birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Asbestin uygun şekilde sökülmesi ve uzaklaştırılması oldukça önem taşımaktadır. Ülkemizde, çalışanların asbest söküm, yıkım, tamir, bakım, uzaklaştırma çalışmalarında asbest tozuna maruziyetlerinin önlenmesi ve bu maruziyetten doğacak sağlık risklerinden korunması, sınır değerlerin ve diğer özel önlemlerin belirlenmesi amacıyla *Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik* yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, asbest tozuna maruziyet riski bulunan çalışmalarda işverenin risk değerlendirmesi yapmakla yükümlü olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada, L-Tipi Matris yöntemi kullanılarak konutlarda, işyerlerinde, enerji santrallerinde, maden ocaklarında ve benzeri çalışma alanlarında asbest söküm işlerinde karşılaşılabilecek risklerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda karantina kurulumu ve sökümü, asbest sökümü, söküm sonrası hijyen faaliyetleri, atıkların paketlenmesi ve istiflenmesi işleri yüksek riskli işler olarak belirlenmiştir. Söküm sırasında asbest liflerinin çevreye yayılmasını önlemek amacıyla naylon örtü ile tam sızdırmaz tecrit oluşturulmalı ve uygun sağlık ve güvenlik işaretleri yerleştirilmelidir. Asbest söküm işlerinde çalışanların P3 partikül filtreli tam-yüz veya yarım-yüz maske, Kategori III tip 5/6 tek kullanımlık tulum, iş eldiveni ve iş ayakkabısı gibi uygun kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımı sağlanmalıdır. KKD kullanımı ve bakımı konularında çalışanlara eğitim verilmesi ayrıca önemlidir. Asbestli atıklar uygun kalınlıkta çift kat naylonla konularak ağızları sıkıca kapatılmalı veya uygun daha büyük naylon torbalara konulmalıdır. Üzerlerine asbestli atık olduğunu bildiren işaretlemeler yapıştırılmalıdır. Atıklar çalışma alanı içinde yaşam mahalline uzak bir yerde geçici depolanmalı ve mümkün olan en kısa sürede lisanslı araçlarla lisanslı atık bertaraf tesisine sevk edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Asbest, İş sağlığı ve güvenliği, Risk değerlendirme

Risk Assessment in Asbestos Removal Works

ABSTRACT

Asbestos has been widely used in various fields such as construction, chemistry, petroleum, rubber and plastic, automotive, and energy industries in the past, as it is a material with low thermal and electrical conductivity and high resistance to physical and chemical factors. However, after it was understood that it causes many health problems, including asbestosis and malignant pleural mesothelioma, legal regulations prohibiting its use have been implemented. However, due to its extensive past usage, it still persists in many areas today. Proper removal and disposal of asbestos are of great importance. In Turkey, the Regulation on Health and Safety Measures in Asbestos

Work has been enacted to prevent workers' exposure to asbestos dust and protect them from health risks associated with such exposure, as well as to determine limit values and other specific measures. The regulation specifies that employers are obligated to perform risk assessments in workplaces where there is a risk of exposure to asbestos dust. In this study, the risks that may be encountered in asbestos removal works in residential buildings, workplaces, power plants, mines, and similar work areas were assessed using the L-Type Matrix method. As a result of the assessment, quarantine setup and removal, asbestos removal, post-removal hygiene activities, and packaging and stacking of waste were identified as high-risk tasks. During removal, a fully airtight isolation with nylon coverings should be created to prevent the spread of asbestos fibers into the environment, and appropriate health and safety signs should be placed. Workers involved in asbestos removal should use suitable personal protective equipment (PPE) such as full-face or half-face masks with P3 particle filters, Category III Type 5/6 disposable coveralls, work gloves, and safety shoes. It is also important to provide training to employees on the use and maintenance of PPE. Asbestos waste should be securely enclosed in double-layered nylon bags of appropriate thickness or placed in larger nylon bags. They should be labeled to indicate the presence of asbestos waste. The waste should be temporarily stored in an area far from living quarters within the workspace and promptly transported to a licensed waste disposal facility using licensed vehicles.

Keywords: Asbestos, Occupational health and safety, Risk assessment

I. GİRİŞ

Asbest, lif demetleri olarak çevrede doğal olarak bulunan altı minerale verilen isimdir [1]. Bunlar aktinolit asbest, antofilit asbest, grünerit asbest (amosit), krizotil, krosidolit ve tremolit asbesttir. Krizotil serpantin grubu asbest minerali, diğerleri ise amfibol grubu asbest mineralleridir [1]. Asbest mineralleri, molekül yapısında silisyum ve oksijen içeren silikat bileşikleridir. Şekil 1’de X-Ray analizörlü enerji dağılımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) ile elde edilen asbest türlerinin lif yapıları, kimyasal formülleri ve kompozisyonları detaylı görülebilir. Isı ve elektrik iletkenliği düşük, fiziksel ve kimyasal etkenlere direnci yüksek bir malzeme olduğundan birçok ticari ve endüstriyel alanda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır [2], [3]. İnşaatlarda yalıtım malzemesi olarak, petrokimya ve enerji endüstrisinde ısı yalıtım malzemesi olarak, ısıya dirençli olduğundan gemi inşasında ve endüstriyel malzeme (conta vb.) yapımında, lifli yapısından dolayı filtrelerde, ısı direncinden dolayı otomotiv sektöründe (balata vb.) ve hatta tekstil ürünlerinde asbestli ürünler görülmektedir [2]–[5].

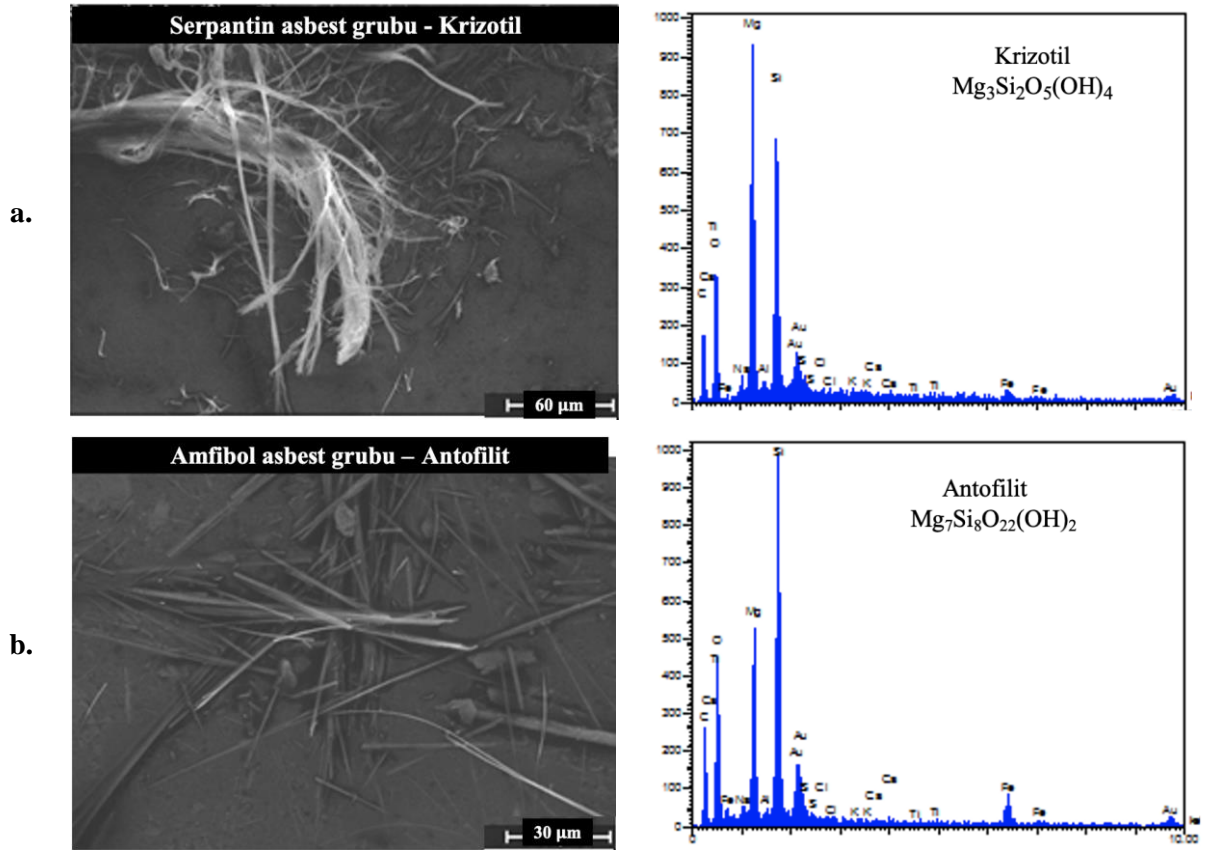
Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı (IARC), kanserojen maddeler listesindeki asbesti, “kesin kanserojen” tanımlanması ile birinci grupta sınıflandırmaktadır [6]. Bu grupta yer alması, asbestin insanlarda kansere neden olabileceği sonucuna varmak için yeterli kanıtının bulunduğu anlamına gelmektedir. Asbestin başta malign plevral mezotelyoma [7], asbestozis, ve diğer malign olmayan akciğer ve plevral hastalıklar (plevral plaklar, plevral kalınlaşmalar ve benign plevral efüzyonlar) olmak üzere pek çok sağlık sorununa neden olduğu [7], [8] anlaşıldıktan sonra asbest kullanımını yasaklayıcı yasal düzenlemeler yapılmıştır [9]. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde asbest yasaklamaları veya düzenlemeleri incelendiğinde 1973’den sonra çeşitli yasaklamaların başladığını görmekteyiz [10]. Avrupa Komisyonu’nun 1999’da yayınladığı direktifle [11] Avrupa Birliği ülkelerinde asbest liflerinin veya liflerinden üretilen ürünlerin kullanımı ve pazarlanması yasaklanmıştır. Ancak yasak tam anlamıyla 2005 tarihinde direktifin tüm üye ülkeler için yürürlüğe girmesi ile başlamıştır. Buna ek olarak, 2003 yılında yayınlanan başka bir direktif (2003/18/EC) ile asbest çıkarılması ve asbest ürünlerinin imalatı ve işlenmesi yasaklanmıştır. Ülkemizde daha öncesinde asbestle çalışmalar veya asbestin kullanılması konusunda çeşitli düzenlemeler olsa da 2013 yılında *Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik* [12] ile asbestin her türünün çıkarılması, işlenmesi, satılması ve ithalatı, asbest içeren her türlü ürünün ithalatı ve satılması, asbest ürünlerinin veya asbest ilave edilmiş ürünlerin üretimi ve işlenmesi yasaklanmıştır.

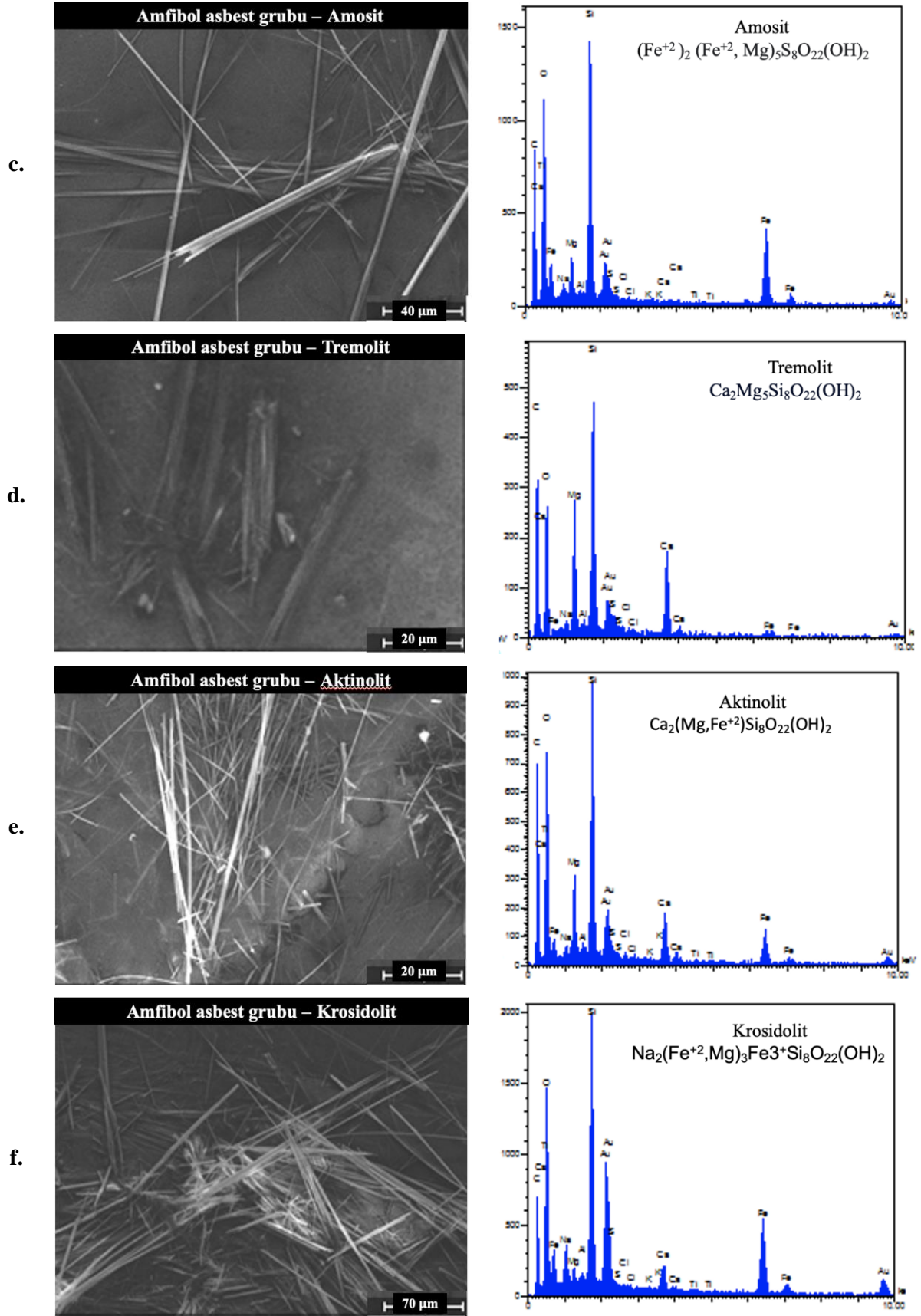
Yasaklanmadan önce kullanılmış ve halen mevcut olan asbestin temizlenmesi ve bertaraf edilmesi gerekmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK) ve İngiliz Jeoloji Araştırmaları Kurumu (British Geological Survey World Mineral Statistics, BGS-WMS) verilerinden 1930-2010 yılları arası Türkiye’de yaklaşık 1,2 milyon ton asbest kullanıldığı hesaplanmaktadır [13]. Bu yoğun kullanım

nedeniyle asbest günümüzde halen pek çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Çeşitli araştırmacılar tarafından yurt dışındaki mevzuatlar incelendikten sonra Türkiye'deki mevzuata eklenmesi gereken konuların olduğu [14], [15] ve inşaat sektörü gibi sektörlere özgü asbest mevzuatının olması gerektiği sonucuna varılmıştır [3].

Asbest söküm işlerinde hijyen oldukça önemlidir. Hijyen tesisi genelde üç odadan oluşur. Birinci oda kirli odadır. Söküm bittikten sonra asbest söküm çalışanı buraya gelerek yüzündeki maske hariç tüm Kişisel koruyucu donanımlarını (KKD) çıkartarak asbest atık poşetine koyar. İkinci oda ise duş odasıdır. Çalışan burada önce maskesini sonra vücudunu yıkayarak asbest liflerinden kendisini arındırır. Sonrasında maskesini çıkarır ve filtrelerini asbest atık poşetine koyar. Üçüncü oda ise temiz odadır ve çalışan burada temiz kıyafetlerini giyerek çalışma alanını terk eder. Bu işlemler her molada tekrarlanır. Hijyen tesisi her gün temizlenir. Hijyen tesisinin temizliği de asbest söküm çalışmasının bir parçasıdır ve KKD kullanımı zorunludur.

Asbest söküm işlerinde asbest liflerinin akciğerlere girmesi neticesinde hem çevrede bulunanların hem de çalışanların akciğer kanseri başta olmak üzere pek çok sağlık sorununun yaşanması muhtemel olduğundan asbest söküm işlerinde tehlikelerin tespit edilmesi ve bunların kontrol altına alınması oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada, konutlarda, işyerlerinde, enerji santrallerinde, maden ocaklarında ve benzeri çalışma alanlarında asbest söküm işlerinde karşılaşılabilecek risklerin değerlendirilmesi gerçekleştirilerek tehlikeler ve bu tehlikelere ait risk dereceleri tespit edilmiş ve ayrıca çeşitli kontrol önlemleri önerilmiştir.





Şekil 1. Asbest türlerinin lif yapıları, kimyasal yapıları ve kompozisyonları [16]
 (a. Krizotil, b. Antofilit, c. Amosit, d. Tremolit, e. Aktinolit, f. Krosidolit)

II. YÖNTEM

Bu çalışmada, L-Tipi Matris yöntemi kullanılarak asbest sökülme çalışmaları sırasında karşılaşılabilecek tehlikeler/riskler değerlendirilmiştir. L-Tipi Matris yöntemi tekstil [17]–[19], metal [20], inşaat [21], lojistik [22], maden [23], ve sağlık [24] gibi birçok sektörde kullanılan bir yöntemdir. Diğer risk değerlendirme tekniklerine göre kısmen daha kolay olan bu yöntemde değerlendirmeyi gerçekleştirenlerin bilgi ve tecrübesi değerlendirme başarısı üzerine etkilidir [25]. Tespit edilen tehlikenin istenmeyen bir sonuca neden olma olasılığı ve gerçekleşmesi halinde şiddet düzeyi değerlendirilir ve puanlanır. Risk değerlendirmesinden kullanılan olasılık ve şiddet puanları ve anlamları Tablo 1 ve Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Olasılık puanları ve anlamları [19]

Olasılık	Puan	Anlamı
Çok küçük	1	Hemen hemen hiç
Küçük	2	Çok az (yılda bir kez)
Orta	3	Az (yılda birkaç kez)
Yüksek	4	Sıklıkla (ayda bir kez)
Çok yüksek	5	Çok sıklıkla (haftada bir kez veya daha sık)

Tablo 2. Şiddet puanları ve anlamları [19]

Şiddet	Puan	Anlamı
Çok hafif	1	İş saati kaybı yok, ilk yardım gerektirir
Hafif	2	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi
Orta	3	Hafif yaralanma, yatarak tedavi
Ciddi	4	Uzun süreli yaralanma, meslek hastalığı
Çok ciddi	5	Sürekli iş görmezlik, ölüm

Bir olayın gerçekleşme olasılık derecesi (O) ve bu olayın gerçekleştiği takdirde zarar veya şiddet derecesi (Ş) çarpılarak risk puanı (R) elde edilir (Eş. 1).

$$\text{Risk Puanı} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \quad (1)$$

Olasılık ve şiddetin çarpımı ile elde edilen risk puanı, risk puan matrisi (Tablo 3) yardımıyla tespit edilir. Tablo 4 kullanılarak risk sokurundan riskin derecesi ve anlamı tespit edilir. Tablo 3 ve Tablo 4, Güngör ve Coşkun [19]’un çalışmalarında kullandıkları puan matrisleri ve puan risk derecelerinin dört kategoriden üç kategoriye indirilmiş halleridir.

Tablo 3. Risk puan matrisi

		Şiddet				
		1 Çok Hafif	2 Hafif	3 Orta	4 Ciddi	5 Çok Ciddi
Olasılık	1 Çok Küçük	1 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
	2 Küçük	2 Düşük	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
	3 Orta	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Orta
	4 Yüksek	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Orta	20 Yüksek
	5 Çok Yüksek	5 Düşük	10 Orta	15 Orta	20 Yüksek	25 Yüksek

Tablo 4. Risk puanlarının derecesi

Risk Puanı	Risk Derecesi	Açıklama
20-25	Yüksek	Hemen iş sağlığı ve güvenliği (İSG) programı oluşturulmalı, risk derecesi düşürülene kadar geçici önlemler alınabilir ancak mutlaka kalıcı önlemler araştırılıp uygulanmalıdır. Risk derecesi düşürülemezse iş başlatılmamalıdır.
8-16	Orta	Riski düşürücü uğraş verilmeli fakat önleme maliyetinin, ölçülü ve sınırlı olmasına dikkat edilmelidir. Risk azaltma önlemleri belirli zamanlara yayılmalı, kontrol önlemlerini geliştirmek için olasılık tayin metotları geliştirmelidir.
1-6	Düşük	Ek önlemlere ihtiyaç şimdilik yoktur. Daha iyi bir etki-maliyet çözümü veya ek maliyet yükü getirmeyen gelişmeler olabilir. Kontrol önlemlerin sürdürülmesi için denetime ihtiyaç vardır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Asbest söküm işleri süreçleri için risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Risk değerlendirmesinde pek çok tehlikenin varlığı tespit edilmiştir ancak bu tehlikelerden sadece asbest söküm işleri ile ilgili olanları bu çalışmada raporlanmıştır. Örneğin, değerlendirmelerde kaygan zemin tehlikesi gözlemlenmiş ancak bu tehlike sadece asbest söküm işlerine özgü olmadığı için burada raporlanmamıştır. Ayrıca düşük risk seviyesindeki tehlikeler burada raporlanmamaktadır. Raporlanmamış olması düşük risk seviyesine sahip tehlikelerin olmadığı anlamına gelmemelidir. Aksine standart bir risk değerlendirmesinde tehlikelerin çok büyük bir oranının düşük risk seviyesinde olması beklenmektedir.

Bu çalışmada tehlikeler ve etkileri değerlendirilerek risk dereceleri (risk puanları ile birlikte) hesaplanmıştır. Tehlikeyi önlemek veya riski en düşük dereceye indirmek için düzenleyici ve önleyici faaliyetler tartışılmış ve kontrol önlem faaliyetlerinin uygulanması neticesinde ortaya çıkacak yeni (revize) risk puanı sunulmuştur. Risk değerlendirmesi sonucu tespit edilen tehlikeler Tablo 5’de sunulmakta ve detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

Tablo 5. Asbest söküm işleri risk değerlendirmesi

No	Tehlike	Olası Etkileri	Risk Analizi			Düzenleyici ve önleyici faaliyetler	Revize Risk Analizi		
			Olasılık	Şiddet	Risk Puanı		Olasılık	Şiddet	Risk Puanı
1	Çalışma alanına yetkisiz kişilerin girmesi sonucu asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	3	5	15	- Yetkisiz personelin çalışma alanına girişi engellenme adına çalışma alanına emniyet şeridi çekilmeli ve uyarı levhaları asılmalıdır.	2	5	10
2	Mesleki yeterliliği bulunmayan personel çalıştırılması sonucu asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	3	5	15	- Asbest söküm çalışmalarında <i>Asbest Söküm Çalışma Sertifikası</i> bulunmayan personel çalıştırılmamalıdır. - Yetki ve sorumluluklara bağlı bir iş bölümü oluşturulmalıdır.	2	3	6
3	Asbest söküm çalışanlarına gerekli eğitimin verilmemesi sonucu asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	3	5	15	- Asbest sökümünde çalışacak personele sağlık riskleri, yasal sınır değerleri, ortam ölçümleri, sigara kullanılmaması, hijyen kuralları, kişisel koruyucu donanımlar (KKD) kullanımı, asbestli atıkların depolanması ve nakliyesi hakkında eğitimler verilmelidir.	2	5	10
4	Diğer çalışanlara gerekli eğitimin verilmemesi sonucu asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	3	5	15	- Söküm yapılan alanda ve yakınlarında çalışan veya çalışacak diğer çalışanlara asbestin neden olabileceği sağlık riskleri ve KKD kullanımı hakkında eğitim verilmelidir.	2	3	6
5	Karantina kurulumu ve sökümü sırasında asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	5	5	25	- Karantina kurulumunda 200 µ kalınlığında naylon örtü kullanılmalıdır. - Karantina, dış ortam ile tam sızdırmazlık sağlayacak şekilde güçlü bant (gri bant) yardımıyla kapatılmalıdır. - Karantina içi basıncın 20 Pa olması sağlanmalıdır (özel durumlarda 10 Pa olabilir). - Çalışma boyunca üç odalı (beyaz oda, kirli oda ve duş) mobil hijyen tesisi aracı kullanılmalıdır. - Koruyucu elbiseler ile çalışanlara ait elbiseler ayrı yerlerde bulundurulmalıdır.	2	5	10
6	Kişisel koruyucu donanımların (KKD) kullanmama sonucu asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	5	5	25	- Çalışanlara uygun kişisel koruyucu donanımlar sağlanmalıdır. - KKD kullanımı, bakımı ve bertaraf konularında gerekli eğitimler verilmelidir.	2	5	10
7	Sağlık gözetiminin yapılmaması	Meslek hastalıklarının tespit edilememesi	4	5	20	- Çalışanların işe ilk girişlerde ve sonrasında yılda en az bir kez sağlık muayenesinden geçirilerek işin niteliğine ve şartlarına göre bedence elverişli ve dayanıklı olduklarının hekim raporu ile saptanması gerekir.	2	5	10

Tablo 5 - Devamı. Asbest söküm işleri risk değerlendirmesi

No	Tehlike	Olası Etkileri	Risk Analizi			Düzenleyici ve önleyici faaliyetler	Revize Risk Analizi		
			Olasılık	Şiddet	Risk Puanı		Olasılık	Şiddet	Risk Puanı
8	Kapalı çalışma alanları	Havasız ortama veya zehirli gazlara maruz kalma, patlama ve yangın neticesinde yaralanma, iş günü kaybı, iş göremezlik veya ölüm	4	5	20	<ul style="list-style-type: none"> - Kapalı alan çevresinde gaz ölçümü yapılmalıdır. - Çevredeki yangın hat ve musluklar acil durumlar için hazır bulundurulmalıdır. - Çalışılan bölgede en az iki adet uygun hacimli yangın söndürücü cihaz (CO₂ içerikli) bulundurulmalıdır. - Uygun KKD kullanımı sağlanmalıdır. - Çalışanlara kapalı alanlarda güvenli çalışma eğitimi ve acil durum eğitimi verilmelidir. - Yeterli aydınlatma sağlanmalıdır. - Elektrikli cihazların izoleleri kontrol edilmeli ve kapalı alan içinde ve çevresinde 24-42 volt düşük gerilim dışında hiçbir elektrik cihazının kullanılmaması sağlanmalıdır. - Kapalı alanda herhangi bir işlem yapmadan önce diğer hatlar ile olan bağlantıların kesildiğinden emin olunmalıdır. - Her zaman yetkili İSG personelinden "emin giriş izni" alınmalıdır. 	2	5	10
9	Hijyen önlemlerinin alınmaması sonucu asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	5	5	25	<ul style="list-style-type: none"> - Söküm sonrasında çalışanlar karantina içerisinde iş tulumlarını değiştirdikten sonra (transfer tulumları ile) duş aracına gitmeleri gerekir. - Kirli odada maske hariç tüm iş güvenlik ekipmanları çıkartılmalı ve tüm bu ekipmanlar asbestli atık olarak atılmalıdır. - Duş odasında sadece maske ile duş alınmalıdır. - Duş alındıktan sonra temiz odada temiz elbiseler giyilmelidir. 	3	5	15
10	Asbest atıklarının paketlenme işlemi sırasında asbest maruziyeti	Asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	5	5	25	<ul style="list-style-type: none"> - Bu bağlamda, asbestli atıklar en az 100 µ kalınlığında çift kat naylona konularak güçlü bant (gri bant) ile bantlanmalı veya naylonlu büyük çuvalara (big-bag çuval) konulmalıdır. - Üzerlerine asbestli atık olduğunu bildiren işaretler yapılmalıdır. - Kullanılan aletler ve malzemeler temizlenmeli eğer temizlenemiyorsa (fırça, bez vb.) asbestle birlikte imha edilmelidir. 	4	4	16
11	Düzensiz depolama sonucu asbest maruziyeti	İş kazası ve asbest maruziyetine bağlı rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm	5	5	25	<ul style="list-style-type: none"> - Atıklar istiflenirken yükseklikleri 3 m'yi aşmamalıdır. Limitler konusunda çalışanlara eğitimler verilmelidir. Uyarıcı işaretler yerleştirilmelidir. - Atıklar, çalışma alanı içinde yaşam mahalline uzak bir yerde geçici depolanmalı ve mümkün olan en kısa sürede atık/asbest taşıma lisanslı araçlarla yine lisanslı tesislere sevk edilmelidir. 	4	4	16

Çalışma alanına yetkisiz kişilerin girmesi sonucu asbest maruziyetine bağlı olarak çeşitli rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm meydana gelebilir. Bu tehlike 15 risk puanı (Olasılık: 3 × Şiddet: 5) olarak orta dereceli risk olarak değerlendirilebilir. Çalışma alanına emniyet şeridi çekilmesi ve uyarı levhalarının asılması ile yetkisiz personelin çalışma alanına girişi engellenebilir. Bu düzenleyici ve önleyici faaliyet sonrası risk puanı 10'a (Olasılık: 2 × Şiddet: 5) düşürülebilir.

Mesleki yeterliliği bulunmayan personel çalıştırılması sonucu asbest maruziyetine bağlı çeşitli rahatsızlıklar, meslek hastalığı veya ölüm meydana gelebilir. Bu tehlike 15 risk puanı (Olasılık: 3 × Şiddet: 5) olarak orta dereceli risk olarak değerlendirilmiştir. Asbest söküm çalışmalarında *Asbest Söküm Çalışma Sertifikası* bulunmayan personel çalıştırılmayarak ve yetki ve sorumluluklara bağlı bir iş bölümü oluşturularak bu tehlike kontrol altına alınabilir. Bu düzenleyici ve önleyici faaliyetler sonrası

risk puanının 6 puana (Olasılık: $2 \times$ Şiddet: 3) düşmesi öngörülmektedir. Bu müdahale ile risk düşük dereceli risk kategorisine alınır.

Asbest sökülme çalışanlarına gerekli eğitimin verilmemesi sonucu asbest maruziyetine bağlı olarak çalışanlar bilinçsizce asbeste maruz kalabilir ve maruziyetin şiddeti, şekli ve süresine bağlı olarak çeşitli meslek hastalıkları (asbestoz mezotelyoma, akciğer kanseri, mide-bağırsak kanseri) meydana gelebilir. Bu tehlike 15 risk puanı (Olasılık: $3 \times$ Şiddet: 5) olarak orta dereceli risk olarak değerlendirilmiştir. Asbest sökülmesinde çalışacak tüm personele gerekli eğitimler verilmelidir. Bu eğitimler sağlık riskleri, yasal sınır değerleri, hava ölçümleri, gerekli hijyen kuralları, KKD kullanımı, gerekli önlemler, asbestli atıkların depolanması ve nakliyesi konularını kapsamalıdır. Eğitimlerin verilmesi neticesinde çalışanların maruz kalabileceği riskin olasılığı düşeceği için risk puanı düşecektir (Risk Puanı: $10 =$ Olasılık: $2 \times$ Şiddet: 5).

Diğer çalışanlara gerekli eğitimin verilmemesi çalışanların asbest liflerine maruz kalabilmesi sonucunu doğurabilir, bu da çeşitli sağlık problemleri, meslek hastalıkları veya ölüm gibi istenmeyen sonuçlar ortaya çıkarabilir. Asbest sökülme işlerinde çalışanlar haricindeki diğer çalışanlara da asbest konusunda eğitim verilmesi gerekir. Sökülme yapılan alanda ve yakınlarında çalışan veya çalışacak diğer çalışanlara asbestin neden olabileceği sağlık riskleri ve KKD kullanımı hakkında eğitimler verilmelidir. Bu eğitimler 15 risk puanını (Olasılık: $3 \times$ Şiddet: 5) 6 risk puanına (Olasılık: $2 \times$ Şiddet: 3) düşürerek riski orta dereceden düşük dereceye çekebilir.

Karantina kurulumu ve sökülme esnasında asbest liflerine maruziyet oldukça yoğun olmaktadır ve bu da asbestoz mezotelyoma, akciğer kanseri ve mide-bağırsak kanseri gibi meslek hastalıklarına veya ölümlere neden olabilmektedir. Bu tehlike, bu çalışmada 25 risk puanı (Olasılık: $5 \times$ Şiddet: 5) olarak yüksek dereceli risk olarak değerlendirilmiştir. Maruziyeti azaltmak için karantina kurulumunda 200 µ kalınlığında naylon örtü kullanılmalı ve karantina dış ortamı ile tam sızdırmazlığını sağlayacak şekilde güçlü bant (gri bant) yardımıyla kapatılmalı, karantina içi basıncın 20 Pa olması sağlanmalı (özel durumlarda 10 Pa olabilir), çalışma boyunca üç odalı (beyaz oda, kirli oda ve duş) mobil hijyen tesisi aracı kullanılmalı, koruyucu elbiseler ile çalışanlara ait elbiseler ayrı yerlerde bulundurulmalıdır. Bu koruyucu ve önleyici önlemler risk seviyesini orta seviyeye çekebilir (Risk Puanı: $10 =$ Olasılık: $2 \times$ Şiddet: 5).

Kişisel koruyucu donanımların (KKD) kullanılmaması sonucu asbest maruziyetine bağlı olarak çalışanlar asbest sökülme işlerinde asbest liflerine maruz kalabilir ve bu da meslek hastalıkları veya ölüme sebep olabilir (yüksek Risk Puanı: $25 =$ Olasılık: $5 \times$ Şiddet: 5). Çalışanların karşı karşıya kaldıkları tehlikelere uygun KKD'lerin sağlanması (EN 388 eldiven, EN 345-S3 koruyucu ayakkabı ve/veya S4 çelik burunlu çizme, EN 352-2 kulaklık, EN 361 paraşüt tipi emniyet kemeri, EN 149 FFP3 toz maskesi, Kategori III tip 5/6 tek kullanımlık iş kıyafeti (tulular), pozitif basınçlı P3 partikül filtreli tam-yüz veya yarım-yüz maskesi) gerekir. Ayrıca bu donanımların kullanımı, bakımı ve kullanım süresi sonunda bertaraf edilmesi konularında gerekli eğitimler verilmelidir. Eğitimlerin de kapsandığı koruyucu ve önleyici faaliyetler risk derecesini orta dereceye (Risk Puanı: $10 =$ Olasılık: $2 \times$ Şiddet: 5) düşürebilir.

Sağlık gözetiminin yapılmaması sonucu asbest maruziyeti tehlikesi ayrıca önemlidir. Asbest sökülmesinde çalışacakların sağlık durumunun işe uygun olması gerekir. Çalışanların gerek işe ilk girişlerinde ve gerekse çalıştıkları süre boyunca sağlık gözetimlerinin aksatılmadan yapılması gerekir. Sağlık gözetiminin yapılmaması asbest maruziyeti sonucunda oluşabilecek meslek hastalıklarının tespit edilememesine sebep olabilir (yüksek Risk Puanı: $20 =$ Olasılık: $4 \times$ Şiddet: 5). İşe ilk girişlerde ve sonrasında yılda en az bir kez olmak üzere sağlık muayenesinden geçirilerek çalışanların işin niteliğine ve şartlarına göre bedence elverişli ve dayanıklı olduklarının hekim raporu ile saptanması gerekir. Bu düzenleyici ve önleyici faaliyetlerle risk derecesi orta dereceye (Risk Puanı: $10 =$ Olasılık: $2 \times$ Şiddet: 5) çekilebilir.

Asbest sökülme esnasında çalışma alanlarının kapalı olması sonucu asbest maruziyeti tehlikesi çalışanların havasız ortama veya zehirli gazlara maruz kalmasına neden olabilir. Uygun şekilde havalandırılmayan ortamlarda patlama ve yangın riski de yüksektir. Bu durumlar yaralanmaya, iş günü kaybına, iş göremezliğe veya ölüme neden olabilir. İçinde çalışılacak kapalı alanların çalışma geçitleri açıldıktan sonra yetkili İSG görevlisi ile kapalı alan çevresinde gaz ölçümü yapılmalı, çevredeki yangın

hat ve musluklar acil durumlar için hazır bulundurulmalı, çalışılan bölgede en az iki adet uygun hacimli yangın söndürücü cihaz (CO₂ içerikli) bulundurulmalı, kapalı alan içinde çalışacak personelin içerideki kimyasallardan etkilenmeyecek şekilde uygun KKD kullanması sağlanmalı, kapalı alanlarda çalışacak tüm personele kapalı alanlarda güvenli çalışma eğitimi ve acil durum eğitimi verilmeli, kapalı alan içerisinde düşme ve takılma gibi riskleri engellemek için yeterli aydınlatma sağlanmalı, elektrikli cihazların izolelerinin kontrol edilmesi ve kapalı alan içinde ve çevresinde 24-42 volt düşük gerilim dışında hiçbir elektrik cihazının kullanılmaması sağlanmalı, kapalı alanda herhangi bir işlem yapmadan önce diğer hatlar ile olan bağlantıların kesildiğinden emin olunmalı, her zaman yetkili İSG personelinden “emin giriş izni” alınmalıdır. Bu düzenleyici ve önleyici faaliyetler sonrasında yüksek risk puanı (Risk Puanı: 20 = Olasılık: 4 × Şiddet: 5) daha düşük dereceye (orta Risk Puanı: 10 = Olasılık: 2 × Şiddet: 5) çekilebilir.

Hijyen önlemlerinin alınmaması sonucunda asbest maruziyeti tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Hijyen, asbest lifleri ile çalışanlar için oldukça önemlidir. Söküm sonrasında çalışanlar karantina içerisinde iş tulumlarını değiştirdikten sonra (transfer tulumu ile) duş aracına gitmeleri gerekir. Kirli odada maske hariç tüm iş güvenlik ekipmanları (çizme, eldiven, tek kullanımlık tulum çıkartılmalı ve tüm bu ekipmanlar asbestli atık olarak atılmalıdır. Duş odasında sadece maske ile duş alınmalıdır. Duş alındıktan sonra temiz odada temiz elbiseler giyilmelidir. Bu düzenleyici ve koruyucu hijyen önlemlerinin alınmaması sonucu asbest liflerine maruziyet artmakta ve asbestoz mezotelyoma, akciğer kanseri ve mide-bağırsak kanseri gibi hastalıkların görülme sıklığı artmaktadır. Ayrıca asbest liflerinin evlere taşınması da olasıdır. Hijyen önlemlerinin alınmaması yüksek puanlı (25 Risk Puanı = Olasılık: 5 × Şiddet: 5) risk derecesinden düzenleyici ve önleyici faaliyetler sonucunda orta dereceli riske düşürülebilir (15 Risk Puanı = Olasılık: 3 × Şiddet: 5).

Asbest atıkların paketlenmesi işlemi sırasında asbest maruziyeti dikkat edilmesi gereken bir konudur. Aksi takdirde asbest liflerine maruziyet sonucu çeşitli sağlık sorunlarıyla karşılaşılabilir. Atık paketlenmesi sırasında maruziyet olasılığı çok yüksek (5 Puan) ve maruziyet şiddeti yine çok yüksek (5 Puan) olarak değerlendirilebilir; böylece atık paketlenme işlemi yüksek riskli (25 Puan) bir iş olarak kabul edilir ve tehlikeyi önlemek için bir an önce koruyucu ve önleyici önlemler alınması gerekir. Bu bağlamda, asbestli atıklar en az 100 µ kalınlığında çift kat naylona konularak güçlü bant (gri bant) ile bantlanmalı veya naylonlu büyük çuvallara konulmalıdır. Üzerlerine asbestli atık olduğunu bildiren işaretler yapıştırılmalıdır. Kullanılan aletlerden temizlenebilenler temizlenerek tekrar kullanılabilir. Eğer malzemeler temizlenemiyorsa (fırça, bez vb.) asbestli olarak nitelendirilmeli ve toplanan asbestle birlikte imha edilmelidir. Bu kontrol müdahaleleri maruziyet olasılığını (4 Puan) ve şiddetini (4 Puan) azaltarak riski yüksek dereceden orta dereceye (16 Risk Puanı) düşürülebilir.

Atıkların istiflenmesi sırasında görülen düzensiz depolama ile karşılaşılan asbest maruziyeti neticesinde çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. İstifleme sorunları, karşılaşma olasılığı çok yüksek (5 Puan) ve etkileri çok üst düzeyde (5 Puan) olduğu için 25 Risk Puanı ile yüksek risk olarak değerlendirilir. Atıklar istiflenirken yüksekliklerinin 3 m'yi aşmamasına dikkat edilmelidir. Bu limitlerin aşılması için çalışanlara eğitimler verilmelidir. Ayrıca istif limitleri hakkında uyarıcı işaretler yerleştirilmelidir. Atıklar, çalışma alanı içinde yaşam mahalline uzak bir yerde geçici depolanmalı ve mümkün olan en kısa sürede atık/asbest taşıma lisanslı araçlarla yine lisanslı tesislere sevk edilmelidir. Düzenleyici ve önleyici bu faaliyetler neticesinde risk derecesi orta dereceye indirilebilir (16 Risk Puanı = Olasılık: 4 × Şiddet: 4).

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değerlendirme kapsamında on bir tehlike incelenmiş ve risk kategorilerine göre 20-25 puan aralığında yedi tehlike (asbest lifleri, asbest atıkları, düzensiz depolama ve istifleme, kişisel koruyucu donanım kullanılmaması, kapalı alan) tespit edilerek yüksek risk kategorisinde ve 8-16 puan aralığında dört tehlike tespit edilerek orta risk kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında on bir tehlike harici pek çok tehlike için risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin, çalışma alanlarının zemin

özellikleri, iskele boyutları, gürültü ve ergonomi gibi birçok tehlike tespit edilmiştir. Ancak asbest söküm işleri odağında konuyu tartışabilmek için bu sonuçlar burada sunulmamıştır.

Değerlendirme sonucunda karantina kurulumu ve sökümü, asbest sökümü, söküm sonrası hijyen faaliyetleri, atıkların paketlenmesi ve istiflenmesi işleri yüksek riskli işler olarak belirlenmiştir. Hepsinde ortak tehlike asbest liflerine maruz kalınmasıdır. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak veya riski en düşük seviyeye düşürmek için çeşitli kontrol önlemleri mevcuttur. En etkili kontrol önlemi tehlikeyi tamamen ortadan kaldırmaktır. Eğer bu mümkün değilse tehlikeli olanı, tehlikesiz veya daha az tehlikeli olan muadili ile değiştirmek gerekir. Bu önlem de mümkün değilse mühendislik kontrolleri uygulanmalıdır. Asbest konusunda bazı mühendislik kontrol yöntemleri tavsiye edilebilir. Örneğin, söküm sırasında asbest liflerinin çevreye yayılmasını önlemek amacıyla 200 µ kalınlığında naylon örtü ile tam sızdırmaz tecrit (karantina) oluşturulmalıdır. Ancak karantinanın bile asbest söküm çalışanlarını asbest liflerinden koruyamayacağı unutulmamalıdır. Maalesef asbest söküm işlerinde çalışanlar karantinanın içerisinde çalışmak zorundadırlar. Çalışılan bölgenin işaretlenmesi ve uyarı levhalarının yerleştirilmesi çevredeki diğer çalışanların maruziyetini azaltmak için uygun yönetsel kontroller olabilir ancak asbest söküm işlerinde çalışanlar için herhangi bir koruyuculuğu bulunmamaktadır. Asbest söküm çalışanlarını asbest liflerinden korumanın tek yolu uygun KKD kullanımıdır. Asbest söküm işlerinde, P3 partikül filtreli tam-yüz veya yarım-yüz maske, Kategori III tip 5/6 tek kullanımlık tulum, iş eldiveni ve iş ayakkabısı asgari olarak kullanılmalıdır. KKD kullanımının sıkı kontrolü tavsiye edilse de asıl olanın çalışanın desteğini almış ve iş sağlığı ve güvenliği kültürünün hâkim olduğu bir çalışma ortamının gerekliliğidir. Sağlıklı bir iş sağlığı ve güvenliği kültürüne sahip işyerlerinde çalışanların kontrolüne gerek duyulmaz. Çalışanlar sağlıklı ve güvenli çalışma koşullarını kendileri talep eder. Çalışanlara KKD kullanımı ve bakımı konularında eğitim verilmesi ayrıca önemlidir.

Asbestli atıklar en az 100 µ kalınlığında çift kat naylona konularak ağızları sıkıca kapatılmalı veya uygun daha büyük naylon torbalara konulmalıdır. Üzerlerine asbestli atık olduğunu bildiren işaretlemeler yapıştırılmalıdır. Atıklar çalışma alanı içinde yaşam mahalline uzak bir yerde geçici depolanmalı ve mümkün olan en kısa sürede lisanslı araçlarla lisanslı atık bertaraf tesisine sevk edilmelidir. Atıklar istiflenirken yüksekliklerinin üç metreyi aşmamasına dikkat edilmelidir. Bu limitlerin aşılması için çalışanlara eğitim verilmelidir. Gerekli yerlerde istif limitleri hakkında uyarıcı işaretler asılmalıdır.

Bu çalışma, işletmelerdeki asbest söküm çalışmaları sırasında ortaya çıkan olası tehlikeleri ve riskleri değerlendirerek asbest söküm çalışanlarının ve çevredeki diğer çalışanların asbestten korunması için alınması gereken kontrol önlemlerini içermektedir. Bu çalışma asbest söküm uzmanları ve iş güvenliği uzmanları tarafından tüm tesislerde ve afet ve kentsel dönüşüm süreçlerinde yıkılacak asbestli malzeme barındıran binalarda asbest söküm çalışmaları için rehber olarak kullanılabilir. Bu çalışmada sunulan önlemler alınarak çalışanların ve çevrenin asbest liflerinden korunması sağlanabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] R. L. Virta, "Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining and Uses," New York, U.S.A, Rep. 02–149, 2002.

[2] R. L. Virta, "Worldwide Asbestos Supply and Consumption Trends from 1900 to 2000," Rep. 2003–83, 2003.

[3] Ö. Akboğa ve S. Baradan, "Asbestin inşaat sektöründeki yeri ve maruziyetin önlenmesi," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 469, s. 5, ss. 69–76, 2011.

[4] A. S. Altıntop ve C. Uraz, "Bina yıkım işlerinde asbest maruziyetinin değerlendirilmesi," *Engineering Sciences (NWSAENS)*, c. 15, s. 4, ss. 218–235, 2020.

- [5] “Report of the Royal Commission on Matters of Health and Safety arising from the Use of Asbestos in Ontario; Volumes 1-3, Ontario Royal Commission,” Ontario Ministry of the Attorney General, Toronto, Canada, 1984.
- [6] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, “A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts, Vol. 100 C,” International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, 2012.
- [7] M. Koç ve N. Akbıyık, “Türkiye’de iş kazalarının maliyetleri ve çözüm önerileri,” *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 129–175, 2011.
- [8] A. Tossavainen, “Global use of asbestos and the incidence of mesothelioma,” *International Journal of Occupational and Environmental Health*, vol. 10, no. 1, pp. 22–25, 2004.
- [9] M. Güneş, A. Güneş, N. İlbeyli ve B. Kaya, “Asbest maruziyeti ve etkileri,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 1–5, 2017.
- [10] N. Alpert, M. van Gerwen, and E. Taioli, “Epidemiology of mesothelioma in the 21st century in Europe and the United States, 40 years after restricted/banned asbestos use,” *Translational Lung Cancer Research*, vol. 9, no. Suppl 1, pp. 28–38, 2020.
- [11] Commission Directive 1999/77/EC of 26 July 1999 on adapting to technical progress for the sixth time. Annex I to Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the member states relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (asbestos), *Official Journal L 207*, Document 31999L0077, 6 Ağustos 1999.
- [12] Asbestle çalışmalarda sağlık ve güvenlik önlemleri hakkında yönetmelik, *T.C. Resmî Gazete*, Sayı: 28539, 25 Ocak 2013.
- [13] B. M. Demir, S. Ercan, M. Aktan ve H. Öztaşkın, “Türkiye’nin asbest profili ve asbest güvenliği sorunu,” *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, c. 42, s. 2018, ss. 215–232, 2018.
- [14] O. Şahin ve N. Bingöl, “Asbest içeren çimento esaslı çatı kaplama levhalarının sökümü işlerinde risk değerlendirme,” *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 181–191, 2022.
- [15] R. Şahan, “Asbest maruziyetinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi,” Yüksek lisans, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Gedik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [16] “Eğitim Materyalleri,” Competenza GMBH, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [17] T. Kabakulak, “Bir tekstil işletmesinde risk değerlendirme uygulaması: 5x5 matris ve HAZOP,” *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 97–111, 2019.
- [18] T. Karaman ve A. Kayış Topaksu, “Tekstil işletmesinde iş güvenliği açısından ortam ölçümlerinin ve L-Tipi matris metodu ile risk değerlendirmesinin yapılması,” *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 39, s. 2, ss. 62–69, 2020.
- [19] C. Güngör ve P. Coşkun, “Tekstil işletmelerinde risk analizi uygulamaları,” *Mühendislik Bilimleri Alanında Yeni Trendler*, İzmir, Türkiye: Duvar Yayınları, 2022, ss. 117–132.
- [20] A. Aker, “Metal sektöründe 5x5 matris ve Fine-Kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi,” *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 65–75, 2020.

- [21] E. Öztürk ve H. Şimşek, “Çatı işlerinde işçi sağlığı ve güvenliği 5x5 matris yöntemiyle risk değerlendirmesi,” *İSG Akademik*, c. 2, s. 1, ss. 59–71, 2020.
- [22] B. Erten ve Z. Utlu, “İlaç lojistik sektöründe risk analizi yapılarak 5x5 matris, Fine Kinney ve FMEA yöntemleri ile risk değerlendirmelerinin karşılaştırılması: Bir firma örneği,” *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, c. 12, s. 48, ss. 1–14, 2017.
- [23] Ö. Akkoyun ve Ğ. Ekinci, “Farklı ISG-Risk değerlendirme yöntemlerinin bir yeraltı maden işletmesinde karşılaştırmalı uygulanması ve yöntem önerisi,” *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c. 60, s. 4, ss. 181–189, 2021.
- [24] G. Karan Buturak ve N. Yapıcı, “Kamu sağlık kurumlarında farklı risk analiz yöntemlerinin incelenmesi: Örnek bir uygulama,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 37, s. 3, ss. 753–764, 2022.
- [25] C. A. Ericson II, *Hazard Analysis Techniques for System Safety*, Hoboken, New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 2005.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Urysohn Tür İntegral Denklem ile Verilen Kontrol Sistemin Yörüngeler Kümesinin Özellikleri Üzerine

 Nesir HÜSEYİN^{a,*}

^a *Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Eğitim Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: nhuseyin@cumhuriyet.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.1186317

ÖZ

Bu çalışmada Urysohn tür integral denklem ile verilen control sistemin yörüngeler kümesinin özellikleri incelenmektedir. Kontrol fonksiyonların integral kısıtı sağladığı varsayılmaktadır. Yörüngeler kümesinin control kaynağın sınırını belirleyen parametreye göre Lipschitz sürekli olduğu kanıtlanmıştır. Yörüngeler kümesinin çapı için bir üst değerlendirme verilmiştir. Sistemin yörüngesinin, kalan control kaynağına göre robastlığı tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Doğrusal olmayan integral denklem, Kontrol sistem, İntegral kısıtlama, Yörüngeler kümesi, Robastlık*

On the Properties of the Set of Trajectories of the Control System Described by Urysohn Type Integral Equation

ABSTRACT

In this study, the properties of the set of trajectories of the control system described by Urysohn type integral equation are studied. It is assumed that the control functions satisfy integral constraint. It is proved that the set of trajectories is Lipschitz continuous with respect to the parameter which characterizes the bound of control resource. An upper estimation for the diameter of the set of trajectories is given. Robustness of the system's trajectory with respect to the remaining control resource is discussed.

Keywords: *Nonlinear integral equation, Control system, Integral constraint, Set of trajectories, Robustness*

I. GİRİŞ

İntegral denklemler teori ve uygulamalarda ortaya çıkan bir çok süreçlerin matematiksel modellerinde kullanılan uygun yapılardan biridir. XX asrın önemli bilim adamlarından W.Heisenberg ünlü “Fizik ve Felsefe” kitabında integral denklemlerin öneminden aşağıdaki biçimde bahsetmektedir: “Maddenin hareketinin son denklemleri büyük olasılıkla nicelenmiş doğrusal olmayan dalga denklemdir... Bu dalga denklemleri muhtemelen oldukça karmaşık integral denklemler sistemine eşdeğer olacaktır...” (bkz., [1, s.68]). Ayrıca integral denklemler teorisi çağdaş fonksiyonel analiz kökenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (bkz., [2, bölüm 1, s.2]). Diferansiyel denklemler için başlangıç ve sınır değer problemleri için çözüm kavramı uygun integral denklemlerin çözümü kavramına indirgenmektedir. İntegral denklemlerle tasvir edilen bazı süreçler, kontrol etki denilen bazı dış etkilere maruz kalmaktadır. Kontrol kaynaklarının türüne göre, kontrol sistemler aşağıdaki biçimde sınıflandırılmaktadır: a) kontrol fonksiyonları geometrik kısıtlı olan kontrol sistemler; b) kontrol fonksiyonları integral kısıtlı olan kontrol sistemler; c) kontrol fonksiyonları karmaşık sınırlı olan kontrol sistemler. Geometrik kısıtlı kontrol fonksiyonlar verilen kümede değerler alan fonksiyonlar ve kullandığında tükenmeyen kontrol etkilerdir (bkz., [3] - [5]). İntegral kısıtlamalar kullanıldığında tükenen, örneğin enerji, yakıt, finans gibi kontrol etkilerde ortaya çıkmaktadır (bkz., [6] - [12]). Kontrol fonksiyonları karmaşık kısıtlı olan kontrol sistemler, aynı zamanda geometrik ve integral kısıtlı kontrol fonksiyonları içeren kontrol sistemlerdir. Kontrol fonksiyonları geometrik kısıtlı olan kontrol sistemler, diferansiyel ve integral içermeler teorisi kapsamında da incelenmektedir (bkz., [13] - [15]).

Urysohn tür integral denklem ile verilen kontrol sistemlerin farklı özellikleri [16]-[21] ‘de incelenmektedir. [18]-[20] çalışmalarında yörüngeler kümesinin yaklaşımı, [21], [22] ‘de kompaktlığı tartışılmaktadır. Ele alınan çalışmada davranışı Urysohn tür integral denklem ile verilen ve kontrol fonksiyonları integral kısıtlı olan kontrol sistemler araştırılmaktadır. Denklemin kontrol vektöre göre afin, kontrol fonksiyonların ise $E \subset R^k$ kompakt küme olmak üzere $L_p(E; R^m)$, $p > 1$ uzayının kapalı yuvarından seçildiği varsayılmaktadır. Sistemin yörüngesi, sistem denklemini her yerde sağlayan sürekli fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Yörüngeler kümesinin kaynak sınırına bağımlılığı ve yörüngeler kümesinin çapı incelenmektedir.

Makalenin içeriği aşağıdaki gibidir. 2.Bölümde daha sonraki araştırmalarda kullanılacak ve sistem denkleminin sağlanması gereken temel koşullar verilmiştir. 3.Bölümde sistemin yörüngeler kümesinin bir küme değerli dönüşüm olarak, sistemin kontrol kaynağının sınırı olan r parametresine göre Lipschitz sürekli olduğu kanıtlanmıştır (Teorem 3.1). 4.Bölümde yörüngeler kümesinin çapı için bir üst değerlendirme verilmiştir (Teorem 4.1). 5.Bölümde sistemin yörüngesinin kalan kontrol kaynağına göre robast olduğu kanıtlanmış (Teorem 5.1) ve her yörüngenin kontrol kaynağı tam tüketmek üzere elde edilen yörünge ile yaklaşımla bilirliliği gösterilmiştir (Teorem 5.2).

II. SİSTEMİN DAVRANIŞI

Davranışı Urysohn tür

$$x(\omega) = g(\omega, x(\omega)) + \lambda \int_E [F_1(\omega, s, x(s)) + F_2(\omega, s, x(s))v(s)]ds, \quad \omega \in \Omega, \quad (1)$$

integral denklemleri ile verilen kontrol sistem ele alalım. Burada $x(\omega) \in R^n$ durum vektörü, $u(s) \in R^m$ kontrol vektörü, $\lambda \geq 0$ verilen sayı $E \subset R^k$, $\Omega \subset R^k$ kompakt kümeler, $E \subseteq \Omega$. (1) sistemi kontrol vektörüne göre afin, durum vektörüne göre ise doğrusal olmayandır. Bundan dolayı (1) sistemi afin sistem olarak adlanır.

$p > 1$ ve $r \geq 0$ verilen sayılar olsun.

$$G_{p,r} = \{v(\cdot) \in L_p(E; R^m): \|v(\cdot)\|_p \leq r\}$$

kümesine mümkün kontrol fonksiyonları kümesi ve her $v(\cdot) \in G_{p,r}$ fonksiyonuna ise mümkün kontrol fonksiyonu denir. Burada $L_p(E; R^m)$ Lebesgue ölçülebilir ve $\|v(\cdot)\|_p < \infty$ olacak biçimdeki $v(\cdot): E \rightarrow R^m$ fonksiyonlar uzayıdır, $\|v(\cdot)\|_p = \left(\int_E \|v(s)\|^p ds\right)^{\frac{1}{p}}$ olarak tanımlıdır, $\|\cdot\|$ Euclid normu göstermektedir.

Açıktır ki, $G_{p,r}$ mümkün kontrol fonksiyonları kümesi $L_p(E; R^m)$ uzayın merkezi orijinde, yarıçapı r olan kapalı yuvarıdır.

(1) sisteminde verilen fonksiyonların ve λ sayısının aşağıdaki koşulları sağladığı varsayılmaktadır:

2.A. $g(\cdot, \cdot): \Omega \times R^n \rightarrow R^n$, $F_1(\cdot, \cdot, \cdot): \Omega \times E \times R^n \rightarrow R^n$ ve $F_2(\cdot, \cdot, \cdot): \Omega \times E \times R^n \rightarrow R^{n \times m}$ fonksiyonları süreklidir;

2.B. keyfi $(\omega, x_1) \in \Omega \times R^n$, $(\omega, x_2) \in \Omega \times R^n$ için

$$\|g(\omega, x_1) - g(\omega, x_2)\| \leq \kappa_0 \|x_1 - x_2\|$$

ve keyfi $(\omega, s, x_1) \in \Omega \times E \times R^n$, $(\omega, s, x_2) \in \Omega \times E \times R^n$ için

$$\|F_1(\omega, s, x_1) - F_1(\omega, s, x_2)\| \leq \kappa_1 \|x_1 - x_2\|, \quad \|F_2(\omega, s, x_1) - F_2(\omega, s, x_2)\| \leq \kappa_2 \|x_1 - x_2\|$$

olacak biçimde $\kappa_0 \in [0,1)$, $\kappa_1 \geq 0$ ve $\kappa_2 \geq 0$ sayıları vardır;

2.C. $\lambda \left(\kappa_1 \mu(E) + \kappa_2 r_* [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right) < 1 - \kappa_0$ olacak biçimde $p > 1$ and $r_* > 0$ sayıları vardır. Burada $\mu(E)$ sayısı E kümesinin Lebesgue ölçümünü göstermektedir.

$$P(\lambda; p, r) = \kappa_0 + \lambda \left(\kappa_1 \mu(E) + \kappa_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right) \quad (2)$$

olsun. 2.C koşulundan $P(\lambda; p, r_*) < 1$ olduğu elde edilir. O halde her $r \in [0, r_* + \tau_*]$ için $P(\lambda; p, r) < 1$ olacak biçimde $\tau_* > 0$ vardır.

$$P_*(\lambda; p) = \kappa_0 + \lambda \left[\kappa_1 \mu(E) + \kappa_2 (r_* + \tau_*) \cdot [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right] \quad (3)$$

olarak gösterelim. Açıktır ki, $P_*(\lambda; p) < 1$. Bundan sonra $r \in [0, r_* + \tau_*]$ olduğunu varsayacağız.

Şimdi (1) sisteminin verilen mümkün kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesini tanımlayalım. $v(\cdot) \in G_{p,r}$ olsun. Her $\omega \in \Omega$ için (1) denklemini sağlayan sürekli $x(\cdot): \Omega \rightarrow R^n$ fonksiyonuna (1) sisteminin $v(\cdot) \in G_{p,r}$ mümkün kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesi denir. (1) sisteminin tüm $v(\cdot) \in G_{p,r}$ mümkün kontrol fonksiyonları tarafından üretilen yörüngeler kümesini $T_{p,r}$ olarak gösterelim ve verilen $\omega \in \Omega$ için

$$T_{p,r}(\omega) = \{x(\omega) \in R^n: x(\cdot) \in T_{p,r}\} \quad (4)$$

olsun. $T_{p,r}$ kümesine (1) sisteminin yörüngeler kümesi denir. Açıktır ki, $T_{p,r} \subset C(\Omega; R^n)$. Burada $C(\Omega; R^n)$, normu $\|x(\cdot)\|_C = \max\{\|x(\omega)\|: \omega \in \Omega\}$ olarak tanımlı sürekli $x(\cdot): \Omega \rightarrow R^n$ fonksiyonlar uzayıdır.

$$c_0 = \max\{\|f(\omega, 0)\|: \omega \in \Omega\},$$

$$c_1 = \max\{\|F_1(\omega, s, 0)\|: (\omega, s) \in \Omega \times E\},$$

$$c_2 = \max\{\|F_2(\omega, s, 0)\|: (\omega, s) \in \Omega \times E\},$$

$$\Gamma(\lambda; p) = c_0 + \lambda \left(c_1 \mu(E) + c_2 (r_* + \tau_*) [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right),$$

$$\gamma_* = \frac{\Gamma(\lambda; p)}{1 - P_*(\lambda; p)} \quad (5)$$

olsun. (5) 'te verilen $P_*(\lambda; p)$, (3) ile tanımlıdır.

$V \subset R^n$ ve $U \subset R^n$ kümeleri arasındaki Hausdorff uzaklığı $h_n(V, U)$ ile, $W \subset C(\Omega; R^n)$ ve $E \subset C(\Omega; R^n)$ kümeleri arasındaki Hausdorff uzaklığı ise $h_C(W, E)$ ile gösterelim (bkz., [13], [14]).

Daha sonraki incelemelerde kullanacağımız bazı yardımcı önermeler verelim.

Önerme 2.1. Her $v_*(\cdot) \in G_{p,r}$ mümkün kontrol fonksiyonu (1) sisteminin tek yörüngesini üretir.

Önerme 2.2. Her $x(\cdot) \in T_{p,r}$ ve $r \in [0, r_* + \tau_*]$ için $\|x(\cdot)\|_C \leq \gamma_*$ eşitsizliği sağlanıyor.

Önerme 2.3. $\omega \rightarrow T_{p,r}(\omega)$, $\omega \in \Omega$, küme değerli dönüşümü Hausdorff metriğine göre süreklidir.

Teorem 2.1. (1) sisteminin $T_{p,r}$ yörüngeler kümesi $C(\Omega; R^n)$ uzayının kompakt alt kümesidir.

Önerme 2.1, Önerme 2.2, Önerme 2.3 ve Teorem 2.1 'in kanıtı uygun olarak [21] 'de verilen Teorem 1, Teorem 2, Sonuç 1 ve Teorem 5 'in kanıtlarına benzerdir.

III. YÖRÜNGELER KÜMESİNİN r 've BAĞLANTISI

$$M_2 = \max\{\|F_2(\omega, s, x)\|: (\omega, s, x) \in \Omega \times E \times B_n(\gamma_*)\}, \quad (6)$$

$$M_* = \frac{\lambda M_2 [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}}}{1 - P_*(\lambda; p)} \quad (7)$$

olarak gösterelim. Burada $B_n(\gamma_*) = \{x \in R^n: \|x\| \leq \gamma_*\}$, $\gamma_* > 0$ sayısı (5) eşitliği ile tanımlanmıştır.

Teorem 3.1. Keyfi $r_1 \in [0, r_* + \tau_*]$ ve $r_2 \in [0, r_* + \tau_*]$ için

$$h_C(T_{p,r_1}, T_{p,r_2}) \leq M_* |r_1 - r_2|$$

eşitsizliği sağlanıyor.

Kanıt. Genelliği bozmaksızın $r_1 < r_2$ olduğunu varsayalım. O halde

$$T_{p,r_1} \subseteq T_{p,r_2} \quad (8)$$

olur. Şimdi herhangi $x_*(\cdot) \in T_{p,r_2}$ yörüngesi seçelim ve bu yörüngeyi $v_*(\cdot) \in G_{p,r_2}$ mümkün kontrol fonksiyonunun ürettiğini varsayalım.

$$v_0(s) = \frac{r_1}{r_2} v_*(s), \quad s \in E, \quad (9)$$

olmak üzere yeni $v_0(\cdot): E \rightarrow R^m$ kontrol fonksiyonu tanımlayalım. $v_*(\cdot) \in G_{p,r_2}$ içermesi kullanılarak kolayca $v_0(\cdot) \in G_{p,r_1}$ olduğu kanıtlanabilir. $x_0(\cdot) \in T_{p,r_1}$ (1) sisteminin $v_0(\cdot) \in G_{p,r_1}$ kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesi olsun. (3), (6), (7), (9), Önerme 2.2, 2.B koşulu ve Hölder eşitsizliğinden, keyfi $\omega \in \Omega$ için

$$\begin{aligned} \|x_*(\omega) - x_0(\omega)\| &\leq \kappa_0 \|x_*(\omega) - x_0(\omega)\| + \lambda \int_E (\kappa_1 + \kappa_2 \|v_*(s)\|) \|x_*(s) - x_0(s)\| ds \\ &\quad + \lambda \int_E \|F_2(\omega, s, x_0(s))\| \cdot \|v_*(s) - v_0(s)\| ds \\ &\leq \kappa_0 \|x_*(\cdot) - x_0(\cdot)\|_C + \lambda \int_E (\kappa_1 + \kappa_2 \|v_*(s)\|) ds \cdot \max\{\|x_*(s) - x_0(s)\|: s \in E\} \\ &\quad + \lambda M_2 \int_E \left\| v_*(s) - \frac{r_1}{r_2} v_*(s) \right\| ds \\ &\leq \kappa_0 \|x_*(\cdot) - x_0(\cdot)\|_C + \lambda \left(\kappa_1 \mu(E) + \kappa_2 r_2 [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right) \cdot \|x_*(\cdot) - x_0(\cdot)\|_C \\ &\quad + \lambda M_2 \frac{|r_1 - r_2|}{r_2} \int_E \|v_*(s)\| ds \\ &\leq P_*(\lambda; p) \cdot \|x_*(\cdot) - x_0(\cdot)\|_C + \lambda M_2 \frac{|r_1 - r_2|}{r_2} r_2 [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \\ &= P_*(\lambda; p) \cdot \|x_*(\cdot) - x_0(\cdot)\|_C + \lambda M_2 [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \cdot |r_1 - r_2| \end{aligned}$$

olduğu elde edilir ve buradan

$$\|x_*(\cdot) - x_0(\cdot)\|_C \leq \frac{\lambda M_2 [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}}}{1 - P_*(\lambda; p)} \cdot |r_1 - r_2| = M_* \cdot |r_1 - r_2| \quad (10)$$

olarak bulunur. Böylece keyfi seçilmiş $x_*(\cdot) \in T_{p,r_2}$ yörüngesi için (10) eşitsizliğini sağlayacak biçimde $x_0(\cdot) \in T_{p,r_1}$ olduğunu gördük. Bu ise

$$T_{p,r_2} \subseteq T_{p,r_1} + M_* |r_1 - r_2| \cdot B_C(1) \quad (11)$$

olması demektir. Burada $B_C(1) = \{x(\cdot) \in C(\Omega; R^n): \|x(\cdot)\|_C \leq 1\}$ olarak tanımlıdır.

Son olarak, (8) ve (11) 'den teoremin kanıtı elde edilir.

Teorem 3.1 'den aşağıdaki sonuç elde edilir.

Sonuç 3.1. Her $r_1 \in [0, r_* + \tau_*]$ ve $r_2 \in [0, r_* + \tau_*]$ için

$$h_n(T_{p,r_1}(\omega), T_{p,r_2}(\omega)) \leq M_* |r_1 - r_2|$$

eşitsizliği keyfi $\omega \in \Omega$ için doğrudur. Burada $T_{p,r}(\omega) \subset R^n$ kümesi (4) ile tanımlıdır.

IV. YÖRÜNGELER KÜMESİNİN ÇAPI

$(Z, d_Z(\cdot, \cdot))$ metrik uzay, $Q \subset Z$ olsun. Q kümesinin çapı $diam(Q)$ olarak gösterilir ve

$$diam(Q) = \sup\{d_Z(y, z) : y \in Q, z \in Q\}$$

olarak tanımlanır.

Teorem 4.1.

$$diam(T_{p,r}) \leq \frac{2\lambda M_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}}}{1 - P(\lambda; p, r)}$$

eşitsizliği doğrudur. Burada $P(\lambda; p, r)$ ifadesi (2) ile tanımlıdır.

Kanıt. Uygun olarak $u(\cdot) \in G_{p,r}$ ve $v(\cdot) \in G_{p,r}$ mümkün kontrol fonksiyonları tarafından üretilen keyfi $x(\cdot) \in T_{p,r}$ ve $y(\cdot) \in T_{p,r}$ yörüngeleri alalım O halde (1), (2), (6), 2.B koşulu, Önerme 2.2 ve Hölder eşitsizliğinden keyfi $\omega \in \Omega$ için

$$\begin{aligned} \|x(\omega) - y(\omega)\| &\leq \kappa_0 \|x(\omega) - y(\omega)\| + \lambda \int_E (\kappa_1 + \kappa_2 \|u(s)\|) \|x(s) - y(s)\| ds \\ &\quad + \lambda \int_E \|F_2(\omega, s, y(s))\| \cdot \|u(s) - v(s)\| ds \\ &\leq \kappa_0 \|x(\cdot) - y(\cdot)\|_C + \lambda \int_E (\kappa_1 + \kappa_2 \|u(s)\|) ds \cdot \max\{\|x(s) - y(s)\| : s \in E\} \\ &\quad + \lambda M_2 \int_E \|u(s) - v(s)\| ds \\ &\leq \kappa_0 \|x(\cdot) - y(\cdot)\|_C + \lambda \left(\kappa_1 \mu(E) + \kappa_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right) \cdot \|x(\cdot) - y(\cdot)\|_C + 2\lambda M_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \\ &= P(\lambda; p, r) \cdot \|x(\cdot) - y(\cdot)\|_C + 2\lambda M_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \end{aligned}$$

olduğu elde edilir. Son eşitsizlikten ise

$$\|x(\cdot) - y(\cdot)\|_C \leq \frac{2\lambda M_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}}}{1 - P(\lambda; p, r)} \quad (12)$$

eşitsizliği elde edilir. $x(\cdot) \in T_{p,r}$ ve $y(\cdot) \in T_{p,r}$ keyfi seçilmiş yörüngeler olduğundan, (12) eşitsizliği teoremin kanıtını bitirir.

V. YÖRÜNGELERİN ROBASTLIĞI

Bu bölümde yörünge'nin kalan kontrol kaynağına göre robastlığı incelenecektir.

Teorem 5.1. $\varepsilon > 0$ verilen sayı, $x(\cdot) \in T_{p,r}$ (1) sisteminin $\|u(\cdot)\|_p = r_*$ $r_* < r$ olacak biçimdeki $u(\cdot) \in G_{p,r}$ kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesi, $E_* \subset E$ herhangi Lebesgue ölçülebilir küme, $u_*(\cdot) : E \rightarrow R^m$ fonksiyonu $\|u_*(\cdot)\|_p = r$ olmak üzere

$$u_*(s) = \begin{cases} u(s) & \text{eğer } s \in E \setminus E_*, \\ v(s) & \text{eğer } s \in E_*, \end{cases} \quad (13)$$

biçiminde tanımlı ve $x_*(\cdot) \in T_{p,r}$ (1) sisteminin $u_*(\cdot) \in G_{p,r}$ kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesi olsun. Eğer

$$\mu(E_*) \leq \left[\frac{1 - P(\lambda; p, r)}{2\lambda r M_2} \cdot \varepsilon \right]^{\frac{p}{p-1}} \quad (14)$$

ise, o halde $\|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C \leq \varepsilon$ olur. Burada $P(\lambda; p, r)$ (2) ile tanımlıdır.

Kanıt. (1), (2), (6), (13), Önerme 2.2, 2.B koşulu, $u(\cdot) \in G_{p,r}$, $u_*(\cdot) \in G_{p,r}$ içermelerinden ve Hölder eşitsizliğinden keyfi $\omega \in \Omega$ için

$$\begin{aligned} \|x(\omega) - x_*(\omega)\| &\leq \kappa_0 \|x(\omega) - x_*(\omega)\| + \lambda \int_E (\kappa_1 + \kappa_2 \|u(s)\|) \|x(s) - x_*(s)\| ds \\ &\quad + \lambda \int_E \|F_2(\omega, s, x_*(s))\| \cdot \|u(s) - u_*(s)\| ds \\ &\leq \kappa_0 \|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C + \lambda \int_E (\kappa_1 + \kappa_2 \|u(s)\|) ds \cdot \max \{\|x(s) - x_*(s)\| : s \in E\} \\ &\quad + \lambda M_2 \int_{E_*} \|u(s) - u_*(s)\| ds \\ &\leq \kappa_0 \|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C + \lambda \left(\kappa_1 \mu(E) + \kappa_2 r [\mu(E)]^{\frac{p-1}{p}} \right) \cdot \|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C + 2\lambda r M_2 [\mu(E_*)]^{\frac{p-1}{p}} \end{aligned}$$

eşitsizliğinin doğruluğu ve buradan ise

$$\|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C \leq P(\lambda; p, r) \|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C + 2\lambda r M_2 [\mu(E_*)]^{\frac{p-1}{p}}$$

olduğu elde edilir. Son eşitsizlik, (14) ve 2.C koşulundan

$$\|x(\cdot) - x_*(\cdot)\|_C \leq \frac{2\lambda r M_2}{1 - P(\lambda; p, r)} [\mu(E_*)]^{\frac{p-1}{p}} \leq \varepsilon$$

olduğu bulunur.

Theorem 5.1 den, kalan kontrol kaynağın tümünü Lebesgue ölçümü yeterince küçük olan bölgede tüketirken, yörüngenin az değişmesi gözlenmektedir.

$$G_{p,r}^* = \{v(\cdot) \in L_p(E; R^m) : \|v(\cdot)\|_p = r\}$$

ve $T_{p,r}^*$ kümesi (1) sisteminin tüm $u(\cdot) \in G_{p,r}^*$ kontrol fonksiyonları tarafından üretilen yörüngeler kümesi olsun.

Theorem 5.2. $T_{p,r} = cl(T_{p,r}^*)$ eşitliği doğrudur. Burada cl verilen kümenin kapanışını göstermektedir.

Kanıt. $\|u_*(\cdot)\|_p = r_* < r$ olmak üzere $x_*(\cdot) \in T_{p,r}$ (1) sisteminin $u_*(\cdot) \in G_{p,r}$ kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesi olsun. Keyfi $\sigma > 0$ sayısı ve

$$\mu(V_*) \leq \left[\frac{1 - P(\lambda; p, r)}{2\lambda r M_2} \cdot \sigma \right]^{\frac{p}{p-1}} \quad (15)$$

olacak biçimde keyfi $V_* \subset E$ kümesi alalım. Burada $P(\lambda; p, r)$ ifadesi (2) ile, M_2 ise (6) ile tanımlıdır. $\int_{E \setminus V_*} \|u_*(s)\|^p ds = r_1^p$ olduğunu varsayalım.

$$v_*(s) = \begin{cases} u_*(s) & \text{eğer } s \in E \setminus V_*, \\ \left[\frac{r^p - r_1^p}{\mu(V_*)} \right]^{\frac{1}{p}} \cdot g_0 & \text{eğer } s \in V_* \end{cases}$$

olmak üzere yeni $v_*(\cdot): E \rightarrow R^m$ fonksiyonu tanımlayalım. Burada $\|g_0\| = 1$ olmak üzere $g_0 \in R^m$ keyfi seçilmiş öğedir. Açıktır ki, $\|v_*(\cdot)\|_p = r$, yani $v_*(\cdot) \in G_{p,r}^*$. $y_*(\cdot)$ (1) sisteminin $v_*(\cdot)$ kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörüngesi olsun. O halde $y_*(\cdot) \in T_{p,r}^*$. (15) 'i dikkate alırsak, Teorem 5.1 'den $\|x_*(\cdot) - y_*(\cdot)\|_C \leq \sigma$ olduğu bulunur. $\sigma > 0$ keyfi seçildiğinden, $x_*(\cdot) \in cl(T_{p,r}^*)$ olduğu elde edilir. Bu ise $T_{p,r} \subset cl(T_{p,r}^*)$ olması demektir. Önerme 2.2. gereği, $T_{p,r}$ yörüngeler kümesi $C(\Omega; R^n)$ uzayında kompakt kümedir. Son olarak, teoremin kanıtı $T_{p,r}^* \subset T_{p,r}$ içermesinden elde edilir.

Teorem 5.2 'ye göre, her $x_*(\cdot) \in T_{p,r}$ yörüngesi, kontrol kaynağın tamamını tüketen kontrol fonksiyonu tarafından üretilen yörünge ile yaklaşırla bilir.

Teorem 5.2 'den aşağıdaki sonucun doğruluğu elde edilir.

Sonuç 5.1. Keyfi $\omega \in \Omega$ için

$$T_{p,r}(\omega) = cl(T_{p,r}^*(\omega))$$

eşitliği doğrudur. Burada $T_{p,r}(\omega)$ kümesi (4) ile,

$$T_{p,r}^*(\omega) = \{x(\omega) \in R^n: x(\cdot) \in T_{p,r}^*\}$$

olarak tanımlıdır.

VI. SONUC

Yörüngeler kümesinin r 'ye göre Lipschitz sürekli bağımlılığı, sistem davranışının matematiksel modelinde enerji türü kontrol etkilerin üst sınırının belirlenmesinde ortaya çıkacak küçük hataların, sistemin yörüngeler kümesini az etkileyeceğini öngörmeye imkan sağlıyor. Yörüngeler kümesinin çapının üstten değerlendirmesi, sistemin durum evriminin genel değerlendirilmesi için faydalı bir araç olarak kullanılabilir. Yörüngelerin kalan kontrol kaynağa göre robastlığı, enerji tür kontrol etkinin Lebesgue ölçümü yeteri küçük olan bölgelerde büyük porsiyonlar halinde tüketilmesinin efektif kontrol etkisi olamayacağını göstermektedir.

VII. KAYNAKLAR

[1] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science*, London, Great Britain: George Allen & Unwin, 1958.

[2] D. Hilbert, *Grundzüge Einer Allgemeinen Theorie der Linearen Integralgleichungen*, Leipzig und Berlin, Germany: Druck und Verlag von B.G.Teubner,1912.

- [3] N.N. Krasovskii, and A.I. Subbotin, *Game-Theoretical Control Problems*, New York, USA: Springer, 1988.
- [4] L.S. Pontryagin, V.G. Boltyanskii, R.V. Gamkrelidze, and E.F. Mishchenko, *The Mathematical Theory of Optimal Processes*, New York, USA: John Wiley & Sons, 1962.
- [5] J. Warga, *Optimal Control of Differential and Functional Equations*, New York, USA: Academic Press, 1972.
- [6] R. Conti, *Problemi di Controllo e di Controllo Ottimale*. Torino, Italy: UTET, 1974.
- [7] Kh.G. Guseinov, A.A. Neznakhin, and V.N. Ushakov, "Approximate construction of reachable sets of control systems with integral constraints on the controls," *J. Appl. Math. Mech.*, vol. 63, no. 4, pp. 557-567, 1999.
- [8] M.I. Gusev, and I.V. Zykov, "On extremal properties of the boundary points of reachable sets for control systems with integral constraints," *Tr. Inst. Math. Mekh. UrO RAN*, vol. 23, no. 1, pp. 103-115, 2017.
- [9] G. Ibragimov, I.A. Alias, U. Waziri, and A.B. Jaafaru, "Differential game of optimal pursuit for an infinite system of differential equations," *Bull. Malays. Math. Sci. Soc.*, vol. 42, pp. 391-403, 2019.
- [10] E.K. Kostousova, "State estimates of bilinear discrete-time systems with integral constraints through polyhedral techniques," *IFAC Papers Online*, vol. 51, no. 32, pp. 245-250, 2018.
- [11] N.N. Krasovskii, *Theory of Control of Motion: Linear Systems*, Moscow, USSR: Nauka, 1968.
- [12] N.N. Subbotina, and A.I. Subbotin, "Alternative for the encounter-evasion differential game with constraints on the momenta of the players' controls," *J. Appl. Math. Mech.*, vol. 39, no. 3, pp. 376-385, 1975.
- [13] J.P. Aubin, and A. Cellina, *Differential Inclusions*, Berlin, Germany: Springer, 1984.
- [14] K. Deimling, *Multivalued Differential Equations*, Berlin, Germany: Walter De Gruyter, 1992.
- [15] A.I. Panasyuk, and V.I. Panasyuk, "An equation generated by a differential inclusion," *Mat. Zametki*, vol. 27, no. 3, pp. 429-437, 1980.
- [16] E.J. Balder, "On existence problems for the optimal control of certain nonlinear integral equations of Urysohn type," *J. Optim. Theory Appl.*, vol. 42, no. 3, pp. 447-465, 1984.
- [17] M.L. Bennati, "An existence theorem for optimal controls of systems defined by Uryson integral equations," *Ann. Mat. Pura. Appl.*, vol. 121, no. 4, pp. 187-197, 1979.
- [18] N. Huseyin, A. Huseyin, and Kh.G. Guseinov, "Approximation of the set of trajectories of the nonlinear control system with limited control resources," *Math. Model. Anal.*, vol. 23, no. 1, pp. 152-166, 2018.
- [19] N. Huseyin, A. Huseyin, and Kh.G. Guseinov, "Approximation of the set of trajectories of the control system described by a Urysohn type integral equation," *Tr. Inst. Math. Mekh. UrO RAN*, vol. 21, no. 2, pp. 59-72, 2015.

- [20] A. Huseyin, N. Huseyin, and K.G. Guseinov, "Approximation of the integral funnel of a nonlinear control system with limited control resources," *Minimax Theory and its Applications*, vol. 5, no.2, pp. 327-346, 2020.
- [21] N. Huseyin, "Compactness of the set of trajectories of the control system described by a Urysohn type integral equation," *Int. J. Optim. Control. Theor. Appl. IJOCTA*, vol. 7, no.1, pp. 59-65, 2017.
- [22] I.A. Alias, N. Huseyin, and A. Huseyin, "Compactness of the set of trajectories of the control system described by a Urysohn type integral equation with quadratic integral constraints on the control functions," *J. Inequal. Appl.*, Paper No. 36, 14 pp., 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Synthesis of Metal (Ni) Doped Metal Oxide (ZnO) Heteronanostructures and Investigation of Their Morphological-Optical Properties

 Mustafa BİÇER

^a *Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Düzce University, TURKIYE*

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafabicer@duzce.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.1167452

ABSTRACT

In this study, different volumes of Nickel (Ni) doped Zinc oxide (ZnO) thin films were deposited on FTO by hydrothermal method. The films were characterized by SEM, EDS, and UV-Vis Spectroscopy. When the SEM images were examined, the nanostructures showed different morphological features as the amount of doped (v) nickel-ZnO increased in comparison to undoped nickel-ZnO. Furthermore, it was demonstrated that the obtained film surface has a homogeneous distribution. EDS spectra showed the increase in Ni by volume and its presence in the film composition. The UV-Vis Spectroscopy results showed that Ni doping can change the transmittance and band gap values from 2.94 to 3.38, and thus the ZnO band gap can be adjusted by Ni doping. As a result of the findings, ZnO-NiO thin films are promising candidates for both high-performance hetero nanostructures and practical applications.

Keywords: Nanostructures, ZnO-NiO thin films, Hydrothermal method, Band gap

Metal (Ni) Katkılı Metal Oksit (ZnO) Heteronanoyapıların Sentezi ve Morfolojik-Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, hidrotermal yöntemle FTO üzerine farklı hacimlerde Nikel (Ni) katkılı Çinko oksit (ZnO) ince filmler biriktirilmiştir. Filmler SEM, EDS ve UV-Vis Spektroskopisi ile karakterize edildi. SEM görüntüleri incelendiğinde katkılı (v) nikel-ZnO miktarı katkısız nikel-ZnO'ya göre arttığı için nanoyapılar farklı morfolojik özellikler göstermiştir. Ayrıca elde edilen film yüzeyinin homojen bir dağılıma sahip olduğu gösterildi. EDS spektrumları, Ni'nin hacimce katılımı ve film bileşimindeki varlığı ile Ni miktarının arttığını tespit edilmiştir. UV-Vis Spektroskopisi sonuçları, Ni katkılamanın geçirgenlik ve bant aralığı değerlerini 2,94'ten 3,38'e değiştirebileceğini ve böylece ZnO bant boşluğunun Ni katkılması ile ayarlanabileceğini göstermiştir. Elde edilen bulgular sonucunda ZnO-NiO ince filmler hem yüksek performanslı hetero nanoyapılar hem de pratik uygulamalar için umut verici adaylardır.

Anahtar Kelimeler: Nanoyapılar, ZnO-NiO ince filmler, Hidrotermal metot. Bant aralığı

I. INTRODUCTION

Metal oxide nanoparticles play a very important role in many fields of physics, materials and engineering science, especially chemistry. Metal elements can form a plenty variety of oxide compounds. Metal oxide semiconductor devices are more reliable due to their various features such as high temperature operation, chemical stability, thermal stability, low cost, easy manufacturing, long life [1]. In technological applications, metal oxide semiconductor nanoparticles are used for corrosion passivation of surfaces used in manufacturing in solar cells, sensors, microelectronic circuits, fuel cells, piezoelectric devices, coatings and catalysts. Metal oxides such as ZnO, TiO₂, NiO, CuO are often used for the mentioned applications [2], [3].

As one of the metal oxide nanoparticles, zinc oxide (ZnO) plays an important role as a vital semiconductor with enormous technological and scientific interest. In addition, ZnO contains an enormous list of attractive features. ZnO is defined as a strategic, functional, versatile and encouraging inorganic material with a wide range of applications. It is classified as an II-VI semiconductor [4] because Zn and O are identified two and six in the periodic table and in groups, respectively. ZnO has specific semiconducting, optical, chemical sensing, electrical conductivity, and piezoelectric characteristics [5]. It has a elevated excitonic binding energy at room temperature and a direct broad bandgap in the near UV spectrum [6], [7]. Moreover, it is characterized by its inherent n-type electrical conductivity [8]. Because of these properties, ZnO has a wide range of applications [9]. ZnO thin films are considered a possible material for working in the ultraviolet spectral regions and visible in optoelectronic applications due to their distinguishing optical and electrical properties [10]. ZnO thin films are extensively used in various industrial fields such as solar cells [11], [12], UV light emitting devices [13], [14], photocatalysts [15], [16], and ethanol gas sensors [17], [18].

Nickel oxide (NiO), another metal oxide nanoparticle, has a wide direct band gap of ~3.6–4.0 eV at room temperature, high hole mobility, as well as p-type semitakenctor materials [19]. Moreover, it is attracting much attention due to its attractive properties such as low lattice mismatch with ZnO. NiO emerges as an significant transition metal oxide materials with cubic lattice structure used in many implementations [20], [21]. Nanostructured NiO thin films have a extensive range of applications, such as magnetic materials, fuel cells, battery electrodes, photo-electron devices, dye-sensitive photocathodes, ion storage materials, gas sensors, thermoelectric materials, catalysts, electrochromic films, cytotoxic activity, anticancer properties and non-enzymatic glucose sensors etc. [22], [23]. Furthermore, because nano-sized particles differ from most nanoparticles in a number of properties such as unique optical, surface area/volume ratio, electro-optical, magneto-optical, electronic-physicochemical, and chemical-mechanical properties, NiO thin films are investigated [24]. With developments in all fields of industry and technology, attention has been drawn to nanoscale materials resulting from the preference for new properties in their size and morphology, this scale of length, and equally important these properties [25].

In particular, nanostructured ZnO and NiO thin films are encouraging materials for various applications such as biosensors, light-emitting diodes, solar cells, ultraviolet (UV) photodetectors, gas and chemical sensors, and other sensor devices. In the light of these explanations; while ZnO nanostructures have property to exhibit piezoelectric and n-type semiconductor properties [26], NiO nanostructures exhibit non-piezoelectric properties and can have p-type semiconductor properties [27]. The heteronano structure properties of engineered metal oxide nanoparticles can greatly assist in selectivity delimitation. Nanostructured ZnO and NiO thin films are well-known semiconductor materials with nanostructure properties that are being developed to improve heteronanostructure properties [28], [29]. The heterojunction interface is composed by a metal oxide semiconductor nanoparticles from n-type ZnO and p-type NiO, and functions as the p-n junction. Among these heteronanostructures, especially ZnO-NiO hybrids have attracted great attention. As a p-type semiconductor, NiO is useful for the constitution of p-n heterojunctions with ZnO. Therefore, it has features such as high hole mobility, high hole concentration and low lattice mismatch with ZnO thin films. The nano-sized heteronanostructures of ionic metal oxides have drawn much interest as they have developed physico-chemical properties

compared to their one-component counterparts. Quite a few p-n heteronanostructures have been reported, employing the properties of both nanostructured NiO thin films and nanostructured ZnO thin films in combination. There are few explores on the production of p-type NiO and n-type ZnO heteronanostructures with different techniques in which the interface characteristics are investigated [30]–[33].

Herein, a new stepwise hydrothermal growth of ZnO-NiO heteronanostructures with the contribution of Ni²⁺ ions synthesized by the hydrothermal method and increased by volume on the FTO substrate is presented. Furthermore, the surface morphology and optical properties of new ZnO-NiO heteronanostructures on the substrate were investigated for the possible development of analytical devices. The results show that heteronanostructures form between ZnO and NiO. Moreover, these heteronanostructures exhibit good performance in practical applications, indicating that they are suitable potential candidate.

II. EXPERIMENTAL

A. CHEMICALS/MATERIALS

The chemicals zinc nitrate hexahydrate (Zn(NO₃)₂·6H₂O) was obtained from Alfa aesar. Nickel chloride hexahydrate (NiCl₂·6H₂O), sodium hydroxide (NaOH), ethanol (C₂H₅OH), and acetone (C₃H₆O) were purchased from Merck. Deionized water (DIW) (~18 MΩcm) was used as the solvent.

B. PREPARATION OF Ni DOPPING ZnO NANOSTRUCTURES ON FTO SUBSRATE

FTO (fluorine doped tin oxide) coated substrates were cleaned with ethanol, acetone and DIW. Subsequent, the substrates were dried at room temperature. ZnO-NiO heteronanostructures were produced in a one-step process. The hydrothermal method [34, 35] was used to create ZnO samples and doped nickel to ZnO samples from 50 mL of solution containing 30 mM Zn(NO₃)₂·6H₂O, 5 mM NiCl₂·6H₂O, and NaOH at pH = 9.5. The concentrations of known Zn²⁺ and doped Ni²⁺ ions were made with a volumetric (v/v) relationship in the experiment, so that the total volume was 50 mL. Table 1 lists all experimental solution conditions. The hydrothermal reaction was carried out for 20 hours at 90 °C for the hydrothermal treatment. The thin films were then annealed at 450 °C on the FTO substrates. Figure 1 depicts the manufacturing process for ZnO nanostructures and ZnO-NiO heteronanostructures.

Table 1. Includes the volumetric (v/v) values of known concentrations of Zn²⁺ and doped Ni²⁺ ions.

Samples	30 mM Zn ²⁺	5 mM Ni ²⁺	pH
S ₁	50.00 mL	---	9.50
S ₂	47.50 mL	2.50 mL	9.50
S ₃	45.00 mL	5.00 mL	9.50
S ₄	40.00 mL	10.00 mL	9.50

C. CHARACTERIZATION

ZnO sample X-ray diffraction (XRD) patterns were acquired with a Rigaku Multiflex diffraction meter utilization CuKα radiation (λ = 1.5418 Å). The surface morphology of the produced undoped nickel to ZnO and doped nickel to ZnO samples was inspected by scanning electron microscopy (SEM) and

energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis utilization a FEI Quanta FEG 250. The absorbance properties of nickel-free ZnO and nickel-containing ZnO heteronanostructure samples were obtained using a PG Instruments T80+ UV/VIS spectrometer.

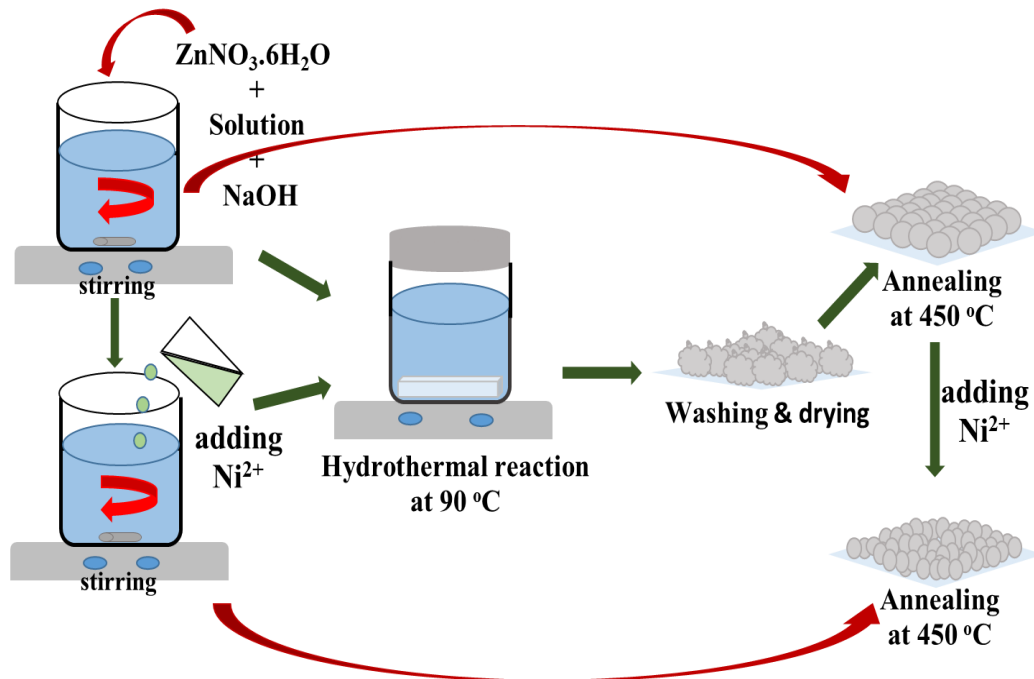


Figure 1. Synthesis scheme of ZnO and Ni doping metal oxide heteronanostructure thin films.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The correspondent XRD pattern of nanostructured ZnO thin films (S_1) deposited on the FTO substrate is shown in Figure 2. When the acquired diffraction peaks are looked into, 3 peaks with high intensity are seen. It is seen that these diffraction peaks are indexed respectively (1 0 0), (0 0 2), (1 0 1). Moreover, besides these peaks, there are other diffraction peaks with low intensity. These peaks are (1 0 2), (1 1 0), (1 0 3) and (1 1 2) indexed diffraction peaks, respectively. This XRD diffraction pattern can be attributed to the crystal structures of the hexagonal phase of wurtzite nanostructured ZnO thin films (JCPDS card No: 01-089-0511). The existence of phases of the nanostructured ZnO thin film indicates the coming into being of the composite structure. XRD shape shows that nanostructured ZnO thin films with diffraction peaks are at 2θ angles. ZnO XRD is compatible with XRD models for nanostructured ZnO thin films in the literatures [12], [36].

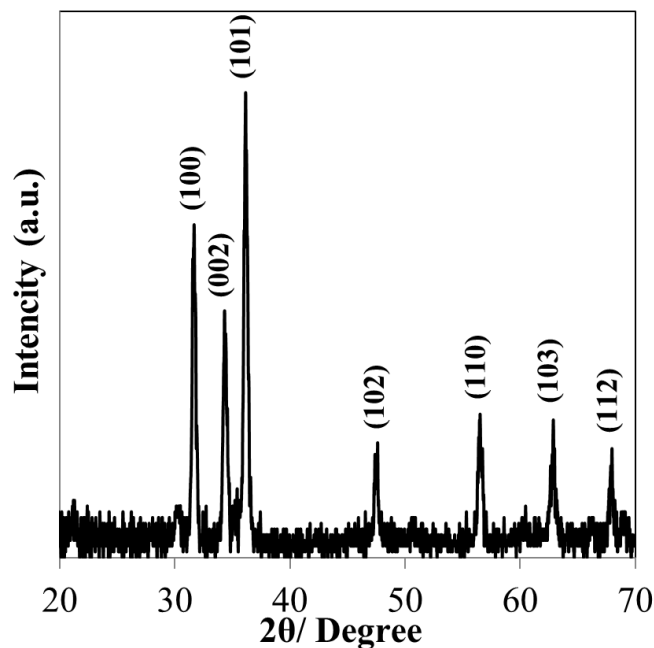


Figure 2. XRD pattern of the ZnO nanostructure thin films deposited on FTO.

The morphological properties of the ZnO nanostructured thin film, and the ZnO-NiO heteronanostructure thin films obtained by Ni doping at different volum $\text{Ni}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ rates are shown in Figure 3. Figure 3a for S_1 shows that nanostructured ZnO thin films grow homogeneously on FTO. The surface of ZnO nanostructures is smooth and consists of four angular ZnO nanostructures in width average ~ 200 nm and length average ~ 700 nm. In the presence of 2.5 mL of Ni (5 mM) doping for S_2 , it can be said that nanostructured ZnO thin films grow homogeneously and have a similar morphological structure and are arranged in a width of average approximately 150 and length 400 nm (Figure 3b). In the presence of 5 mL of Ni (5 mM) doping for S_3 , the nanostructured thin films showed a homogeneous distribution, showing beautiful nanostructures with a width of about 100 and length 250 nm (Figure 3c). The morphological status of S_4 in the presence of 10 mL of Ni doping showed a homogeneous distribution with a particle size of average approximately 50 nm. According to S_1 sample, the particle size of Ni-doping ZnO nanostructured thin films on the FTO substrate grown with the participation of Ni for S_2 , S_3 , and S_4 samples appears to be reduced. As seen in the figure, the particle size is the smallest in the S_4 sample with the highest Ni content. In addition, these structures show the formation of compact conformal coatings. Based on the SEM results, it is seen that the particle size decreases as increasing Ni is doped. The reason for this is that the atomic and ion radii of the element Ni are lower than the atomic and radius values of the element Zn. Moreover, it means that the Zn atom was replaced by the Ni atom and played a role in the reduction of particle size. Therefore, the role of heteronanostructure formation in the growth of ZnO nanostructure thin films by Ni doping is obvious. Thus, SEM images show the composition of homogeneously ZnO-NiO heteronanostructure thin films [37], [38].

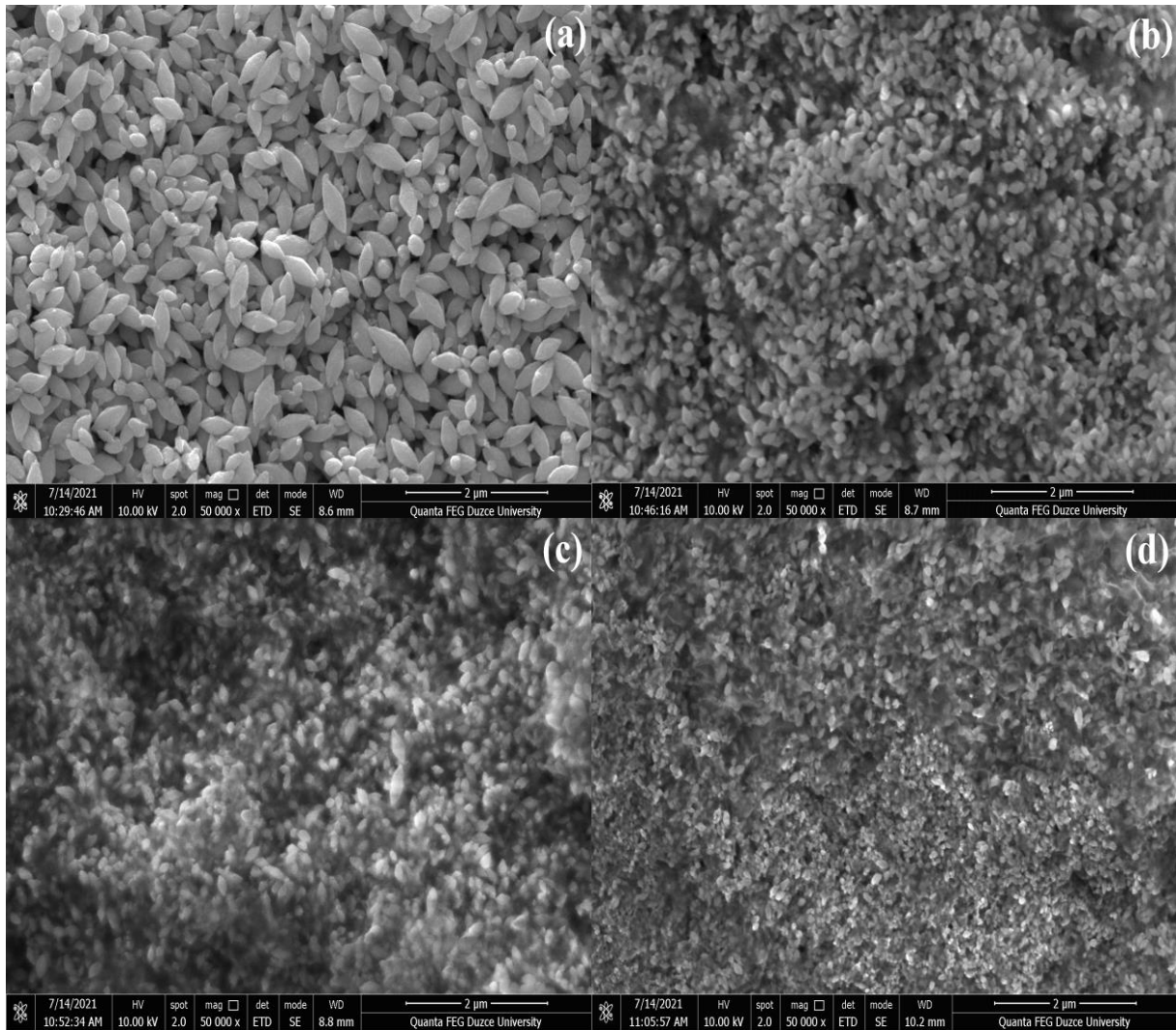


Figure 3. SEM images of S_1 (a), S_2 (b), S_3 (c) and S_4 (d) various deposition on FTO substrates.

EDS analysis was performed to identify the element ratios of ZnO nanostructure thin films and Ni-doped ZnO nanostructured thin films. The EDS spectra of the nanostructured thin films obtained for S_1 and S_4 are shown in Figure 4, respectively. For S_1 , Zn and O element peaks indicate the existence of ZnO. The spectra show that the mean atomic ratio of Zn and O of ZnO nanostructure thin films is close to each other (Fig. 4a). For S_4 , there are Zn, Ni and O element peaks. When we look at the spectra here, it shows that the Zn element has been replaced by the Ni element in % atomic ratio (Figure 4b). This means that heteronanostructure thin films are formed, and the atomic % ratios formed support this situation when the results obtained with SEM images are examined. In addition, % atomic EDS analysis spectrum ratios obtained for S_1 - S_4 samples are given in Table-2, respectively. When Table-2 is examined, it is seen that as Ni is added to the environment, the amount of Ni increases in atomic % ratios, the amount of Zn decreases and the amount of O does not change significantly. EDS analysis results of metal doping metal oxide nanostructured thin films were similar to ZnO-NiO heteronanostructures in the literature [39].

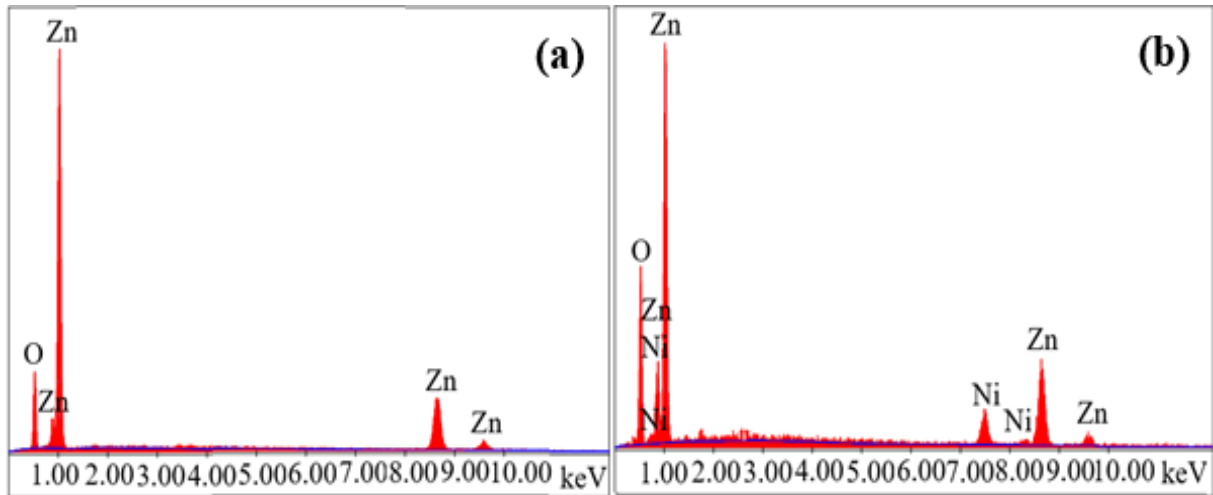


Figure 4. EDS patterns of the ZnO nanostructure thin films and ZnO-NiO heteronanostructure thin films deposited with (a) S1 and (b) S4.

Table 2. % atomic values of Zn, Ni and O from EDS analysis results of S₁-S₄ samples.

Samples	Zn % At.	Ni % At.	O % At.
S ₁	48.80	---	51.20
S ₂	45.56	3.42	51.02
S ₃	42.12	5.21	52.67
S ₄	38.02	8.68	53.30

The optical properties of ZnO thin films in the absence and presence of Ni deposited for 20 h were investigated by the UV-vis absorption spectrum measured in the wavelength range of 300-800 nm (Fig. 5). The film shows good absorption in the visible region and the ultraviolet region. From the absorbance data, the absorption coefficient α was calculated using Lambert's law [40].

$$2.303A = \alpha d \quad (1)$$

where A is the optical absorbance and d is the film thickness. On the other hand, the optical band gap of the thin film was determined by applying the Tauc relationship given by:

$$\alpha hv = A_0[hv - E_g]^n \quad (2)$$

where hv is the photon energy, E_g is the band gap energy and A₀ is a constant which is related to the effective masses associated with the bands [41]. UV-vis absorbance spectroscopy was performed to obtain the influence on the optical properties of nanostructured ZnO thin films deposited on FTO substrates and nanostructured ZnO-NiO thin films formed by doping with increasing Ni content. The band gap values of the resulting nanostructured thin films were calculated by making a sign $(\alpha hv)^2$ against hv and subtracting the linear part of the graph to the energy pivot (Fig. 5a-d). The absorption characteristics of thin films is related to the energy bands of both ZnO nanostructure thin films and ZnO-NiO nanostructure thin films with S₁, S₂, S₃ and S₄ structures, respectively. The optical absorption

spectrum analysis of ZnO nanostructured films is more intense and wider in the visible light zone. However, the absorption spectrum of thin films doped with increasing Ni content is seen to pass into the ultraviolet region. From the optical spectrum figures, a modification in wavelength of Ni-doping metal oxide nanostructure films (S_2 - S_4) is observed comparison to S_1 . Here, it was shown that nanostructured ZnO thin films formed crystals according to the increasing Ni content and interacted with ZnO in the deposition process. Moreover, this interaction constitutes the formation of nanostructured ZnO-NiO thin films. This is an indication of the formation of ZnO-NiO heteronanostructure. Thus, a leftward change in wavelengths is noticed with increasing Ni amount. The value of n is equal to $1/2$ for a direct band gap material and 2 for indirect gap. The absorption ($\alpha \geq 10^4 \text{ cm}^{-1}$) is related to direct band transitions [42]. The absorption coefficient for the film supporting the direct band gap property of the metal oxide semiconductor was found above the value. Based on these UV-vis optical absorption informations, the optical spectrum band gaps of both nanostructured ZnO thin films and ZnO-NiO heteronanostructure thin films were calculated from extrapolating of the linear part of $(\alpha h\nu)^2$ against the $h\nu$ plot at $\alpha = 0$. The results were 2.94 eV, 3.23 eV, 3.32 eV and 3.38 eV, respectively. These results are in good procedure with beforehand reported values for both ZnO thin films and ZnO-NiO thin films [43], [44].

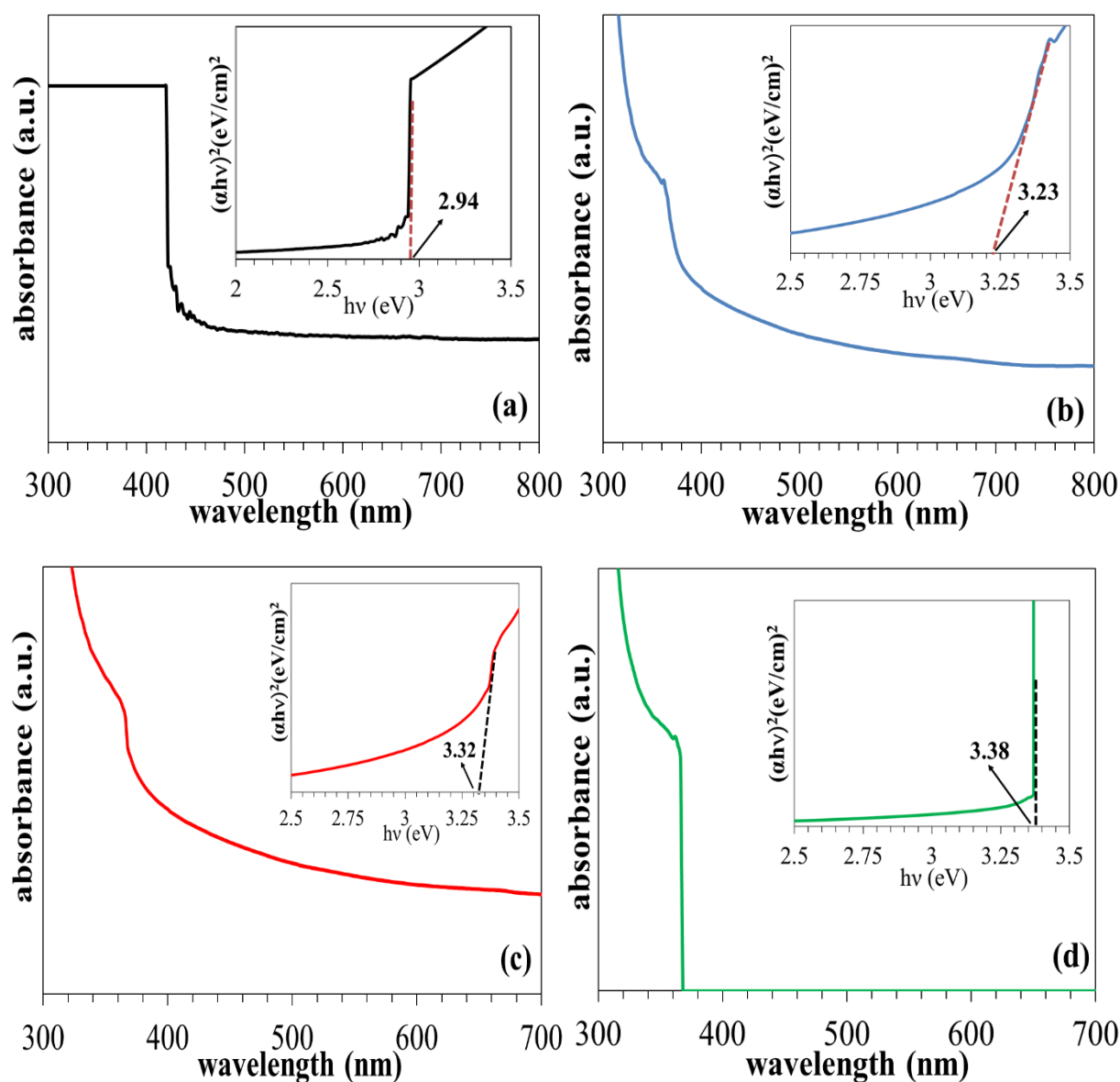


Figure 5. Absorption spectra and band gap values of the ZnO nanostructures and ZnO-NiO nanostructure thin films deposited with (a) S_1 , (b) S_2 , (c) S_3 and (d) S_4 .

IV. CONCLUSIONS

ZnO thin films and ZnO-NiO heterostructure thin films were deposited on FTO coated glasses at pH = 9.5 conditions, and their morphological and optical properties were investigated. It was observed that ZnO nanostructures and Ni doping-ZnO nanostructures on FTO grew homogeneously and their surfaces were smooth. Morphological studies increased the Ni content of the films from 0 to 10 mL, and it was determined that the particle sizes of the nanostructures decreased with increasing Ni content. This can be expressed as evidence that a heteronano structure is formed between p-type NiO and n-type ZnO according to the increasing Ni content. Optical absorption studies showed that the absorption spectrum of ZnO nanostructured films was determined to pass from the visible light region to the ultraviolet region of the absorption spectrum of heteronanostructure thin films doped with increasing Ni content. In this case, it supports the formation of a structure between ZnO and NiO nanostructures. The results show that the ZnO-NiO heteronano structure has good performance for practical applications and is a potential candidate for further studies such as solar cells, sensors and light-emitting diodes.

ACKNOWLEDGEMENTS: This study was supported by Düzce University Scientific Research Projects (Proje no: 2021.05.03.1250).

V. REFERENCES

- [1] U. T. Nakate et al., "Improved selectivity and low concentration hydrogen gas sensor application of Pd sensitized heterojunction n-ZnO/p-NiO nanostructures," *J. Alloys Compd.*, vol. 797, pp. 456–464, 2019, doi: 10.1016/j.jallcom.2019.05.111.
- [2] S.K. Tripathi, R. Kaur, M. Rani "Oxide Nanomaterials and their Applications as a Memristor," *Solid State Phenomena*, vol. 222, pp. 67-97, 2015, doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.222.67.
- [3] K. Al-Mayalee, N. S. Saadi, E. Badrdeen, F. Watanabe, and T. Karabacak, "Optical and Photoconductive Response of CuO Nanostructures Grown by a Simple Hot-Water Treatment Method," *J. Phys. Chem. C*, 122, 41, 23312–23320, 2018, doi: 10.1021/acs.jpcc.8b06783.
- [4] G. Neumark, Y. Gong, and I. Kuskovsky, "Doping Aspects of Zn-Based Wide-Band-Gap Semiconductors," *Springer Handbooks*, vol. 3, pp. 843–854, 2007, doi: 10.1007/978-0-387-29185-7_35.
- [5] Z. Fan and J. G. Lu, "Zinc oxide nanostructures: Synthesis and properties," *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 5, no. 10, pp. 1561–1573, 2005, doi: 10.1166/jnn.2005.182.
- [6] A. Janotti and C. G. Van De Walle, "Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor," *Reports Prog. Phys.*, vol. 72, no. 12, 2009, doi: 10.1088/0034-4885/72/12/126501.
- [7] Y. Zhang, M. K. Ram, E. K. Stefanakos, and D. Y. Goswami, "Synthesis, characterization, and applications of ZnO nanowires," *J. Nanomater.*, vol. 2012, 2012, doi: 10.1155/2012/624520.
- [8] J. S. Wellings, N. B. Chauré, S. N. Heavens, and I. M. Dharmadasa, "Growth and characterisation of electrodeposited ZnO thin films," *Thin Solid Films*, vol. 516, no. 12, pp. 3893–3898, 2008, doi: 10.1016/j.tsf.2007.07.156.

- [9] Z. Lin and J. Song, "Piezoelectric Nanogenerators Based on Zinc Oxide Nanowire Arrays Author(s): Zhong Lin Wang and Jinhui Song Source:," *Science* (80-.), vol. 312, no. 5771, pp. 242–246, 2006, doi: 10.1126/science.1124005.
- [10] L. Vayssieres, K. Keis, A. Hagfeldt, and S. E. Lindquist, "Three-dimensional array of highly oriented crystalline ZnO microtubes," *Chem. Mater.*, vol. 13, no. 12, pp. 4395–4398, 2001, doi: 10.1021/cm011160s.
- [11] A. Wibowo et al., "ZnO nanostructured materials for emerging solar cell applications," *RSC Adv.*, vol. 10, no. 70, pp. 42838–42859, 2020, doi: 10.1039/d0ra07689a.
- [12] M. Biçer, M. Gökçen, and E. Orhan, "Fabrication and Photoanode Performance of ZnO Nanoflowers in ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cells," *SSRN Electron. J.*, vol. 131, no. June, pp. 2–7, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4072317.
- [13] N. Izu et al., "Polyol synthesis of Al-doped ZnO spherical nanoparticles and their UV-vis-NIR absorption properties," *Ceram. Int.*, vol. 40, no. 6, pp. 8775–8781, 2014, doi: 10.1016/j.ceramint.2014.01.099.
- [14] M. Rajalakshmi, S. Sohila, S. Ramya, R. Divakar, C. Ghosh, and S. Kalavathi, "Blue green and UV emitting ZnO nanoparticles synthesized through a non-aqueous route," *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 34, no. 8, pp. 1241–1245, 2012, doi: 10.1016/j.optmat.2012.01.021.
- [15] C. A. Jaramillo-Páez, J. A. Navío, M. C. Hidalgo, and M. Macías, "ZnO and Pt-ZnO photocatalysts: Characterization and photocatalytic activity assessing by means of three substrates," *Catal. Today*, vol. 313, no. December 2017, pp. 12–19, 2018, doi: 10.1016/j.cattod.2017.12.009.
- [16] X. Chen, Z. Wu, D. Liu, and Z. Gao, "Preparation of ZnO Photocatalyst for the Efficient and Rapid Photocatalytic Degradation of Azo Dyes," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 12, no. 1, pp. 4–13, 2017, doi: 10.1186/s11671-017-1904-4.
- [17] J. Xie, Y. Cao, D. Jia, Y. Li, and Y. Wang, "Solid-state synthesis of Y-doped ZnO nanoparticles with selective-detection gas-sensing performance," *Ceram. Int.*, vol. 42, no. 1, pp. 90–96, 2016, doi: 10.1016/j.ceramint.2015.07.135.
- [18] J. Guo and C. Peng, "Synthesis of ZnO nanoparticles with a novel combustion method and their C₂H₅OH gas sensing properties," *Ceram. Int.*, vol. 41, no. 2, pp. 2180–2186, 2015, doi: 10.1016/j.ceramint.2014.10.017.
- [19] M. C. Li et al., "Effect of annealing temperature on the optoelectronic properties and structure of NiO films," *Ceram. Int.*, vol. 48, no. 2, pp. 2820–2825, 2022, doi: 10.1016/j.ceramint.2021.10.071.
- [20] G. T. Anand, R. Nithiyavathi, R. Ramesh, S. John Sundaram, and K. Kaviyarasu, "Structural and optical properties of nickel oxide nanoparticles: Investigation of antimicrobial applications," *Surfaces and Interfaces*, vol. 18, no. February, p. 100460, 2020, doi: 10.1016/j.surfin.2020.100460.
- [21] P. Iyyappa Rajan et al., "Green-fuel-mediated synthesis of self-assembled NiO nano-sticks for dual applications-photocatalytic activity on Rose Bengal dye and antimicrobial action on bacterial strains," *Mater. Res. Express*, vol. 4, no. 8, 2017, doi: 10.1088/2053-1591/aa7e3c.
- [22] A. A. Ezhilarasi, J. J. Vijaya, L. J. Kennedy, and K. Kaviyarasu, "Green mediated NiO nano-rods using Phoenix dactylifera (Dates) extract for biomedical and environmental applications," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 241, no. November 2019, p. 122419, 2020, doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.122419.

- [23] S. T. Fardood, A. Ramazani, and S. Moradi, "A novel green synthesis of nickel oxide nanoparticles using arabic gum," *Chem. J. Mold.*, vol. 12, no. 1, pp. 115–118, 2017, doi: 10.19261/cjm.2017.383.
- [24] A. A. Ezhilarasi, J. J. Vijaya, K. Kaviyarasu, M. Maaza, A. Ayeshamariam, and L. J. Kennedy, "Green synthesis of NiO nanoparticles using *Moringa oleifera* extract and their biomedical applications: Cytotoxicity effect of nanoparticles against HT-29 cancer cells," *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 164, pp. 352–360, 2016, doi: 10.1016/j.jphotobiol.2016.10.003.
- [25] M. El-Kemary, N. Nagy, and I. El-Mehasseb, "Nickel oxide nanoparticles: Synthesis and spectral studies of interactions with glucose," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 16, no. 6, pp. 1747–1752, 2013, doi: 10.1016/j.mssp.2013.05.018.
- [26] M. A. Ciolan and I. Motrescu, "Pulsed Laser Ablation: A Facile and Low-Temperature Fabrication of Highly Oriented n-Type Zinc Oxide Thin Films," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.3390/app12020917.
- [27] T. P. Mokoena et al., "Enhanced propanol gas sensing performance of p-type NiO gas sensor induced by exceptionally large surface area and crystallinity," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 571, no. April 2021, p. 151121, 2022, doi: 10.1016/j.apsusc.2021.151121.
- [28] L. Zhu, Y. Li, and W. Zeng, "Hydrothermal synthesis of hierarchical flower-like ZnO nanostructure and its enhanced ethanol gas-sensing properties," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 427, no. 3, pp. 281–287, 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.08.229.
- [29] N. D. Hoa, P. Van Tong, C. M. Hung, N. Van Duy, and N. Van Hieu, "Urea mediated synthesis of Ni(OH)₂ nanowires and their conversion into NiO nanostructure for hydrogen gas-sensing application," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 19, pp. 9446–9453, 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.03.166.
- [30] P. Dai, T. tao Yan, X. xin Yu, Z. man Bai, and M. zai Wu, "Two-Solvent Method Synthesis of NiO/ZnO Nanoparticles Embedded in Mesoporous SBA-15: Photocatalytic Properties Study," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 11, no. 1, 2016, doi: 10.1186/s11671-016-1445-2.
- [31] J. Cai, R. Li, J. Cao, J. Liu, J. Han, and M. Huang, "Plasmonic Au-decorated hierarchical p-NiO/n-ZnO heterostructure arrays for enhanced photoelectrochemical water splitting," *Phys. E Low-Dimensional Syst. Nanostructures*, vol. 135, no. September 2021, p. 114974, 2022, doi: 10.1016/j.physe.2021.114974.
- [32] P. Sahoo, A. Sharma, S. Padhan, and R. Thangavel, "Construction of ZnO@NiO heterostructure photoelectrodes for improved photoelectrochemical performance," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 73, pp. 36176–36188, 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.154.
- [33] C. Su et al., "Glucose-assisted synthesis of hierarchical NiO-ZnO heterostructure with enhanced glycol gas sensing performance," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 329, no. March 2020, p. 129167, 2021, doi: 10.1016/j.snb.2020.129167.
- [34] M. Biçer, "One-Step Hydrothermal Deposition of ZnO–TiO₂ Heterojunction Nanostructures as Photoelectrochemical Performance for Sb₂S₃ Quantum-Dot-Sensitized Solar Cells by High-Efficiency Enhancement," *Crystallogr. Reports*, vol. 66, no. 6, pp. 1117–1124, 2021, doi: 10.1134/S1063774521060067.
- [35] M. Biçer, "ZnO-TiO₂ Hetero Nanoyapılarının Sentezi ve Güneş Pilleri için Fotoelektrokimyasal Performansı" *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 9, 262–272, 2021, doi: 10.29130/dubited.840584.

- [36] M. A. Shafi, A. Bouich, K. Fradi, J. M. Guaita, L. Khan, and B. Mari, "Effect of deposition cycles on the properties of ZnO thin films deposited by spin coating method for CZTS-based solar cells," *Optik (Stuttg.)*, vol. 258, no. September 2021, p. 168854, 2022, doi: 10.1016/j.ijleo.2022.168854.
- [37] P. K. Sharma, R. K. Dutta, and A. C. Pandey, "Effect of nickel doping concentration on structural and magnetic properties of ultrafine diluted magnetic semiconductor ZnO nanoparticles," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 321, no. 20, pp. 3457–3461, 2009, doi: 10.1016/j.jmmm.2009.06.055.
- [38] G. Vijayaprasath et al., "Role of nickel doping on structural, optical, magnetic properties and antibacterial activity of ZnO nanoparticles," *Mater. Res. Bull.*, vol. 76, pp. 48–61, 2016, doi: 10.1016/j.materresbull.2015.11.053.
- [39] Y. Liu, G. Li, R. Mi, C. Deng, and P. Gao, "An environment-benign method for the synthesis of p-NiO/n-ZnO heterostructure with excellent performance for gas sensing and photocatalysis," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 191, pp. 537–544, 2014, doi: 10.1016/j.snb.2013.10.068.
- [40] A. Adachi, A. Kudo, T. Sakata, "The Optical and Photoelectrochemical Properties of Electrodeposited CdS and SnS Thin Films," *Bull. Chem. Soc. Jpn*, vol. 68, pp. 3283-3288, 1995, doi: 10.1246/bcsj.68.3283.
- [41] M. Biçer, İ. Şişman, "Electrodeposition and growth mechanism of SnSe thin films," *Appl. Surf. Sci*, vol. 257, pp. 2944–2949, 2011, doi:10.1016/j.apsusc.2010.10.096.
- [42] K. R. Rajesh, C. S. Menon, "Electrical and optical properties of vacuum deposited MnPc thin films," *Eur. Phys. J. B*, vol. 47, pp. 171, 2005, doi: 10.1140/epjb/e2005-00317-x.
- [43] G. Srinet, R. Kumar, and V. Sajal, "Structural, optical, vibrational, and magnetic properties of sol-gel derived Ni doped ZnO nanoparticles," *J. Appl. Phys.*, vol. 114, no. 3, 2013, doi: 10.1063/1.4813868.
- [44] R. N. Ali, H. Naz, J. Li, X. Zhu, P. Liu, and B. Xiang, "Band gap engineering of transition metal (Ni/Co) codoped in zinc oxide (ZnO) nanoparticles," *J. Alloys Compd.*, vol. 744, pp. 90–95, 2018, doi: 10.1016/j.jallcom.2018.02.072.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Eş Zamanlı Veri Transferi ile Lcr-Metre ve Doğru Akım Kaynaklarının Senkron Çalıştırılması Sağlanarak Yarıiletken Cihazların Karakterizasyonunda Yeni Yöntem Geliştirilmesi

Gülçin ERSÖZ DEMİR^{a,*}, İbrahim YÜCEDAĞ^b, Ercan ŞAHİN^b, Yakup BAKIŞ^c

^a Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İşletme Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^c İRADETS, İnovatif Radyasyon Dedektör Sistemleri, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: glcnersoz@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1171603

ÖZ

Organik elektronik alanında üretilen yarıiletken aygıtlar yüksek elektrik alanlar altında tetiklenmektedir ve bu tür aygıtların dielektrik analizini 100-200 V'luk gerilim altında yapan cihazlar piyasada bulunmamaktadır. Bu problemi çözebilmek için yüksek gerilim altında dielektrik analiz yapabilen niteliklere sahip bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Bunun için geniş bir frekans aralığında birkaç voltluk AC uygulayarak dielektrik spektroskopisi analizi yapan cihaza, harici bir DC gerilim kaynağı uygun bir şekilde bağlandı. Bu iki cihazın eşzamanlı çalışması gerekmektedir fakat bu işlemin bağımsız iki cihaz için manuel olarak yapılması oldukça zordur. Bu çalışmada, geliştirdiğimiz eş zamanlı veri transfer programı kullanılarak DC gerilim kaynağı (yarıiletken malzemeler veya aygıtların Akım-Gerilim (I-V) özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan) ve LCR Metre cihazının (Kapasitans-Gerilim (C-V), Kapasitans-Frekans (C-f), Kondüktans-Gerilim (G-V) ve Kondüktans-frekans (G-f) özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan) eş zamanlı haberleşebilmesi için program geliştirilmiştir. Eş zamanlı veri transfer program ile elde edilen tüm veriler program arayüzünde oluşturulan Excel dosyasına aktararak dielektrik spektroskopik özelliklerine ait bilgiler kayıt edilmektedir. Geliştirilen programın literatürde dielektrik özellikleri daha önceden belirlenmiş malzemeler üzerine yapılan ön çalışmalarda tutarlı ve hassas veriler elde edilebildiği ve yüksek bir performansla çalıştığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik Spektroskopisi, Eş Zamanlı Programlama, LCR Metre, DC gerilim kaynağı.

Developing A Novel Method for The Characterization of Semiconductor Devices by Providing Synchronous Operation of Lcr-Meters and Direct Current Sources by Using Real-Time Data Acquisition

ABSTRACT

Semiconductor devices produced in the field of organic electronics are triggered under high electric fields, and since such studies are new in the literature, devices that perform dielectric analysis under voltage of 100-200 V are not available in the market. In order to solve this problem, a measurement system with such characteristics was developed. For this purpose, an external DC voltage source was conveniently connected to the device that performs dielectric spectroscopy analysis by applying a few volts of AC over a wide frequency range. These two devices need to be perfectly synchronized, but it is very difficult to do this manually for two independent devices. In this study, a program that enables simultaneous communication between the DC voltage source (used in the determination of the Current-Voltage (I-V) properties of semiconductor materials and devices) and the LCR Meter

1794

device (used to determine the basic properties such as Capacitance-Voltage (C-V), Capacitance-Frequency (C-f), Conductance-Voltage (G-V), and Conductance-frequency (G-f)) was developed using real-time data acquisition program. All data obtained with the program can be transferred to the Excel file created in the program interface, and information on dielectric spectroscopic properties can be recorded. It was observed that the developed program was able to obtain consistent and sensitive data in preliminary studies on materials whose dielectric properties were previously determined in the literature, and that it worked with a high performance.

Keywords: Dielectric Spectroscopy, Simultaneous Programming, LCR Meter, Source Meter.

I. GİRİŞ

Elektromanyetik özelliklerle ilgili yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde, geniş frekans aralıklarında analiz ve inceleme yapma yönünde ilerlediği görülmektedir[1]–[6]. Modern araştırma laboratuvarları her yıl ölçüm sistemlerini ve cihazlarını revize etmektedir. Verileri toplama ve işlemede kullanılan ölçüm araçları ve yazılımlar doğru seçildiğinde daha doğru ve bilimsel gerçekliğe daha yakın sonuçlar edilmektedir. Bu durum hem laboratuvar ortamının etkin kullanımını hem de araştırmacıların zamanını verimli kullanılmasını sağlayarak, laboratuvarında çalışanların üretkenliğini ve bilimsel çalışmaların sayısını artırmaktadır.

Genellikle sistem esnekliği ve gelişmiş otomasyon, evrensel ölçüm sistemi ve yazılım yolu ile elde edilmektedir. Bilgisayar ve bağlantılar arasındaki iletişim ve uyum; donanım, yazılım ve tasarım araçlarının kombinasyonu ile sağlanmaktadır[7], [8]. Ölçüm sistemi ve bilgisayar etkileşimini sağlama, ölçülen değerleri işleme ve sanal ölçüm sistemleri geliştirmeyi sağlayan yazılım arayüzlerinden biri de eş zamanlı veri transfer programlama sistemidir. Eş zamanlı veri transfer programının kullanılmasıyla uygulamaların yapılabirliği hem pratikleşmekte hem de hata oranları azalmaktadır[9], [10]. Özellikle araştırma laboratuvarlarında dielektrik spektroskopi ölçüm sistemi, fotovoltajik ölçüm sistemi, manyetik ölçüm sistemleri, fiziksel, kimyasal ölçüm sistemleri ve daha birçok cihaz farklı eş zamanlı veri transfer programları yönetilebilmektedir. Bu ölçüm sistemlerinden dielektrik spektroskopi ölçüm sistemi, ışık, sıcaklık ve harici dış dc gerilim gibi değişik tetiklemelerin eş zamanlı programlanmasıyla sürekli olarak geliştirilebilmektedir[7], [11]–[13].

A. DIELEKTRİK SPEKTROSKOPİ

Genel olarak dielektrik spektroskopi, geniş bir frekans aralığında uygulanan düşük elektrik alanları altında malzemelerin elektriksel özelliklerinin incelenmesi olarak tanımlanabilir. Malzemelerin elektrik ve dielektrik özelliklerinin hassas ve doğru bir şekilde incelenmesi, yapılan çeşitli ticari veya teknolojik uygulamalar için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda bazı organik malzeme tabanlı cihazlarda cihazın aktif hale gelmesi için yüksek elektriksel alan uygulanmasının gerektiği görülmüş, bu nedenle de yüksek elektrik alan altında malzemelerin değişen elektrik alan altındaki davranışları araştırma konusu olmuştur[14]–[21]. Bu tür organik elektronik cihazların çalışma gerilimi kimi zaman DC yüksek alan gerektirmektedir. Bu durum cihazların iç yük dengesinde çeşitli elektriksel kutuplanma mekanizmalarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan elektriksel kutuplanma mekanizmaları elektronik cihazlarının performansının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Kutuplanma mekanizmalarını açıklayabilmek ve hesaplayabilmek için elektronik cihazların dielektrik spektroskopisi yöntemiyle dielektrik parametrelerinin hesaplanabilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmalarda malzemelere geniş bir frekans aralığında AC uygulanırken aynı zamanda ikinci bir kaynakla harici DC uygulanarak malzemelerin farklı elektriksel zorlamalar altında çok daha geniş kapsamlı elektriksel analizleri yapılabilmektedir. Ancak bu özelliklerin ikisine birden sahip olan cihazlar çok yüksek maliyetli olmakla birlikte uygulanan DC bias gerilimleri ± 40 V'u geçememektedir.

Literatürde dielektrik spektroskopisi ölçüm cihazları kendinden DC beslemeli ve maksimum ± 40 V aralığında çalışmaktadır. Bu değer bile bazı yüksek DC tetiklemesi gerektiren uygulamalar için yetersiz gelmektedir. GW Instek 8105 LCR metre cihazı ise yine kendinden DC beslemeli bir cihaz olup

maksimum ± 2 V aralığında DC gerilim sağlamaktadır. Bu sebeple, hem yüksek DC ön gerilim isteyen çalışmaları gerçekleştirebilmek amacıyla hem de GW Instek 8105 LCR metre cihazının DC ön gerilim aralığını artırabilmek amacıyla ikinci bir kaynak ile DC yüksek elektrik alan uygulama yoluna gidilmiştir. Bu şekilde ± 200 V DC yüksek ön gerilimli elektrik alanda AC frekansa karşı dielektrik özelliklerin değişiminin incelenmesi sağlanacaktır.

Dielektrik spektroskopi analizleri için örnek verilebilecek en önemli fiziksel ölçüm sistemlerinden biri de LCR (Bobin (L), kondansatör (C) ve direnç (R)) metrelerdir. Bu cihazlar çeşitli frekanslarda küçük elektrik alan uygulayarak (1 V/cm^2) geçen AC akım şiddetini ve faz farkını ölçerek kapasitans (C) ve kondüktans (G) değerlerini belirlemektedir. Bu iki değer kullanılarak çeşitli matematiksel eşitlikler yardımı ile dielektrik sabiti (ϵ'), dielektrik kayıp (ϵ''), dielektrik kayıp açısı ($\tan\delta$), reel ve imajiner elektrik modülü (M' ve M''), reel ve imajiner empedans (Z' ve Z'') gibi her bir malzemenin farklı elektrik ve dielektrik özelliğini tanımlamada kullanılan temel parametreler hesaplanabilmektedir[22]–[26].

Bu çalışmada; harici bir DC gerilim kaynağı (Keithley 2400 SMU) ile LCR Metre (GW Instek 8105 LCR) cihazlarının eş zamanlı veri transfer programı kullanılarak eş zamanlı haberleşmesini sağlayan ve dielektrik özelliklere ait elde edilen verileri Excel dosyasına aktaran program geliştirilmiştir. Kullandığımız programın arayüzüne temel dielektrik parametreleri hesaplamak ve ölçüm sürecini otomatikleştirmek amacıyla çeşitli modüller eklenmiştir. GW Instek 8105 LCR metre ölçüm cihazı standart olarak 20 Hz ile 5 MHz frekans aralığında çeşitli elektrofiziksel parametreleri ölçebilmekte ve ölçtüğü değerleri kayıt edebilmektedir[27]. Keithley 2400 SMU cihazı ise ± 200 V aralığında ön gerilim uygulayarak malzeme ve cihazların akım-gerilim (I-V) karakteristiğini alabilmektedir[28]. Ayrıca her iki cihaz ön panelinde bulunan butonlar ile manuel olarak da kontrol edilebilmektedir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

Keithley 2400 SMU (Şekil 1 (a)) bir akım kaynağıdır ve analiz edilecek malzemelerin kontaklarına çeşitli değerlerde elektrik alan uygulamak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte GW Instek 8105 LCR (Şekil 1 (b)) dielektrik parametreleri ölçmek için küçük değerlerde malzemelerin kontaklarına AC uygulamaktadır. Keithley 2400 DC kaynak LCR metreye yüksek değerlerde gerilim uygularken aynı zamanda LCR metre de yüksek frekanslarda AC zorlamayı DC kaynağa uygulayacaktır. Bu durum iki cihazın sağlıklı çalışmasına engel olmasının yanı sıra cihazların bozulmasına neden olabilecektir. Bu yüzden olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için GW Instek LCR-8105G-02 DC bias kutusu sisteme dâhil edilmiştir (Şekil 1 (c)). Böylece bu iki farklı özellikteki cihazın birbirini etkilemeden geliştirdiğimiz program yardımıyla eşzamanlı çalışması sağlanmıştır. Bu iki cihazın bir birini etkileyip etkilemediği her iki cihaz bağlantı noktalarından osiloskop yardımıyla kontrol edilerek onaylanmıştır. DC bias kutusunun BNC giriş uçları GW Instek 8105 LCR metreye ve DC volt giriş uçları ise Keithley 2400 SMU cihazına ve ölçüm uçları analiz edilecek numunenin iki kantağına bağlanmıştır. Bu iki cihazın bilgisayarla haberleşmesini sağlayacak bir GPIB kartı ve GPIB kablosu cihazlara takılmış ve GPIB kartının USB girişi de bilgisayara bağlanarak sistem yazılım için uygun hale getirilmiştir. Fiziksel bağlantılar tamamlandıktan sonra ölçüm yapılabilmesi için eş zamanlı veri transfer programı yazılmıştır.



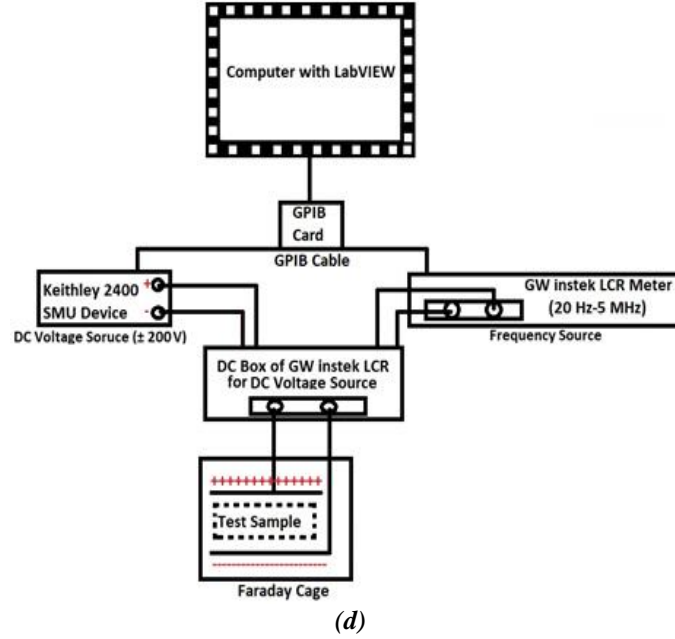
(a)



(b)



(c)



Şekil 1. (a) Keithley 2400 SMU, (b) GW Instek 8105 LCR, (c) GW Instek LCR-8105G-02, (d) Geliştirilen program ile eşzamanlı haberleşme ve dielektrik ölçüm sisteminin şematik gösterimi

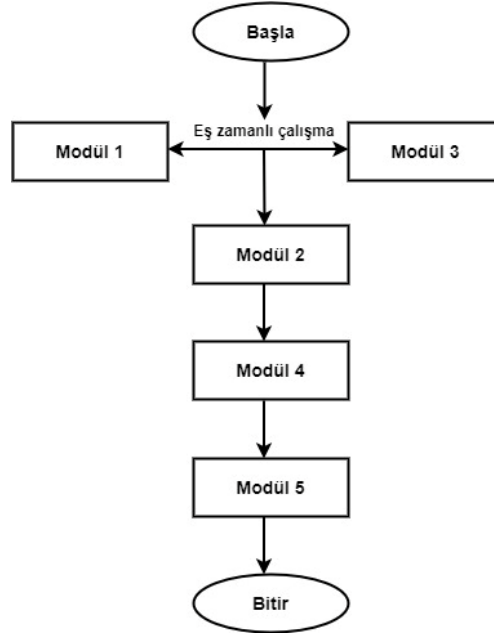
Yazılan programın doğruluğu literatürde bilinen malzemelerin ölçümü ile test edilmiştir. Bu ölçümü yapabilmek için yüksek derecede iletkenliğe sahip olan dikdörtgen şeklinde iki adet metal plaka kullanılmıştır. Plakalar LCR metreden çıkan uçlara bağlanmış ve tamamen dış ortamdan izole edilerek dış alanlardan etkilenmemesi amacıyla bir faraday kafesinin içine konulmuştur. Ölçülen numuneler plakaların boyutlarını geçmeyecek şekilde benzer geometrik boyutlara sahiptir ve plakalar arasındaki dielektrik malzemelerin kalınlığı ise farklıdır. Metal plakalarının uzunluğu 3 ve genişliği 2 cm'dir. Bu sistemin şematik gösterimi Şekil 1 (d)'de verilmiştir.

III. SONUÇLAR

A. MODÜLLER

Sistemin yazılımı için 5 adet komut modül kullanılmış ve bu modüller birleştirilerek ortak program oluşturulmuştur. Bu modüller veri transfer arayüz programında sırasıyla LCR metre sürücüsü, Keithley 2400 SMU sürücüsü, dielektrik parametre hesaplamaları, grafik oluşturma ve hesaplanan dielektrik parametreler, grafikleri kayıt etmek için ve Excel dosyası oluşturulması şeklinde yazılmıştır.

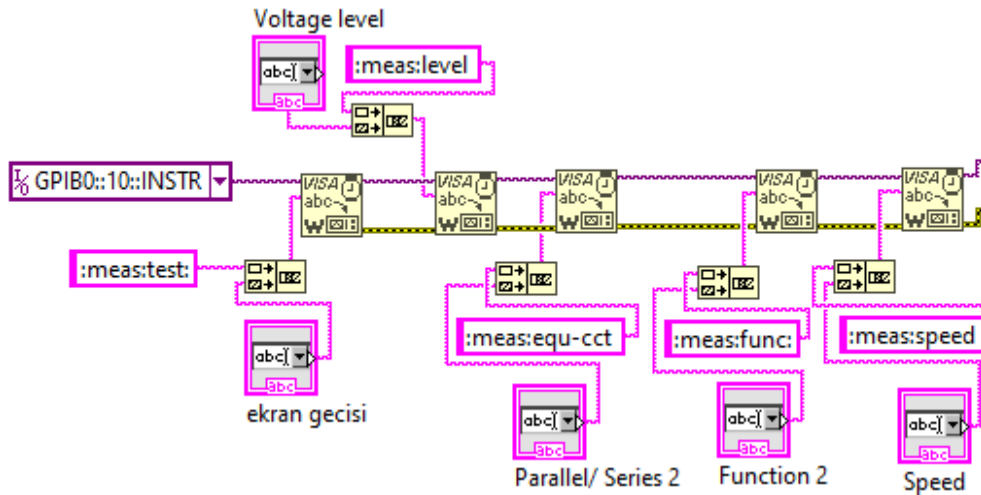
Modüllerin çalışma sırası ise Modül 1 ve Modül 3 ün eş zamanlı çalışmasından sonra Şekil 2'de belirtilen Modül numarasına göre gitmektedir. İlk olarak; Modül 1 yazılmış ve ardından dielektrik spektroskopide hesaplanması gereken parametreler için Modül 2 eklenmiştir. Modül 2'nin doğru veri alabilmesi için Modül 3 yazılmış ve burada Modül 1 ile Modül 3'ün eş zamanlı çalışması sağlanmıştır. Ardından Modül 2 hesaplanan verileri kaydetmiştir. Modül 2 ile hesaplanan parametrelerin grafik arayüzünün oluşturulması için ise Modül 4 çalıştırılmıştır. Grafiksel verileri Excel ortamına aktarmak için Modül 5 yazılmış ve çalıştırılmıştır. Programın çalışma işleyişi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Program çalışma şeması

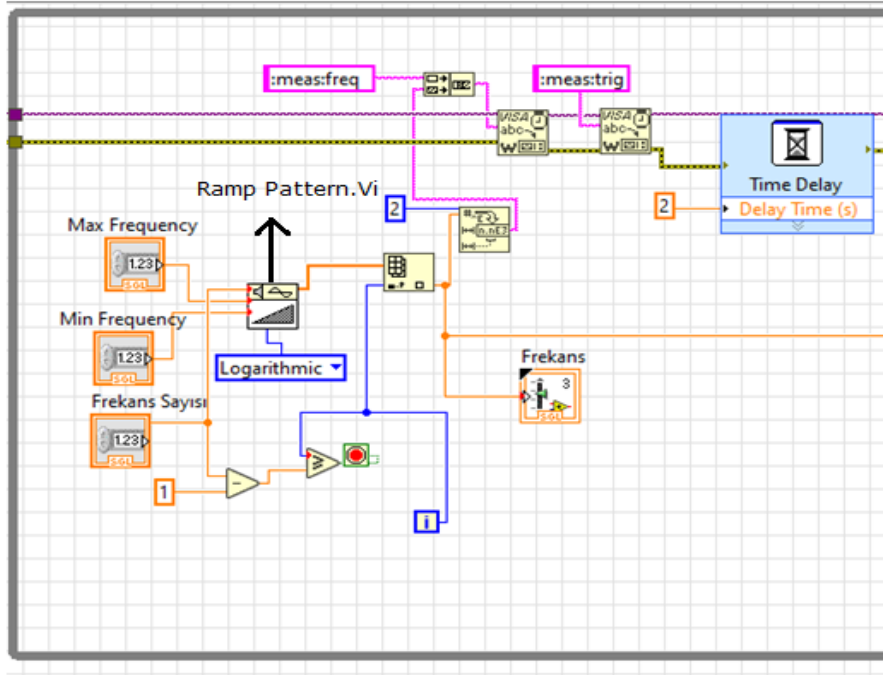
A. 1. Modül 1: GW Instek 8105 LCR Cihazının Program Sürücüsü

GW Instek 8105 LCR cihazının internette hazır bir program sürücüsü bulunmadığı için cihazın programlama manuelinden faydalanılarak GW Instek 8105 LCR'nin giriş parametrelerinin “girdi” olarak cihaza gönderildiği bir komut modülü oluşturuldu. Yazılan komut modülünün blok diyagramı Şekil 3'de verilmiştir. Modülde öncelikle cihazların haberleşmesi için veri transfer programı tarafından geliştirilen K-USB-488B GPIB (IEEE-488 AC/DC dönüştürücü kart) haberleşme protokolü komut dizini olarak kullanılmıştır.



Şekil 3. GW Instek 8105 LCR cihazının veri transferi için ölçüm başlangıç parametre giriş modülü

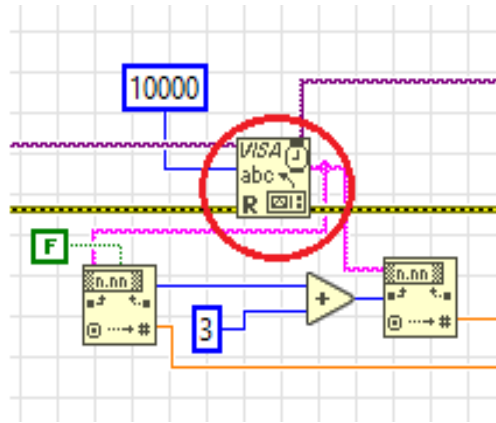
Giriş parametrelerinden biri ölçüm için belirlenen frekans bilgileridir. Bu frekans değerleri sağlıklı bir ölçümün yapılabilmesi için cihaza her ölçüm için bir önceki ölçüm bittikten belli bir süre sonra (delay time tool: ölçülen numunenin ölçümden önceki haline dönmesi için birkaç saniyelik dinlenme (relaksasyon) zamanı) :meas: freq değer komutu ile frekans sayısı kadar tekrarlanan bir komut döngüsü ile gönderilmesi gerekmektedir. Bunun içinde While döngüsü kullanılmıştır.



Şekil 4. Logaritmik Frekans girdilerinin oluşturulması ve cihaza gönderilmesi

Frekans değerleri 20-5.10⁶ Hz gibi oldukça geniş bir aralıkta olduğu için literatürde sıklıkla kullanılan logaritmik bir artışta değerler seçilmektedir. Logaritmik Frekans girdilerinin oluşturulması ve cihaza gönderilmesi için tasarlanan komut modülü Şekil 4'te gösterilmiştir. Logaritmik dağılımı sağlayabilmek için kullanıcı tarafından arayüze girilen başlangıç ve bitiş frekans değerleri veri transfer programının komut sisteminde hazır bir tool olan ve Şekil 4 içinde gösterilen Ramp Patern.Vi tool'u kullanılmıştır.

Bir sonraki aşamada gönderilen frekans ve diğer başlangıç ölçüm komutlarının sonucunda cihazın okuduğu değerin veri olarak alınmasını sağlayan Şekil 5'teki Read tool'u kullanılmıştır.



Şekil 5. Veri Transfer programında Read Tool'unun blok görünümü

A. 2. Modül 2: Eş Zamanlı Veri Transfer Programı ile Dielektrik Parametrelerin Hesaplanması

Kapasitans (C) ve kondüktans (G) değerleri ± 200 V ve 20 Hz ile 5 MHz aralığında ölçülebilmektedir. C ve G verilerinden hesaplanan; ac elektriksel iletkenlik (σ_{ac}), dielektrik kayıp açısı ($\tan\delta$) ve dielektrik sabiti ve kaybı (ϵ' ve ϵ''), reel ve imajiner elektrik modülü (M' ve M''), reel ve imajiner empedans (Z' ve Z'') olmak üzere toplamda 8 adet dielektrik parametre program arayüzünde Şekil 6'da verilen modül ve

denklemlerden hesaplanmaktadır. Hesaplamanın yapılabilmesi için ölçülen numunenin çap, kalınlık değerleri ile her ortam için sabit bir değer olan ϵ_0 (serbest uzayın dielektrik sabiti) değeri girdi olarak kullanıcı tarafından girilmektedir. Bu girdiler ile elde edilecek hesaplamalar veri transfer programına aşağıdaki fiziksel formüllerle yaptırılmakta ve bu formüller komut olarak programa aktarılmaktadır. Numunenin çap ve kalınlık değerlerinin belirlenmesi ile birlikte öncelikle πr^2 formülünden metal kontak temas alanı A hesaplanabilmekte ve Denklem 1'de aşağıdaki gibi kullanılmaktadır[29].

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (1)$$

Burada C_0 ; serbest uzayın (boşluğun) kapasitansı, ϵ_0 ; serbest uzayın dielektrik sabiti ve değeri $8,85 \times 10^{14}$ F/cm², A; metal kontak temas alanı ve d; numunenin kalınlığıdır. Geliştirdiğimiz programın arayüzüne numunenin kalınlığı ve çapı girildikten sonra C_0 otomatik olarak program tarafından hesaplanmaktadır. C_0 'ın belirlenmesinden sonra dielektrik parametreler veri transfer programında aşağıda verilen formüllerle tanımlanmış ve hesaplatılmıştır.

Dielektrik sabiti ve kaybı için denklem 2 kullanılmıştır[30]:

$$\epsilon' = \frac{C}{C_0} \quad , \quad \epsilon'' = \frac{G}{C_0} \quad (2)$$

Dielektrik kayıp açısı için denklem 3 kullanılmıştır[31]:

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (3)$$

Reel ve imajiner elektrik modülü için denklem 4 kullanılmıştır[32], [33]:

$$M' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2}, \quad M'' = \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (4)$$

Reel ve imajiner empedans için denklem 5 kullanılmıştır[32]:

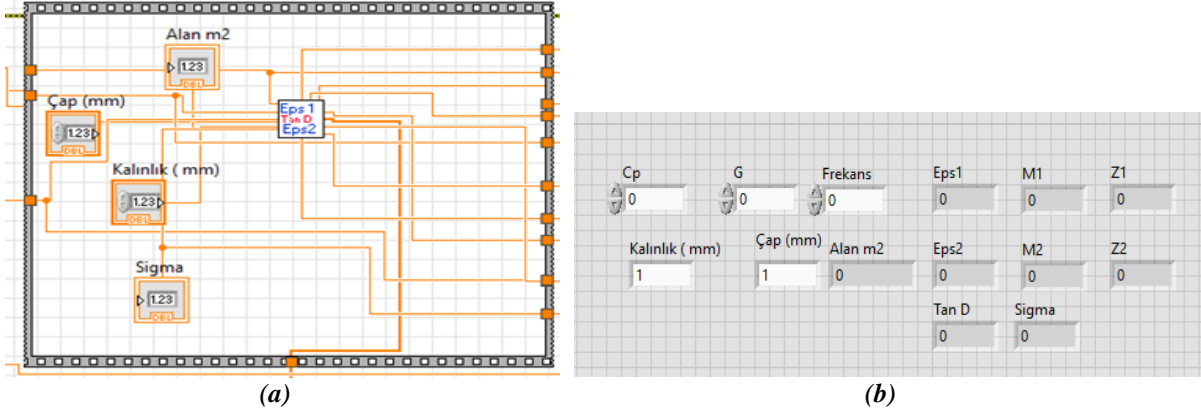
$$Z' = \frac{G}{G^2 + (\omega C)^2}, \quad Z'' = \frac{1}{\omega C} \quad (5)$$

Ac elektriksel iletkenlik için aşağıdaki denklem 6 kullanılmıştır[34]:

$$\sigma_{ac} = \epsilon'' \epsilon_0 \omega \quad (6)$$

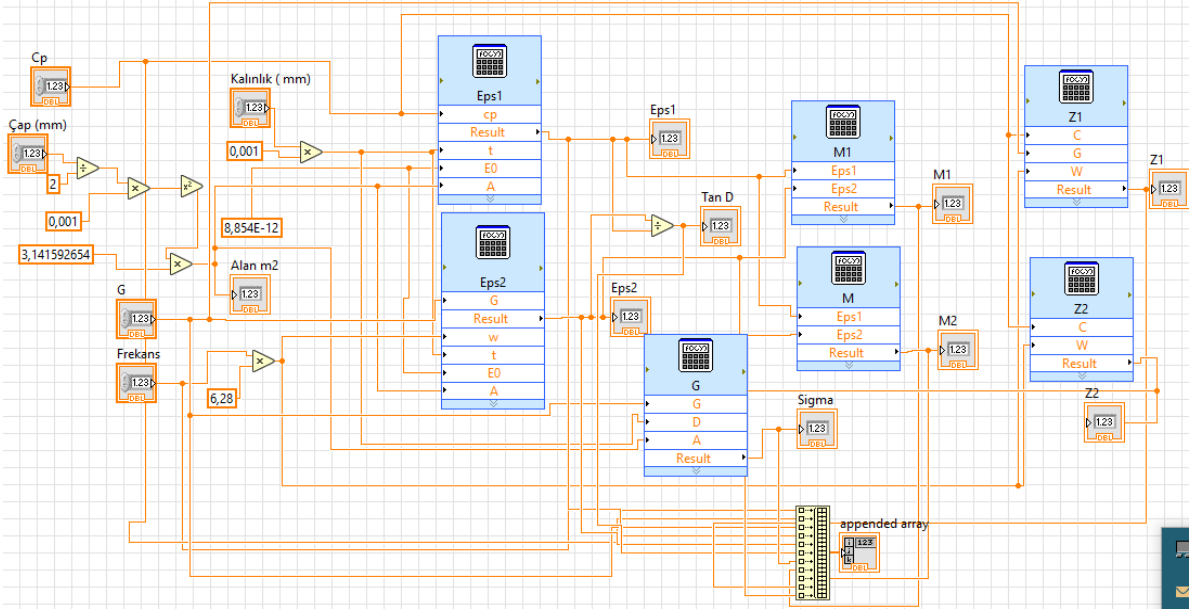
Bu denklemlerde ω açısal frekanstır ve $2\pi f$ ile ifade edilmektedir.

Bu hesaplamaları yaparken aynı zamanda veri olarak kaydeden ve Denklem 1-6'daki tüm parametreleri işleyen bir algoritma tool'u oluşturulmuştur. Komut modülü olarak geliştirdiğimiz bu tool, dielektrik parametreleri hesaplayan ve Şekil 6'da blok ve ön paneli gösterilen sabit değerler ve EPS1&TAND&EPS2.Vi algoritmasıdır. Bu algoritmanın ön panel görünümünde şekilde görülen beyaz renkli değerler girdi buna karşılık hesaplanan değerler (gri) çıktı olarak programa aktarılmaktadır.



Şekil 6. Sabit değerler ve EPS1&TAND&EPS2.Vi algoritması (a) Blok diyagram (b) Ön panel görünümü

Denklem 1-6'daki tüm dielektrik parametreleri program içerisinde işleten ve hesaplayan alt program tool'u Şekil 6(a)'daki EPS1&TAND&EPS2.Vi algoritması çok büyük ve geniş yer kaplayacağı için ayrı olarak oluşturulmuş ve programın kendisine bir alt program olarak ilave edilmiştir. Bu algoritmanın ayrıntılı komut modülü Şekil 7'de gösterilmiştir.



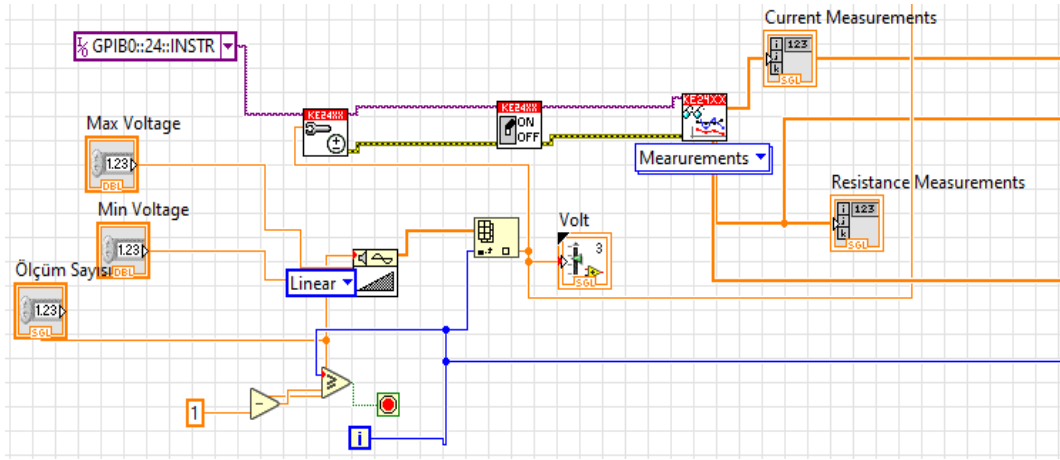
Şekil 7. Eş zamanlı veri transfer programı ile dielektrik parametrelerin hesaplanması için oluşturulan EPS1&TAND&EPS2.Vi komut modülü

A. 3. Modül 3: Keithley 2400 SMU Cihazının Veri Transfer Program Sürücüsü

Yukarıda bahsedilen frekans ölçüm döngüsü belirlenen logaritmik aralıktaki frekanslarda bir kere tamamlandıktan sonra Keithley 2400 SMU cihazına belirlenen DC bias bilgisi için farklı bir GPIB haberleşme kanalı kullanılarak giriş bilgileri gönderilir ve istenilen bias değeri göndermesi sağlanır ve her bir bias değeri için yukarıdaki frekans döngüsü tekrarlanmaktadır. Ayrıca ölçüm süreci saatleri bulabildiği için başlangıç ve bitiş değerlerini kullanıcı girdikten ve program başlatıldıktan sonra sistem otomatik olarak süreci işletmektedir.

Bias kısmındaki program parçasından bahsedecek olursak; Keithley 2400 SMU cihazının veri transfer program sürücüsü ve örnek komut alt program parçaları cihaz üreticisi firma tarafından internette paylaşılmıştır. Bu komut parçaları kullanılarak elde edilen alt program modülünün blok diyagramı Şekil

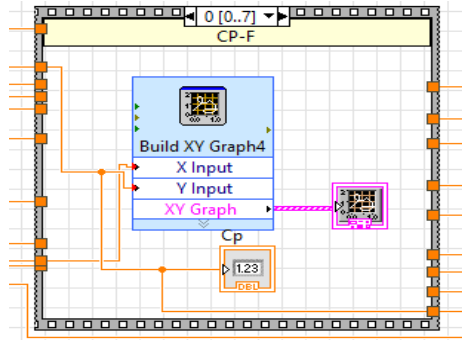
8'deki gibidir. Bu modülde; başlangıçta çıkış voltaj değerlerinin bir minimum ve maksimum arasında belirli linear artışlarla cihaza bildirilmesi ve bunun döngüsel olarak sağlanması için hazırlanan blok diyagram aşağıdadır. Cihaza gönderilen değerlerle birlikte cihaz aynı zamanda DC olarak numunenin direncini ve devreden geçen akım değerini de okumaktadır.



Şekil 8. Keithley 2400 SMU cihazının veri transfer program sürücü modülü

A. 4. Modül 4: Eş Zamanlı Veri Transfer ile Grafikselleştirme

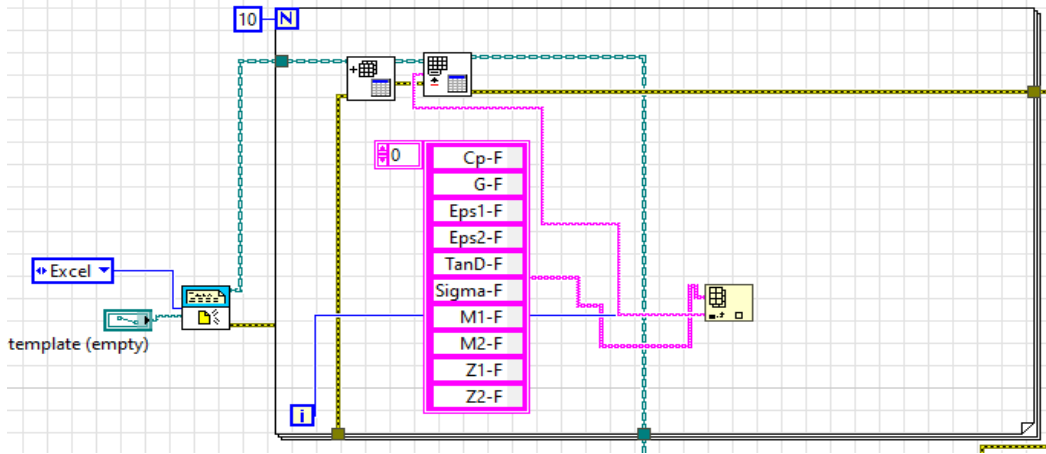
LCR cihazının doğrudan verdiği C ve G değerlerinin yanı sıra yukarıda hesaplamaları elde edilen parametrelerin de dâhil olduğu toplam 8 adet grafik (C-f, G-f, ϵ'' -f, ϵ'' - ϵ' , $\tan\delta$ -f, ϵ'' - ϵ' (cole-cole plot), M'-M" (Argand Diagram) ve Z'-Z" (Nyquist Diagram)) aşağıda Şekil 9 ile verilen modülde ekrana aktarılmaktadır. Şekil 9'da çerçevenin en üst ortasında yer alan sayılar (0...7) görselin kaçınıcı grafiğe ait olduğunu göstermektedir. Grafik geçişi için sayının sağında ve solundaki oklar kullanılmaktadır. Bu çerçeveye yukarıda bahsedilen toplam 8 adet (0...7 arası) grafik ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Tüm hesaplanan ve ölçülen değerler frekansa bağlı değişimi veren grafiksel görünüm için görselleştirilmektedir.



Şekil 9. Eş zamanlı veri transfer programında grafiksel arayüz oluşturmak için yapılan modül

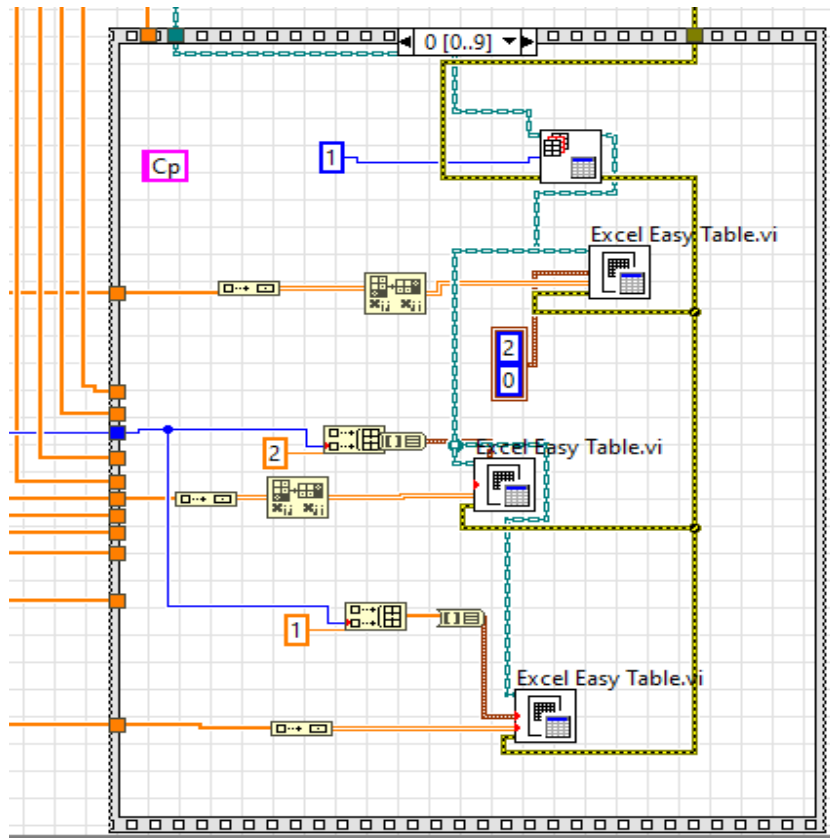
A. 5. Modül 5: Eş Zamanlı Veri Programı ile Excel Oluşturma ve Veri Aktarma

Yazılan programda son kısım ise ölçülen dataların doğru bir şekilde işlenebilmesi ve Excel ortamına doğrudan aktarılmasıdır. Bunun için veri transfer programında yukarıdaki modüller ile hesaplanan ve ekrana grafik olarak aktarılan verilerin Excel'de toplanması ve bilgisayara kaydedilmesi için aşağıda Şekil 10 ile verilen modül kullanılmıştır.



Şekil 10. Veri transfer programı ile Excel oluşturma ve elde edilen verileri Excel'e aktarma modülü.

Bu kısımda 10 farklı (C-f, G-f, ϵ -f, ϵ'' -f, $\tan\delta$ -f, σ_{ac} -f, M'-f, M''-f, Z'-f, Z''-f) dielektrik hesaplamannın daha sonra araştırmacı tarafından herhangi bir ayrıştırmaya gerek duymadan kolayca kullanılabilmesi için her bir veri grubu, kendi ismini taşıyan bir Excel sekmesine aktarılacak şekilde kurgulanmıştır Bunun için yine program içinde bulunan ve blok diyagramları Şekil 11'de verilen New report.vi, Excel get worksheet.vi ve Excel easy table.vi tool paketlerinden yararlanılmıştır.



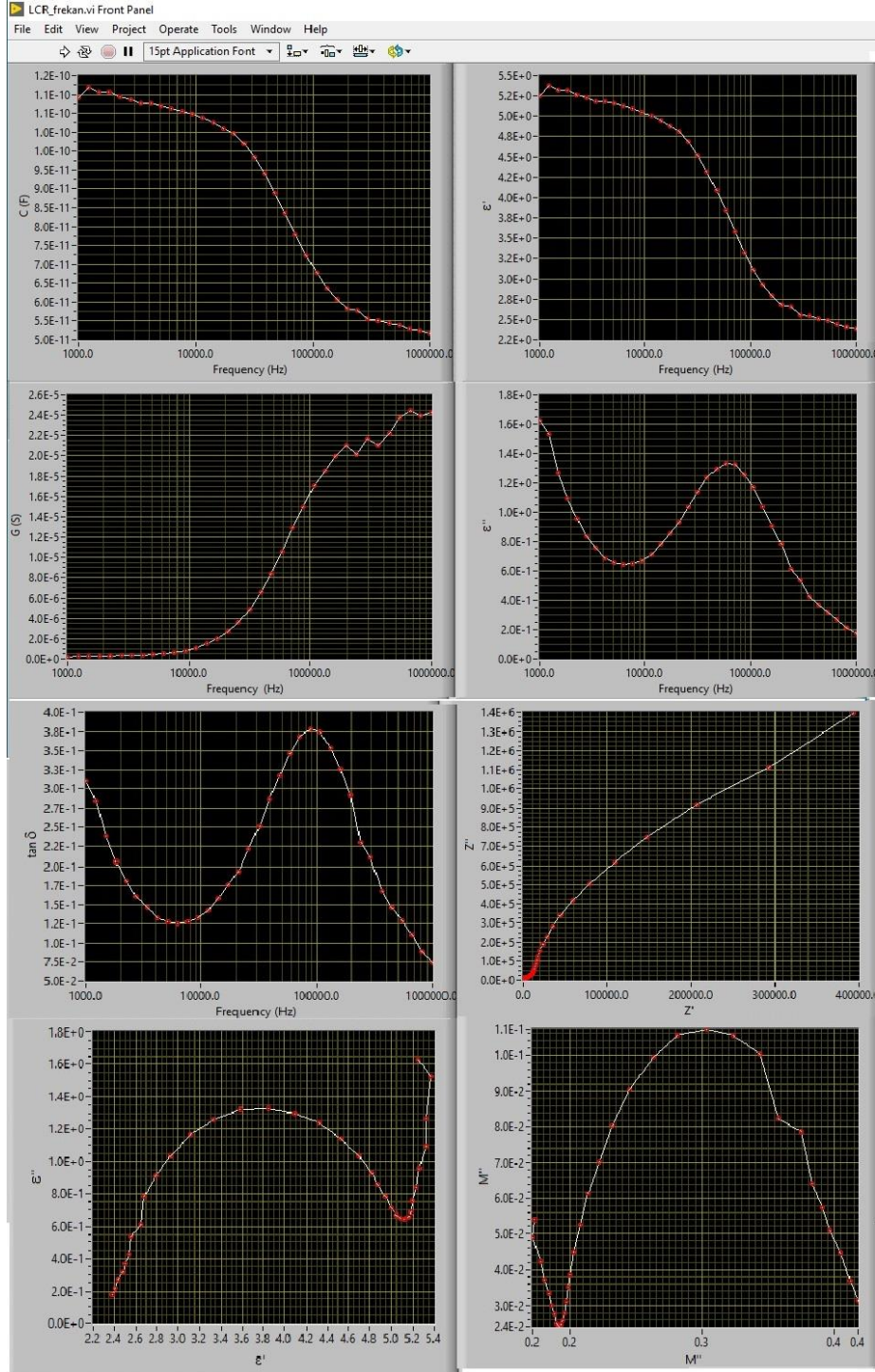
Şekil 11. New report.vi, Excel get worksheet.vi ve Excel easy table.vi tool paketlerinin blok diyagramı

Gerek cihazlara girdi olarak kullanılan değerler gerekse cihazlardan okunan sayısal değerler, integer, double, array, gibi farklı formatlarda olmaktadır ve bu farklı formatlar bazen aynı alt programda kullanılması gerekmektedir. Başka bir deyişle kullanılan alt programın girdisi veya çıktısı ile verilerin formatları uyuşmamaktadır. Bu durumda veri transfer programı içerisinde yer alan Built array, Transpse

2D array, array to cluster, 2D array to Dynamic data gibi çeşitli veri dönüştürücüleri program içinde çeşitli yerlerde kullanılmıştır.

B. SONUÇ ÇIKTILARI

Ölçümler için, literatürde çok kez uygulanmış ve pratik uygulanması sebebiyle kapasitif yöntem [5] seçilmiştir. Bunun yanı sıra literatürde dielektrik değerleri doğrulanmış sonuçlarla belirlenmiş olan PMMA (Poly(methyl methacrylate)) polimerinin ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümde aşağıda Şekil 12 ile verilen ekran görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 12. LCR&Keithley 2400 arayüzü ölçüm sonuçları

Ayrıca elde edilen verilerin aktarıldığı Excel çıktısı oluşturulurken her bir parametre için ayrı sayfa oluşturulması üzerine program geliştirilmiştir. Elde edilen Excel çıktısının ekran görüntüsü Şekil 13'de verilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Frequency (Hz)	Cp (F)	G (S)	Eps'	Eps''	tanδ	σ _{sc} (S.cm)	M'	M''	Z' (Ω)	Z'' (Ω)		
2	2.00E+01	1.18E-10	2.28E-07	5.41	1.67	3.09E-01	9.30E-08	1.69E-01	5.21E-02	3.82E+05	1.35E+06		
3	2.88E+01	1.17E-10	2.45E-07	5.38	1.47	2.72E-01	9.98E-08	1.73E-01	4.71E-02	2.81E+05	1.11E+06		
4	4.15E+01	1.15E-10	2.64E-07	5.30	1.29	2.43E-01	1.08E-07	1.78E-01	4.33E-02	2.11E+05	9.20E+05		
5	5.99E+01	1.16E-10	2.69E-07	5.33	1.07	2.01E-01	1.10E-07	1.80E-01	3.63E-02	1.44E+05	7.48E+05		
6	8.63E+01	1.15E-10	2.82E-07	5.30	0.92	1.73E-01	1.15E-07	1.83E-01	3.17E-02	1.03E+05	6.14E+05		
7	1.24E+02	1.14E-10	3.16E-07	5.24	0.84	1.60E-01	1.29E-07	1.86E-01	2.98E-02	7.90E+04	5.07E+05		
8	1.79E+02	1.13E-10	3.45E-07	5.22	0.75	1.43E-01	1.41E-07	1.88E-01	2.68E-02	5.81E+04	4.15E+05		
9	2.58E+02	1.13E-10	3.91E-07	5.19	0.69	1.33E-01	1.59E-07	1.89E-01	2.52E-02	4.45E+04	3.41E+05		
10	3.73E+02	1.12E-10	4.64E-07	5.17	0.67	1.29E-01	1.89E-07	1.90E-01	2.46E-02	3.55E+04	2.79E+05		
11	5.37E+02	1.11E-10	5.42E-07	5.13	0.64	1.24E-01	2.21E-07	1.92E-01	2.39E-02	2.81E+04	2.30E+05		
12	7.74E+02	1.11E-10	6.70E-07	5.09	0.64	1.27E-01	2.73E-07	1.94E-01	2.45E-02	2.35E+04	1.89E+05		
13	1.12E+03	1.10E-10	8.53E-07	5.05	0.67	1.33E-01	3.48E-07	1.95E-01	2.58E-02	2.02E+04	1.55E+05		
14	1.61E+03	1.09E-10	1.12E-06	5.00	0.72	1.43E-01	4.55E-07	1.96E-01	2.80E-02	1.79E+04	1.28E+05		
15	2.32E+03	1.08E-10	1.49E-06	4.95	0.78	1.57E-01	6.07E-07	1.97E-01	3.10E-02	1.62E+04	1.06E+05		
16	3.34E+03	1.06E-10	2.02E-06	4.87	0.86	1.76E-01	8.21E-07	1.99E-01	3.51E-02	1.50E+04	8.75E+04		
17	4.81E+03	1.05E-10	2.67E-06	4.84	0.93	1.92E-01	1.09E-06	1.99E-01	3.83E-02	1.33E+04	7.19E+04		
18	6.94E+03	1.02E-10	3.52E-06	4.70	1.00	2.13E-01	1.44E-06	2.04E-01	4.33E-02	1.23E+04	6.04E+04		
19	1.00E+04	9.86E-11	4.93E-06	4.54	1.14	2.52E-01	2.01E-06	2.07E-01	5.22E-02	1.21E+04	5.11E+04		
20	1.44E+04	9.42E-11	6.55E-06	4.33	1.24	2.86E-01	2.67E-06	2.13E-01	6.10E-02	1.15E+04	4.36E+04		
21	2.08E+04	8.92E-11	8.46E-06	4.10	1.31	3.18E-01	3.45E-06	2.21E-01	7.04E-02	1.09E+04	3.76E+04		
22	2.99E+04	8.34E-11	1.06E-05	3.84	1.34	3.48E-01	4.32E-06	2.32E-01	8.10E-02	1.02E+04	3.28E+04		
23	4.32E+04	7.77E-11	1.29E-05	3.58	1.32	3.70E-01	5.24E-06	2.46E-01	9.09E-02	9.35E+03	2.87E+04		
24	6.22E+04	7.23E-11	1.50E-05	3.33	1.26	3.79E-01	6.12E-06	2.63E-01	9.95E-02	8.35E+03	2.52E+04		
25	8.97E+04	6.77E-11	1.70E-05	3.12	1.16	3.73E-01	6.92E-06	2.82E-01	1.05E-01	7.19E+03	2.20E+04		
26	1.29E+05	6.37E-11	1.87E-05	2.93	1.04	3.56E-01	7.60E-06	3.03E-01	1.08E-01	6.02E+03	1.91E+04		
27	1.86E+05	6.07E-11	1.99E-05	2.79	0.91	3.25E-01	8.11E-06	3.24E-01	1.05E-01	4.80E+03	1.63E+04		
28	2.68E+05	5.84E-11	2.10E-05	2.69	0.78	2.90E-01	8.54E-06	3.43E-01	9.95E-02	3.70E+03	1.38E+04		
29	3.87E+05	5.71E-11	2.15E-05	2.63	0.65	2.48E-01	8.74E-06	3.59E-01	8.91E-02	2.71E+03	1.16E+04		
30	5.58E+05	5.60E-11	2.12E-05	2.58	0.53	2.04E-01	8.66E-06	3.72E-01	7.62E-02	1.89E+03	9.62E+03		
31	8.04E+05	5.55E-11	2.31E-05	2.56	0.47	1.83E-01	9.40E-06	3.79E-01	6.92E-02	1.40E+03	7.92E+03		
32	1.16E+06	5.47E-11	2.33E-05	2.52	0.38	1.53E-01	9.50E-06	3.88E-01	5.93E-02	9.79E+02	6.56E+03		
33	1.67E+06	5.35E-11	2.33E-05	2.46	0.31	1.28E-01	9.50E-06	4.00E-01	5.10E-02	6.88E+02	5.48E+03		
34	2.41E+06	5.30E-11	2.36E-05	2.44	0.26	1.07E-01	9.62E-06	4.05E-01	4.32E-02	4.75E+02	4.51E+03		
35	3.47E+06	5.25E-11	2.40E-05	2.42	0.22	8.91E-02	9.77E-06	4.10E-01	3.66E-02	3.28E+02	3.71E+03		
36	5.00E+06	5.19E-11	2.38E-05	2.39	0.17	7.31E-02	9.71E-06	4.16E-01	3.04E-02	2.23E+02	3.07E+03		
37													

Şekil 13. Veri transfer programından Excel'e verilerin aktarımı

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada; GW Instek 8105 LCR metre cihazının dielektrik spektroskopisi ölçümlerinde kapasitif yöntemle $\pm 2V$ gibi dar bir DC gerilim aralığında ölçüm yapmasından dolayı daha geniş aralıklı harici bir DC gerilim kaynağını GW Instek 8105 LCR ile eş zamanlı çalıştırılmasına yönelik bir program geliştirilmiştir. Bunun için ilk olarak harici DC kaynak için Keithley 2400 SMU ($\pm 200V$) cihazı seçilmiştir. DC yüksek elektrik alan gereksinimi literatürde ve gelişen sanayi ve teknolojiye gittikçe ihtiyaç haline dönüşmektedir. Literatürde dielektrik spektroskopisi ölçüm cihazları kendinden DC beslemeli ve maksimum $\pm 40 V$ aralığında çalışmaktadır. Bu değer bile bazı yüksek DC tetiklemesi gerektiren uygulamalar için yetersiz gelmektedir. GW Instek 8105 LCR metre cihazı ise yine kendinden

DC beslemeli bir cihaz olup maksimum ± 2 V aralığında DC gerilim sağlamaktadır. Bu sebeple, hem yüksek DC ön gerilim isteyen çalışmaları gerçekleştirebilmek amacıyla hem de GW Instek 8105 LCR metre cihazının DC ön gerilim aralığını artırabilmek amacıyla ikinci bir kaynak ile DC yüksek elektrik alan uygulama yoluna gidilmiştir. Böylelikle ± 200 V DC yüksek ön gerilimli elektrik alanda AC frekansa karşı dielektrik özelliklerim değişiminin incelenebilmesi sağlanmış olacaktır. Hem Keithley 2400 SMU hem de GW Instek 8105 LCR iki ayrı ölçüm cihazı olmakla birlikte bu çalışmada Keithley 2400 SMU cihazı dış DC kaynak olarak işlev görmektedir. Bunu sağlayabilmek için her iki cihaz IEEE 488 standartlarına uygun bir USB-GPIB kart ve GPIB kablo yardımıyla bilgisayara bağlanmıştır. Keithley 2400 SMU cihazının harici DC kaynağı olarak LCR'ye katkı yapmasını sağlamak amacıyla her iki cihazı da olumsuz etkilerden koruyacak DC bias kutusu sisteme dâhil edilmiştir. Tüm fiziksel birleşmelerin tamamlanmasıyla birlikte bilgisayar tabanlı dielektrik spektroskopisi ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Bu işlemi otomatik olarak yapabilmek amacı ile test ve ölçüm cihazlarını otomatik kontrol etmek ve verileri toplayabilmek için hem endüstride hem de akademik araştırma laboratuvarlarında eş zamanlı veri transfer programlarının büyük önem arz etmektedir. Eş zamanlı veri transfer programı ile geliştirilen bu ölçüm programında karakterizasyon işlemi için iki farklı cihazın bilgisayarla eş zamanlı haberleşmesini sağlayacak ve gerekli veri girdi-çıkıtları sırasında verilerin gerekli manipülasyonunu sağlayacak programlar yazılmıştır. Bu programları modül ve alt program tool paketleri olarak sınıflayacak olursak; program içinden delay time.vi, Ramp Patern.vi, Read.vi, New report.vi, Excel get worksheet.vi ve Excel easy table.vi gibi 6 adet hazır tool ve bizim geliştirdiğimiz EPS1&TAND&EPS2.Vi olmak üzere toplam 7 adet tool ve bu tool paketlerinin çalıştırdığı toplamda 5 adet komut modülü birleştirilmiştir. Yapılan deneme ölçümlerinde tam doğrulukla ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar; yapılan bu çalışmanın gelecek çalışmalara ışık tutacağını ve eş zamanlı ölçüm sistemi geliştirmelerde umut vaat edeceğini açıkça göstermektedir. Ayrıca otomasyon sistem ve programlarının kullanıcı tarafından özgün olarak birebir geliştirilmesi sayesinde verilen hazır programların sınırlayıcı etkilerinden de kurtulmaya yardımcı olacağı ön görülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] T. J. Kelleners, D. A. Robinson, P. J. Shouse, J. E. Ayars ve T. H. Skaggs, "Frequency dependence of the complex permittivity and its impact on dielectric sensor calibration in soils," *Soil Science Society of America Journal*, c. 69, s. 1, ss. 67–76, 2005.
- [2] T. Zhang, C. Zhang, H. Yuan ve M. Xu, "Dielectric and ferroelectric properties of $\text{Nd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$," *Solid State Communications*, c. 305, ss. 113766, 2020.
- [3] M. H. Abdullah ve A. N. Yusoff, "Frequency dependence of the complex impedances and dielectric behaviour of some Mg-Zn ferrites," *Journal of Materials Science*, c. 32, s. 21, ss. 5817–5823, 1997.
- [4] G. E. Demir ve İ. Yücedağ, "Determination of main electrical parameters of Au-4H-n-SiC (MS) and Au- Al_2O_3 -4H-n-SiC (MIS) devices," *Surface Review and Letters*, c. 28, s. 5, ss. 1–10, 2021.
- [5] S. K. Patri, R. N. P. Choudhary ve B. K. Samantaray, "Studies of structural, dielectric and impedance properties of $\text{Bi}_9\text{Fe}_5\text{Ti}_3\text{O}_{27}$ ceramics," *Journal of Electroceramics*, c. 20, s. 2, ss. 119–126, 2008.
- [6] Y. Karakuş, M. Okutan, A. Kösemen, S. E. San, Z. Alpaslan ve A. Demir, "Electrical properties of Zn-phthalocyanine and poly (3-hexylthiophene) doped nematic liquid crystal," *Journal of Nanomaterials*, c. 2011, ss. 1-5, 2011.
- [7] S. Yıldırım, "Sol-gel döner kaplama yöntemiyle oluşturulmuş Ta_2O_5 ince film kondansatörün düşük sıcaklık bölgesi dielektrik özellikleri ve ac iletkenlik davranışı," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 6, s. 4, ss. 851–861, 2018.

- [8] V. K. Abrahamyan, N. H. Hakobyan, V. M. Aroutiounian, V. G. Babajanyan, H. L. Margaryan, D. L. Hovhannisyian, A. T. Poghosyan ve D. K. Pokhsraryan “Investigation of characteristics of electrically-controlled liquid-crystal retarders,” *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*, c. 44, s. 2, ss. 84–90, 2009.
- [9] M. Demirtaş ve G. Gezer, “PI denetleyicili DC/DC dönüştürücü çıkış geriliminin labview kullanılarak incelenmesi analyzing of PI controlled DC/DC converter output voltage using labview,” *IEEE 18.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Diyarbakır, Türkiye, 2010, ss. 704–707.
- [10] S. Şahin, M. Bayraktar, A. E. Kavur ve K. E. Şahin, “Arduino ve labview kullanarak emg verilerinden eşik seviye belirleme ile motor kontrol düzeneği tasarımı,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 736–739, 2018.
- [11] G. Luo, C. Song, P. Hongjie, Z. Li, W. Xu, G.S.V. Raghavan, H. Chen ve G. Jin, “Optimization of the microwave drying process for potato chips based on the measurement of dielectric properties,” *Drying Technology*, c. 37, s. 11, ss. 1329–1339, 2019.
- [12] M. Jin, “Labview-based fuzzy controller design of a lighting control labview-based fuzzy controller design of a lighting control system,” *Journal of Marine Science and Technology*, c. 17, s. 2, ss. 116-121, 2009.
- [13] A. Sakaamini, M. Harvey, A. J. Murray, A. Sakaamini, M. Harvey ve A. James, “An experimental control system for electron spectrometers using arduino and labview interfaces,” *The Review of Scientific Instruments*, c. 91, s. 10, ss. 103104, 2020.
- [14] V. A. Polyansky ve I. L. Pankrat, “On ionization of electronically excited molecules in hydrocarbon combustion under strong electric field,” *Journal of Electrostatics*, c. 70, s. 2, ss. 201–206, 2012.
- [15] A. Tazzoli, G. Meneghesso, F. Zanon, F. Danesin, E. Zanoni, P. Bove, R. Langer ve J. Thorpe, “Microelectronics reliability electrical characterization and reliability study of HEMTs on composite substrates under high electric fields,” *Microelectronics Reliability*, c. 48, s. 8-9, ss. 1370–1374, 2008.
- [16] J. Cheng, L. Cai, Y. Shi, F. Pan, Y. Dong, X. Zhu, H. Jiang, X. Zhang, Z. Xiang ve W. Lu, “Polarization loss-enhanced honeycomb-like MoS₂ nanoflowers/undaria pinnatifida-derived porous carbon composites with high-efficient electromagnetic wave absorption,” *Chemical Engineering Journal*, c. 431, s. 3, ss. 134284, 2022.
- [17] A. Ashery, H. Shaban, S. A. Gad ve B. A. Mansour, “Materials science in semiconductor processing investigation of electrical and capacitance-voltage characteristics of GO/TiO₂/n-Si MOS device,” *Materials Science in Semiconductor Processing*, c. 114, ss. 105070, 2020.
- [18] A. Ashery, M. M. M. Elnasharty ve I. M. El Radaf, “Current transport and dielectric analysis of Ni/SiO₂/P-Si diode prepared by liquid phase epitaxy,” *Silicon*, c. 14, ss. 153–163, 2022.
- [19] A. Demir, S. Bağcı, S. E. San ve Z. Doğruyol, “Pentacene-based organic thin film transistor with SiO₂ gate dielectric,” *Surface Review and Letters*, c. 22, s. 2, ss. 1550038, 2015.
- [20] İ. Yücedağ, A. Kaya, Ş. Altındal ve İ. Uslu, “Electrical and dielectric properties and intersection behavior of G/ω-V plots for Al/Co-PVA/p-Si (MPS) structures at temperatures below room temperature,” *Journal of the Korean Physical Society*, c. 65, s. 12, ss. 2082–2089, 2014.
- [21] G. Ersöz, İ. Yücedağ, S. Bayrakdar, Ş. Altındal ve A. Gümüş, “Investigation of photo-induced effect on electrical properties of Au/PPy/n-Si (MPS) type schottky barrier diodes,” *Journal of Materials*

Science: Materials in Electronics, c. 28, s. 9, ss. 6413–6420, 2017.

[22] N. Baraz, İ. Yücedağ, Y. Azizian-Kalandaragh, G. Ersöz, İ. Orak, Ş. Altındal, B. Akbari ve H. Akbari “Electric and dielectric properties of Au/ZnS-PVA/n-Si (MPS) structures in the frequency range of 10-200 kHz,” *Journal of Electronic Materials*, c. 46, s. 7, ss. 4276–4286, 2017.

[23] H. Liu, M. Zhang, Y. Ye, J. Yi, Y. Zhang ve Q. Liu, “Porous cobalt ferrite microspheres decorated two-dimensional MoS₂ as an efficient and wideband microwave absorber,” *Journal of Alloys and Compounds*, c. 892, ss. 162126, 2021.

[24] A. Huang, F. Liu, Z. Cui, H. Wang, X. Song, L. Geng, H. Wang ve X. Peng, “Novel PTFE/CNT composite nanofiber membranes with enhanced mechanical, crystalline, conductive, and dielectric properties fabricated by emulsion electrospinning and sintering,” *Composites Science and Technology*, c. 214, ss. 108980, 2021.

[25] İ. Yücedağ, A. Kaya ve Ş. Altındal, “On the frequency dependent negative dielectric constant behavior in Al/Co-doped (PVC + TCNQ)/p-Si structures,” *International Journal of Modern Physics B*, c. 28, s. 23, ss. 1–15, 2014.

[26] A. Gümüş, G. Ersöz, İ. Yücedağ, S. Bayrakdar ve Ş. Altındal, “Comparative study of the temperature-dependent dielectric properties of Au/PPy/n-Si (MPS)-type schottky barrier diodes,” *Journal of the Korean Physical Society*, c. 67, s. 5, ss. 889–895, 2015.

[27] A. R. Noviyanti, Y. T. Malik, I. Rahayu, D. R. Eddy ve U. Pratomo, “Electrochemical properties of La_{0.933}Si₆O₂₆(LSO)–La_{0.8}Sr_{0.2}Ga_{0.8}Mg_{0.2}O_{2.55}(LSGM) electrolyte over NiO and La_{0.1}Ca_{0.9}MnO₃(LCM) electrodes,” *Materials Research Express*, c. 8, ss. 115505, 2021.

[28] D. Rubi, F. G. Marlasca, M. Reinoso, P. Bonville ve P. Levy, “Magnetism and electrode dependant resistive switching in Ca-doped ceramic bismuth ferrite,” *Materials Science and Engineering: B*, c. 177, s. 6, ss. 471–475, 2012.

[29] W. Wu, X. Liu, Z. Qiang, J. Yang, Y. Liu, K. Huai, B. Zhang, S. Jin, Y. Xia, K. K. Fu, J. Zhang ve Y. Chen, “Inserting insulating barriers into conductive particle channels: A new paradigm for fabricating polymer composites with high dielectric permittivity and low dielectric loss,” *Composites Science and Technology*, c. 216, ss. 109070, 2021.

[30] S. A. Yerişkin, G. E. Demir ve İ. Yücedağ, “On the frequency-voltage dependence profile of complex dielectric, complex electric modulus and electrical conductivity in Al/ZnO/p-GaAs type structure at room temperature,” *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, c. 14, s. 8, ss. 1126–1132, 2019.

[31] Y. Azizian-Kalandaragh, İ. Yücedağ, G. E. Demir ve Ş. Altındal, “Investigation of the variation of dielectric properties by applying frequency and voltage to Al/(CdS-PVA)/p-Si structures,” *Journal of Molecular Structure*, c. 1224, ss. 29325, 2021.

[32] B. Gowtham, V. Balasubramani, S. Ramanathan, M. Ubaidullah, S. F. Shaikh ve G. Sreedevi, “Dielectric relaxation, electrical conductivity measurements, electric modulus and impedance analysis of WO₃ nanostructures,” *Journal of Alloys and Compounds*, c. 888, ss. 161490, 2021.

[33] S. Karadaş, S. A. Yerişkin, M. Balbaş ve Y. Azizian-kalandaragh, “Complex dielectric, complex electric modulus, and electrical conductivity in Al/(Graphene-PVA)/p-Si (metal-polymer-semiconductor) structures,” *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, c. 148, ss. 109740, 2021.

[34] I. K. Er, A. O. Çağırtekin, M. Artuç ve S. Acar, “Synthesis of Al/HfO₂/p-Si schottky diodes and the investigation of their electrical and dielectric properties,” *Journal of Materials Science: Materials*

in Electronics, c. 32, ss. 1677–1690, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yerel Yönetimlerin Sosyal Medya Kullanımlarının Metin Madenciliği ile Analizi

 Gökçe KARAHAN ADALI^{A,*},  Ece ÜNÜR^B

^A Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İşletme Fakültesi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^B Halkla İlişkiler ve Tanıtım Bölümü, İşletme Fakültesi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gokceadali@halic.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1189037

ÖZ

Bilişim ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler toplumsal ve siyasal alanda birçok değişime yol açmıştır. Bu çalışmanın amacı merkezi yönetimlerle halk arasındaki en temel köprü vazifesini üstlenen belediyelerin; halka bu teknolojiler özellikle de sosyal medya platformları aracılığıyla nasıl hitap ettiklerinin ve yönetim politikalarında hangi konulara ağırlık verdiklerinin metin madenciliğiyle içerik analizi yöntemleri kullanılarak incelenmesidir. Örneklem olarak Ankara, İstanbul ve İzmir büyükşehir belediyelerinin resmi Twitter hesapları ele alınmış ve her bir büyükşehir belediyesi tarafından yapılan 7 Eylül 2022 tarihi ve öncesi son 3200 paylaşım Twitter API aracılığı ile elde edilmiştir. Veriler R programla dili kullanılarak metin madenciliği kapsamında veri ön işlemden geçirilmiş ve analiz edilmiştir. Kelime frekans dağılımları yapılmış, her bir büyükşehir belediyesi için frekans kapsamına giren elliser kelime tespit edilmiş ve ilgili veriler kelime bulutları ile görselleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise bu kelimeler içerik analizi yöntemi kullanılarak üç kategoriye ayrılmıştır: (a) belediyelerin hizmetlerine ilişkin genel konular, (b) belediye tarafından hizmet sağlanan gruplar ve (c) belediyelerin hizmet sağladıkları alanlar. Bu kategoriler bağlamında Ankara, İstanbul ve İzmir büyükşehir belediyelerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Bulgulara göre, bu büyükşehir belediyeleri arasında hizmetlere ilişkin yapılan paylaşımlarda Ankara (n=5377) ilk sırada yer almış ve onu İstanbul (n=4612) ile İzmir (n=2675) izlemiştir.

Anahtar Kelimeler: Yerel yönetimler, Sosyal medya, Metin madenciliği, Twitter veri analizi, Kelime bulutu

Analysis of Local Governments' Social Media Use by Text Mining

ABSTRACT

Developments in information and communication technologies have led to many changes in social and political fields. This study aims to analyse how the municipalities – which act as the main bridge between the central administrations and the public – address the public through these technologies, especially social media platforms, and to determine which issues they focus on in their management policies by using text mining and content analysis methods. The official Twitter accounts of Ankara, İstanbul, and İzmir metropolitan municipalities were taken the sample group and the last 3200 posts shared by each metropolitan municipality were collected before September 7, 2022(included) from Twitter API. The data has been pre-processed and analysed by R programming language in terms of text mining. The frequency of words was derived, and the 50 most frequently used words were determined and visualized by word clouds. In the last part of the study, by the using content analysis method; these words were divided into three categories – (a) general issues related to the services of the municipalities, (b) the areas they provide service, and (c) the groups getting these services. In the context of these categories a comparative analysis of the metropolitan municipalities of Ankara, İstanbul and

1810

Izmir was made. According to the findings, among these metropolitan municipalities Ankara (n=5377) was the first one to post shares related to the services, and it was followed by Istanbul (n=4612) and Izmir (n=2675).

Keywords: Local governments, Governance, Social media, Text mining, Twitter Data analysis, World cloud

I. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hızı ve üretkenliği, son yıllarda birçok sosyal, siyasal, ekonomik değişim ve dönüşümü de beraberinde getirmiştir [1]. Özellikle de bilişim ve iletişim teknolojilerindeki yenilikler bireylerin etraflarında olup bitenlere karşı daha duyarlı hale gelmesini sağlamıştır. Başarıyı yakalamak isteyen ekonomik ve siyasi kurumlar da bu duyarlılığa bağlı olarak yönetim anlayışlarında bir değişime gitmiş ve hedef kitlelerinin görüşlerine daha fazla önem vermeye başlamışlardır.

Siyasi arenada halkla en yakın iletişim kuran birimlerin başında şüphesiz ki yerel yönetimler gelmektedir [2]. Temel görevi halkın talep, istek ve ihtiyaçlarını tespit ederek bunları karşılamak olan yerel yönetimler; bu görevlerini yerine getirmek için eskinin geleneksel usullerini bir kenara bırakmaya ve iletişim teknolojilerinin yeniliklerinden faydalanmaya başlamışlardır. İletişim teknolojilerinin özellikle de Web 1.0'ın gelişmesiyle belediyeler önce kendilerine internet sayfaları açarak, hitap ettikleri kamuları bilgilendirme yoluna gitmişlerdir. Sonraki dönemlerde sadece bilgilendirmenin yetmediği; halkın sorunlarının, talep ve isteklerinin de dinlenmesi ve bunlara göre eylem planlarının hazırlanması gerektiği anlaşılmıştır. Bu sebeple belediyeler Web 2.0 ve sosyal medya platformlarının da gelişmesiyle yönetim anlayışlarını değiştirerek yönetişime ağırlık vermeye başlamışlardır. Yönetişim süreçlerini benimseyen yerel yönetimler, sosyal medya kullanımlarında iş birlikçi modeli ve bilgi akışında kamusal katılımı tercih etmektedirler.

Sosyal medyayı kullanım amacına göre dışavurumcu (expressive social media) ve iş birlikçi (collaborative social media) olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Dışavurumcu sosyal medyada kullanıcıların temel amaçları; kendilerini, görüşlerini ve duygularını; metin, resim, video veya müzik paylaşarak ifade etmeleridir. Bu tarz durumlarda genellikle Instagram, Twitter, Facebook, Foursquare, YouTube gibi platformlar kullanılmaktadır. İş birlikçi sosyal medya ise kullanıcıların diğer kullanıcılarla etkileşime geçmelerine ve ortak amaçlar doğrultusunda iş birlikleri yapmalarına olanak sağlamaktadır. Bu amaçlarla daha ziyade Wiki veya Google Dokümanlar tercih edilmektedir [3]. Fakat gelişen koşullara bağlı olarak artık Instagram ve Twitter gibi platformlar aracılığıyla kamusal katılımlı bilgi akışı sağlamak; dolayısıyla da halk ile yönetim arasında iş birlikleri ve etkileşim yaratmak mümkündür.

Yerel yönetimlerin temsil ettikleri halk ile aralarında olan bilgi akışı (a) kamusal iletişim, (b) kamusal danışma ve (c) kamusal katılım olmak üzere üç farklı biçimde sürdürülmektedir. Bilginin yerel yönetimden bireye doğru iletiildiği durumlar kamusal iletişim; bireyden yerel yönetimlere doğru iletiildiği durumlar ise kamusal danışma olarak adlandırılmaktadır. Her iki biçim de tek yönlü iletişim süreçlerini içerdiğinden, etkileşim oldukça azdır. Çift yönlü bilgi alışverişinin söz konusu olduğu kamusal katılım biçiminde ise yerel yönetimler temsil ettikleri bireylerle diyalog içerisinde bir yönetim anlayışı sergilemekte ve bu sebeple de yüksek bir etkileşim ve katılım meydana gelmektedir [4, 5]. Kamusal iletişimde dışavurumcu sosyal medya anlayışı daha yaygınken; kamusal katılım modeli, iş birlikçi anlayışla örtüşmektedir.

Siyasal iletişim çalışmaları uzun yıllardır bilimsel araştırmaların konusu olmaktadır. Geleneksel siyasal iletişim çalışmalarında siyasi kampanyaların medyadaki temsili üzerine odaklanılmakta ve bu araştırmalarda siyasi aktörlerin medyada ne sıklıkta yer aldıkları veya medya tarafından ne şekillerde temsil edildikleri incelenmektedir. Buna ek olarak liderlerin söylem ve vaatlerini söylem analizi veya retoriksel analiz bağlamında analiz eden çalışmalar da mevcuttur. Son yıllarda dijital iletişimin gelişmesiyle birlikte araştırmaların geleneksel medyadan dijital medya platformlarına kaydığı görülmektedir. Bu araştırmalarda siyasi aktörlerin başta Twitter olmak üzere, Facebook, YouTube, Instagram gibi sosyal medya platformlarını kullanım sıklıkları, paylaşım içerikleri ve takipçileriyle

olan etkileşimleri ölçülmektedir. Bir diğer ifadeyle dijital siyasal iletişimi ele alan araştırmalarda siyasal aktörlerin sosyal medya kullanımları üzerine yoğunlaşmaktadır. Özellikle YouTube ve Instagram'ı ele alan çalışmalarda göstergebilimsel analiz; Twitter bazlı çalışmalarda ise genellikle içerik analizi ve söylem analizi yöntemleri tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında yaygın bir yöntem olmasına karşın siyasal iletişim çalışmalarında pek sık başvurulmayan metin madenciliği yöntemi, içerik analizi yöntemiyle birlikte kullanılmıştır. Bu konuda yapılan benzeri çalışmalara ise araştırmanın ilerleyen kısımlarında yer verilmiştir.

Çalışmanın literatür kısmında yerel yönetimlerin yapılanmasına; bu yapılanmadaki değişimlere ve yerel yönetimlerin siyasal iletişim faaliyetlerinde sosyal medyayı nasıl kullandıklarına değinilmiştir. Araştırmanın uygulama kısmında ise öncelikli olarak metin madenciliği yöntemi ele alınmıştır. Son kısımda ise üç farklı büyükşehir belediyesinin resmi Twitter hesaplarından paylaştıkları tweet'ler veri ön işleme sürecinden geçirildikten sonra, metin madenciliği ile içerik analizi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizler doğrultusunda belediyelere ait kelime frekansları ve kelime bulutları elde edilmiş; neticede belediyelerin hizmetlerine ilişkin genel konular, belediye tarafından hizmet sağlanan gruplar ve belediyelerin hizmet sağladıkları alanlar olarak üç kategoriye ayrılarak Ankara, İstanbul ve İzmir büyükşehir belediyelerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

II. YEREL YÖNETİMLER

Türkiye'de yerel yönetim yapılanması il özel idareleri, belediyeler ve köy yönetimi olarak sınıflandırılmaktadır [6]. Demokratikleşme açısından oldukça önem arz eden yerel yönetim yapılanmaları [7] arasında, özellikle de belediyeler halka en yakın yönetim türüdür ve merkezi yönetim ile temsil edilen halk arasında bir köprü vazifesini üstlenmektedir [2]. Belediyelerin bir üst kademesi olan büyükşehir belediyeleri ise ilk kez 2972 sayılı yasa ve 195 sayılı kanun hükmünde kararname ile 1984 yılında oluşturulmuştur. İlgili yasa ve kararname doğrultusunda kurulan ilk büyükşehir belediyeleri Ankara, İstanbul, İzmir olmuş; onu 1986 ila 1988 yılları arasında kurulan Adana, Bursa, Gaziantep, Konya ve Kayseri büyükşehir belediyeleri izlemiştir [8].

Bürokratik süreçleri en aza indirerek halkla yakın ilişkiler kurulması, bu sayede halkın istek ve taleplerinin daha kolaylıkla tespit edilerek karşılanması ve sunulan hizmetlerle halkın memnuniyetinin sağlanması kamu tüzel kişisi olan belediyenin temel görevleri arasındadır [7, 9 10]. Belediyenin halkın memnuniyetini sağlamak için sunmakla yükümlü olduğu hizmetlerin başında imar işleri; çevre düzenlemesi; temizlik ve hijyen; ulaşım, eğitim ve sağlık hizmetleri; ekonomik sorunlara ilişkin çözümler ile sosyal, sanatsal, sportif ve kültürel etkinlikler gibi konular gelmektedir [11, 12].

Halka hizmet açısından merkezi yönetim ile yerel yönetimler kıyaslandığında; yerel yönetimlerin çok ciddi avantajları olduğunu söylemek mümkündür. Bu avantajların başında yerel yönetimlerin demokratikleşmeye olan katkısı gelmektedir. Yerel yönetimler, merkezi yapılanmalara kıyasla daha katılımcı olduklarından demokratikleşmeye daha fazla katkı sunmaktadır. Merkezi yönetimin bürokratik yapılanması vatandaşların yönetime aktif katılımlarına engel teşkil etmekte; bireyler yöneticilere ulaşmakta ve seslerini duyurmakta güçlük yaşamaktadır. Yerel yönetimlerde, özellikle de belediyelerde ise halk yöneticilere daha kolay ulaşabilmekte, yönetim süreçlerinde aktif rol oynayabilmekte, karar alma süreçlerine katılabilmekte, talep ve isteklerini hızlıca iletebilmektedir. Halkın yöneticilere kolaylıkla ulaşabilmesi; şeffaflık ve denetimi beraberinde getirdiğinden, bu durum demokratikleşmeye katkı sağlayan ikinci bir özellik olmaktadır. Halk yöneticileri denetleme gücünü elinde bulundurduğundan, onlarla ters düşmek istemeyen yöneticiler halkın talep ve isteklerine daha fazla önem vermekte; onlarla daha iyi ilişkiler kurmaya çalışmaktadır [13]. Merkezi yönetimlerin ilgilenmesi gereken alanın ve nüfusun oldukça geniş olması ve bürokratik yapılanmaya sahip olması, halkın taleplerinin alınmasında ve bu taleplerin karşılanmasında gecikmeler yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Yerel yönetimler ise dinamik ve özerk yapılanmalarından ve hitap ettikleri coğrafyanın küçük olmasından kaynaklı, halkın talep ve isteklerine daha kolay ulaşabilmekte ve bunların karşılanması için daha hızlı adımlar atabilmektedir [7, 14].

Temsil ettikleri halktan daha fazla destek ve güven almak isteyen belediyeler halkla ilişkiler faaliyetlerine önem vermektedir [15]. Belediyelerin halkla ilişkiler faaliyetlerini yürütmekteki temel amaçları arasında, (a) belediyenin faaliyetleri, politikaları ve hizmetleri konusunda halkı bilgilendirmek; (b) belediyenin tanıtımını yapmak; (c) belediye hakkında olumlu imaj inşa etmek ve imajda sorunlu yanlar varsa bunları düzeltmek; (d) halkın beklenti, talep ve isteklerini tespit ederek bunları hızlı ve verimli bir biçimde karşılayarak şikayet oranını azaltmak ve memnuniyeti artırmak ve (e) halkın yönetim süreçlerine katılmasını teşvik ederek; yönetimlerine yönelik güveni ve desteği sağlamak yer almaktadır [15, 16]. Aslında sayılan tüm bu amaçların temelinde halkla iyi ilişkiler tahsis etmek yatmaktadır.

Halkla kurulan iyi ilişkiler yöneticilerin devamlılığı açısından önem arz etmektedir. Halkın talep ve isteklerinin hızlı ve etkin bir biçimde karşılanması, bir diğer ifadeyle halka sunulan hizmetlerin hızlı ve etkin olması; halkın memnuniyet oranını ve yönetime olan güvenini artırmakta [17]; dolayısıyla yerel yönetici halktan daha fazla destek görmektedir [7]. Özellikle de 1965 yılından itibaren belediye başkanlarının halk tarafından seçilmeye başlanması [18] neticesinde, yerel yöneticiler memnuniyet ve güveni sağlamak adına; halkın görüşlerine daha fazla önem vermeye ve onları yönetimin bir parçası haline getirmeye çalışmışlardır [19].

Memnuniyeti artırmak isteyen yerel yönetimler, sosyal medyanın da katkısıyla, halkı yönetim süreçlerine daha fazla dahil etmek için yönetim yerine yönetişim anlayışını benimsemeye başlamışlardır. Paydaşların katılımı ve iş birliği içinde ortaklaşa yapılan yönetim anlamına gelen yönetişim; karar alma ve yönetim süreçlerinde yöneticilerin seçimlerden veya yetkilerinden gelen güçleri bir kenara bırakarak; hesap verebilir, uzlaşmacı ve şeffaf bir sürece dayalı yönetim tarzıdır [15]. Bir diğer ifadeyle, hiyerarşi yerine heterarşinin yani karşılıklılığın esas alındığı yönetişimde; halktan destek almak adına onların yönetim ve karar alma süreçlerine etkin biçimde dâhil edilmesi ve alınan kararların şeffaf bir biçimde onlarla paylaşılması önem kazanmaktadır. Bu durum beraberinde uzlaşmayı ve güveni de getirmektedir [20, 15].

İş birlikçi sosyal medya anlayışının ve kamusal iletişim modelinin kullanıldığı bu süreçte yerel yönetimler ile halk arasında iş birliğinin ve etkileşimin artması, vatandaşlardan alınan geribildirimlerin daha fazla önemsenmesi, yöneticilerin politika yapım süreçlerinde vatandaşlara danışması neticesinde vatandaşlar pasif konumdan çıkarak yönetimde aktifleşmektedir [21]. Halk her konuda şeffaf bir biçimde bilgilendirilmekte, halk ile yöneticiler arasında etkileşim sağlanmakta ve yöneticiler halka karşı hesap verebilir ve denetlenebilir durumda olmaktadır [15]. Bu durum beraberinde demokratikleşmeye de katkı sağlamaktadır.

A. YEREL YÖNETİMLERİN SOSYAL MEDYA KULLANIMI

Yönetişimi ve kamusal katılım modelli bilgi alışverişini sürdürmek isteyen yerel yöneticiler sosyal medya platformlarından sıklıkla yararlanmaktadır. Web 2.0 teknolojisiyle birlikte yayılmaya başlayan sosyal medya, bireyleri salt birer kullanıcı olmaktan çıkartıp; üre-tüketici konumuna getirmiştir [22]. Bireyler artık diledikleri her konuda bilgiye erişmenin yanı sıra, içerik üretebilmekte; yorum yazabilmekte; yaptıkları yorumlarla diğer kullanıcıları etkileyebilmekte; onlardan destek alabilmekte; onlarla etkileşime geçerek belli başlı konularda kamuoyu oluşturabilmekte ve yöneticilerle direkt olarak iletişime geçebilmektedir [23, 24].

Sosyal medyanın geniş hedef kitlelere ulaşma ve kamuoyu oluşturma açısından büyük bir güce sahip olması, yerel yönetimlerin bu platformlarda etkinleşmelerini sağlamıştır. İfade özgürlüğünün geniş bir yer bulduğu sosyal medya mecralarında varlık gösteren yerel yönetimler bu yolla temsil ettikleri halk ile kolayca bağlantı kurabildiğinden (a) kendilerini ve icraatlarını tanıtabilmekte, (b) halka düzenli bilgi akışı sağlayabilmekte, (c) onların görüşlerini, istek ve taleplerini daha hızlı biçimde alabilmekte, (d) halkı karar alma süreçlerine dahil edebilmekte, (e) yerel meclislerin toplantılarını canlı yayınlayarak şeffaflık ilkesini sağlayabilmektedir. Bunların neticesinde de yerel yönetici ile halk arasındaki etkileşim artmaktadır [25, 12, 26]. Yöneticiler açısından sosyal medya bu faydaları

sağlarken, halk açısından da (a) seslerini duyurmaları, (b) kamuoyu oluşturabilmeleri, (c) yöneticileri denetleyebilmeleri ve (d) onlar üzerinde hizmet sağlama konusunda baskı oluşturabilmeleri açısından önem arz etmektedir [27]. Tüm bunlar beraberinde kamu hizmetlerinin geliştirilmesini, demokratikleşmeyi, etkileşimi, diyalog kurmayı, katılımcılığı, hesap verebilirliği, iş birlikteliğini, halkın destek ve güvenini getirmektedir [8, 21]. Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler neticesinde bireyler başta Twitter olmak üzere birçok sosyal medya platformunu kullanarak sorunlarını, taleplerini, istek ve önerilerini belediye yönetimlerine hızlı bir biçimde ulaştırmakta; sosyal medyayı aktif kullanabilen belediyelerse bu paylaşımlara anlık dönüşler yaparak hem etkileşimi hem de memnuniyet oranlarını artırmaktadırlar.

Siyasi yapılanmaları; sosyal medyayı kullanım amaçları doğrultusunda inceleyen Lee ve Kwak [3] 5 aşamadan oluşan Açık Hükümet Olgunluk Modeli'ni (Open Government Maturity Model) geliştirmişlerdir. İlk aşamada sosyal medya neredeyse hiç kullanılmamakta; ikinci aşamada veri şeffaflığı ön plana çıkarılmakta; üçüncü aşama açık katılımı içermekte; dördüncü aşama açık iş birliğini sağlamakta ve son aşama ise her alanda görülen mutlak bir katılım, iş birliği ve şeffaflık sağlamaktadır.

Sosyal medyanın aktif yani Açık Hükümet Olgunluk Modeli'nin ilerleyen aşamalarındaki gibi kullanılması belediyeler açısından bir halkla ilişkiler faaliyeti olarak da düşünülebilmektedir. Bu mecraları aktif kullanan belediyelerin takipçi sayıları hızlıca artmakta ve verilen hizmetin yeterli olması durumunda halk tarafından yönetime verilen destek de artmaktadır [28]. Bu mecralarda kullanılan sıcak ve samimi dil, (a) bireyler ile yerel yöneticiler arasındaki duygusal bağı tahsis etme; (b) bireylerle yönetim arasındaki hiyerarşik ilişkiyi heterarşik ilişkiye çevirme; (c) bürokratik yapılanmaları azaltma gibi konularda önem arz etmektedir [8, 29].

Yerel yönetimlere ilişkin yapılan bilimsel çalışmalar kamu yönetiminden yasal düzenlemelere, ekonomiden hizmet sunumuna, iletişimden demokratikleşmeye kadar çok geniş bir alana yayılmaktadır. Bu çalışma kapsamında tek bir konuya odaklanmak yerine bütüncül bir yaklaşım sergilenerek; büyükşehir belediyelerinin halkla olan iletişimlerinde sosyal medyayı nasıl kullandıkları ve yönetimlerinde hangi konulara öncelik verdikleri metin madenciliği ve içerik analizi yöntemleriyle analiz edilmiştir. Söz konusu bu iki yöntemin bir arada kullanılması bu çalışmayı benzerlerinden farklı kılmaktadır zira bu alanındaki araştırmalarda çoğunlukla tek bir yöntemin tercih edildiği görülmektedir.

Ele alınan yöntem bakımından literatür incelendiğinde belediyecilik alanında iletişim kanallarının ele alındığı çalışmalardan bazılarının sırası ile yer verilmiştir. Tarhan, belediyelerin Twitter hesaplarının incelendiği çalışmasında 9 büyükşehir belediyesinin resmi hesaplarından paylaştıkları mesajlar içerik çözümlemesi yöntemi ile incelenmiştir. Analizler sonucunda, büyükşehir belediyelerinin hesaplarındaki paylaşımların daha çok hafta içi günlerde ve mesai saati dışında alınıp gönderildiği, hesaplardaki mesajların daha çok hizmet, kamuyu bilgilendirme, ulaşım, altyapı, etkinlik ve sosyal belediyecilik ile ilgili olduğu ortaya konmuştur [30].

Uyaroğlu ve Cebeci, çalışmalarında vatandaşların belediyelere karşı tutumları ölçümlenmeye çalışmış ve Sakarya Büyükşehir, Adapazarı, Serdivan, Erenler ve Hendek belediye hesaplarına atılmış tweet metinleri makine öğrenmesi ve derin öğrenmesi yaklaşımlarından biri olan Turkish Bert yöntemi ile duygu analizi gerçekleştirilmiştir. Vatandaşların istek, şikâyet ve geri bildirimlerine hızlıca cevap verilmesinin amaçlandığı bu çalışmada belediyelerin kendi hesaplarından yaptıkları paylaşımlardan ziyade vatandaşların ürettikleri içerik esas alınmış ve iletişimin çift yönlülüğü irdelenmiştir [31].

Küçükşen ve Firidin, belediyelerin sosyal medyayı kullanım şekillerini tespit etmek adına gerçekleştirdikleri çalışmalarında Trabzon Büyükşehir Belediyesi'nin Resmi Kurumsal Twitter hesabı üzerinden bir yıl boyunca yaptığı paylaşımlar, aylık dağılımları, hafta içi hafta sonu dağılımları, içerikleri, vatandaşlardan gelen istek ve önerilere geri dönüş oranları açısından analiz edilmiştir. Yöntem olarak içerik analizinin esas alındığı bu çalışma sonucunda belediyelerin sosyal medya

hesaplarında tek yönlü iletişimi tercih ettikleri ve sosyal platformları daha çok bilgilendirme, duyuru amaçlı kullandıkları tespit edilmiştir [32].

Literatürde belediyeçilik alanında aynı ve benzer yöntemlerle gerçekleştirilmiş çalışmalar incelendiğinde içerik analizi yönteminin ve veri madenciliği metotlarının ayrı ayrı şekillerde ele alındığı ve daha çok içerik analizi ve içerik çözümleme yöntemlerinin ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Çalışma iki farklı yöntemi belediyeçilik alanında bir araya getirmesi açısından benzerlerinden ayrılmaktadır.

Bu çalışmanın benzerlerinden bir diğer farkı ise verilerin toplandığı dönem aralığıdır. Siyasal iletişim araştırmaları genellikle seçim dönemleriyle sınırlandırılmaktadır. Halbuki siyasal iletişim süreklilik arz eden bir faaliyet olduğundan, sadece seçim dönemi ile sınırlandırılmaması gerekmektedir. Yerel yönetimler ve yöneticiler seçim zamanları yaklaştıkça daha popülist söylemler izlediklerinden yapılan araştırmalarda hizmet vurguları ve vaatler ön plana çıkmaktadır. Bu tarz araştırmalardan farklı olarak, bu çalışmada belediye yönetimlerinin seçim zamanı olmadığına temsil ettikleri halkla nasıl bir iletişim kurdukları incelenmiştir. Seçim zamanı benzeri bir yöntem kullanılarak yapılan bir araştırma ile bu araştırmaların bulgularının kıyaslanmasına ise sonuç kısmında yer verilmiştir.

III. YÖNTEM

Çalışmanın amacı yerel yönetimlerin en büyük birimi olan büyükşehir belediyelerinin, temsil ettikleri halkla kurdukları iletişimlerinde, bir sosyal medya platformu olan Twitter'ı nasıl kullandıklarının ve hangi konulara ağırlık verdiklerinin incelenmesidir. Bu kapsamda metin madenciliği ve içerik analizi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır.

Metin madenciliği, veri kaynağı metinler olan bir veri madenciliği uygulaması çeşididir. Bu yöntemle, yapısal olmayan metin verilerinin yapısal hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Metinler üzerinde sınıflandırma, kümeleme, birliktelik analizi, duygu analizi, metin özetleme gibi çözümler üretilebilmektedir. Sosyal medya araçlarının yapısal olmayan verinin en büyük kaynaklarından biri olduğu bilinmektedir. Bu ortamlardan elde edilen yapılandırılmamış ve gürültülü veriden anlamlı örüntüler elde edebilmek için metin madenciliği yöntemlerinden faydalanılmaktadır [33]. İçerik analizi ise elde edilen verilerin ayrıntılı bir biçimde incelenerek; kodlanması, sınıflandırılması ve yorumlanması sürecidir. Kodlanan veriler; benzerlik, farklılık, ilişki, sıklık veya anlama göre incelenerek kategoriler altında toplanmakta ve kategoriler ise yine bu kriterler bağlamında bir araya getirilerek temalar oluşturulmaktadır [34]. Kategori ve temalara ilişkin sınıflandırmaların yapılmasının ardından ilgili veriler yorumlanmaktadır.

Analizin metin madenciliği kısmında, Ankara, İstanbul ve İzmir büyükşehir belediyelerinin resmi Twitter hesaplarından yaptıkları paylaşımlara Twitter API aracılığı ile R programla dili kullanılarak, RStudio geliştirme ortamında erişilmiştir. Paylaşımlarda kullanılan kelimelerin metin madenciliği kapsamında frekansları incelenmiş, paylaşımlar üzerinden kelime bulutları oluşturularak ilgili büyükşehir belediyelerinin temsil ettikleri halkla olan iletişimlerinde en sık kullandıkları sözcükler tespit edilerek karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Belediyelerin asli görevleri temsil ettikleri halka hizmet etmek olduğundan, uygulamanın içerik analizi kısmında en sık kullanılan yani frekans analizi içinde yer alan kelimeler kodlanarak; belediyelerin sundukları “hizmete dair olanlar” ve olmayanlar (“diğer”) olmak üzere 2 temada ele alınmıştır. Hizmete dair olanlar kendi içinde; (a) genel, (b) hizmet alan gruplar ve (c) hizmet sağlanan konular/alanlar olmak üzere 3 kategoriye ayrılarak daha detaylı analiz edilmiştir. Tek başına bir anlam ifade etmeyen kelimeler ise inceleme dışı tutulmuştur.

A. VERİ TOPLAMA

Türkiye İstatistik Kurumu'nun [35] 31 Aralık 2021 tarihli verilerine göre ülkemizde en kalabalık nüfusa sahip olan ilk üç büyükşehir belediyesi (İstanbul, Ankara ve İzmir) örneklem kapsamına

alınmıştır. Bu üç yerel yönetim aynı zamanda ilk kurulan büyükşehirler olması [8] açısından da önem arz etmektedir. İlgili büyükşehir belediyelerinin resmi Twitter hesaplarından yaptıkları paylaşımlar, Twitter API (Application Programming Interface - Uygulama Programlama Arayüzü) kullanılarak temin edilmiştir. Veri bilimi alanında sıklıkla kullanılan bir yöntem olan API aracılığı ile Twitter'ın yayın akışı farklı uygulamalar ile takip edilmektedir [36]. Bu işlem için Twitter web API'sine bir arayüz sağlayan twitteR paketi kullanılmıştır. Veri erişimi sırasında R'nin rtweet paketinden de faydalanılmıştır. Twitter API indirilebilen paylaşım sayısını 3200 ile sınırlandırmaktadır. Bu sebeple analiz için veri erişimine başlanılan 07 Eylül 2022 tarihinden geriye dönük olarak her bir büyükşehir belediyesi için 3200'er tweet çekilebilmiştir (Bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Veri setindeki Twitter hesapları ve tweet sayıları

Büyükşehir Belediyesi	Nüfusu	Resmi Twitter Hesabı	Takipçi Sayısı	Çekilen İlk Verinin Tarihi
İstanbul	15.840.900	@istanbulbld	1.033.997	28.11.2021
Ankara	5.747.325	@ankarabld	1.690.344	15.10.2020
İzmir	4.425.789	@izmirbld	504.219	11.01.2020

B. VERİ ÖN İŞLEME

Veri temizleme işlemi R'nin SnowballC ve tm paketlerinden faydalanılarak yapılmıştır. Veri temizleme esnasında, öncelikle mevcut tüm paylaşımlar küçük harfe dönüştürülmüştür. Anlam ifade etmeyen kelimeler paylaşımlardan çıkarılmıştır. Bunlar sırası ile; bağlantı adresleri ("http/https"), bahsetme sembolleri ("@"), noktalama işaretleri, boşluklar, başlık etiketleri ("#"), satır kesmeleri ("line break"), tekrar edilen paylaşımları gösterir ("rt") ifadesi ve sayıları içermektedir. Ayrıca metin içerisinde tek başına anlam ifade etmeyen ve sıklıkla tekrar eden Türkçe etkisiz kelimeler (ve, için, gibi, ile, neyse, her, vb.) temizlenerek, analize dahil edilmemiştir.

C. VERİ ANALİZİ

Analiz aşamasında, yapısal olmayan metnin temizlenebilmesi için, veri seti öncelikle corpusa dönüştürülmüştür. Corpus dokümanların düzenli ve yapısal olarak bir arada bulunmasını sağlamaktadır. Kelime frekans analizini gerçekleştirebilmek için ise, corpus satır ve sütunlardan oluşan yapısal bir matrise dönüştürülmüştür. Elde edilen sonuçlar kelime bulutları kullanılarak görselleştirilmiştir. Kelime bulutlarını elde etmek için R'nin wordcloud paketi kullanılmıştır.

IV. BULGULAR

Örneklem kapsamındaki büyükşehir belediyelerinin resmi Twitter hesaplarından attıkları tweet'lerin metin madenciliği ve içerik analizi ile incelenmesinden önce (a) bu tweet'lerin; retweet ve yanıtlara göre sayısal dağılımları ve (b) tweet'lerde kullanılan hashtag, mention, URL, fotoğraf ve video sayıları tespit edilerek hesapların genel bir analizi yapılmıştır.

A. TWİTTER HESAPLARININ GENEL ANALİZİ

Çekilen tweet sayıları aynı olmakla birlikte retweet'ler ve yanıtlar hariç tutulduğunda en fazla tweet atan büyükşehir belediyesi Ankara olarak tespit edilmiş, onu sırası ile İstanbul ve İzmir izlemiştir (Bkz. Tablo 2). İzmir Büyükşehir Belediyesi tüm belediyeler içinde en az içerik üreten ve başka hesaplar tarafından üretilen içerikleri en fazla paylaşan belediye olmuştur. Öte yandan incelemeye tabi tutulan tüm büyükşehir belediyelerinin atılan tweet'leri yanıtlama sayılarının son derece düşük olduğu görülmektedir. Belediyelerin halkla olan etkileşimleri açısından olumsuz olan bu durum; iş birliği

sosyal medya anlayışının ilgili büyükşehir belediyeleri tarafından yeteri kadar benimsenmediğini; onun yerine dışavurumcu sosyal medya anlayışının daha yaygın olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Büyükşehir belediyelerinin Twitter paylaşımlarının dağılımı

	Tweet Sayıları (A)	Retweet Sayıları (B)	Verdikleri Yanıt Sayıları (C)	Toplam Tweet Sayıları (A+B+C)
Ankara	2.318	872	10	3.200
İstanbul	2.018	1.142	40	3.200
İzmir	1.726	1.459	15	3.200

Görsel kullanımı paylaşılan konunun daha net anlaşılması; URL kullanımı ise daha detaylı açıklanması açısından önemlidir. Bu kapsamda en fazla fotoğraf paylaşan büyükşehir belediyesi İzmir (%52,26; n=1916); en fazla video paylaşan İstanbul (%52,98; n=1948) ve en fazla URL paylaşan ise Ankara (%40,87; n=1559) olmuştur. Hashtag kullanımı konunun daha geniş kitlelere yayılmasını sağlaması noktasında önem arz etmektedir. Hashtag'leri en aktif ve yoğun kullanan büyükşehir belediyesi %47,09 ile İzmir (n=777) olmuştur. Belirli kişi veya kurumları paylaşılan konudan haberdar etmeye yarayan mention'lar ise en fazla Ankara Büyükşehir Belediyesi (%46,99; n=686) tarafından kullanılmıştır. Etkileşimi, anlaşılabilirliği ve yayılma hızını arttıran hashtag, mention, URL, fotoğraf ve video içerikli paylaşımlar birlikte düşünülüp toplandığında İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin diğer büyükşehir belediyelerinden biraz daha aktif (%35,71) olduğu bulgulanmıştır (Bkz. Tablo 3).

Tablo 3. Büyükşehir belediyelerinin hashtag, mention, URL ve görsel kullanımları

	Hashtag (#)	Mention (@)	URL	Fotoğraf	Video	Toplam	Aktiflik Oranı
İzmir	777	316	1.228	1.916	858	5.095	35,71
Ankara	292	686	1.559	1.203	871	4.611	32,32
İstanbul	581	458	1.028	547	1.948	4.562	31,97
Toplam	1.650	1.460	3.815	3.666	3.677	14.268	100

B. KELİME BULUTU ANALİZİ

Kelime bulutları farklı boyut, renk ve yönlere sahip, bulut şeklindeki kelime koleksiyonları gibi bir metin belgesindeki en önemli anahtar kelimeleri ön plana çıkaran yapılardır. Her bir anahtar kelimenin önemi, kaynak belgelerde görünme sıklığı ile ölçülmekte ve önemli anahtar kelimeleri diğerlerinden daha görünür kılmak için kelime bulutundaki kelimeler farklı boyutlarda yansıtılmaktadır [37]. Kelime bulutu uygulamalarına, sıklıkla kelimeye dayalı bir belgenin ana konusunun belirlenmesinde başvurulmaktadır [38]. Bu teknik ilk olarak, 1990'larda yer imlerinde anahtar kelimelerin sıklığını göstermek için kullanılan etiket bulutları olarak çevrimiçi ortamda ortaya çıkmıştır [39]. Belirli uzunluk ve genişlik ölçüleri içerisinde görselleştirilen kelime bulutundaki her bir terimin boyutu, o terimin tweet'lerde geçen sayısını göstermekte ve ilgili terimin önemini yansıtmaktadır. Belirli bir oluşum eşiği ile en sık kullanılan terimleri elde etmek de mümkündür.

Çalışmada R programlama dili sayesinde, Twitter üzerinden, İstanbul, Ankara ve İzmir Büyükşehir Belediyeleri'nin resmi hesaplarındaki paylaşımlarını içeren veriler işlenerek, veri kümelerine dayalı kelime bulutları oluşturulmuştur. Nihai kelime bulutları belediyelerin kendilerini ifade biçimlerini ve hangi konularla öncelikli olarak ilgilendiklerini resmetmektedir. Belediyelerin paylaşımlarında sıklıkla kullanmayı tercih ettiği kelimeler, kelime bulutlarında büyük harflerle ön plana çıkartılmıştır. Ancak Frekans analizi neticesinde belirlenen kelimelerin sıklıkları yani frekansları arasındaki fark arttıkça; çok yüksek frekansa sahip kelimelerin punto büyüklükleri sebebi ile kelime bulutlarında gösterilemediği durumlar ile karşılaşmaktadır. Çalışma kapsamında yüksek frekansa sahip olup kelime bulutuna yansımayan kelimeler Ekrem İmamoğlu, Tunç Soyer ve Mansur Yavaş'tır. İlgili

büyükşehir belediyelerinin paylaşımlarından oluşturulmuş kelime bulutlarına kelime frekans analizi sonrasında yer verilmiş olup, bu iki analiz birlikte ele alınmıştır.

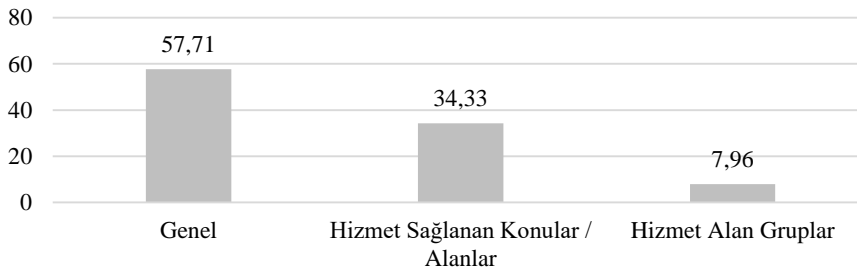
C. KELİME FREKANS ANALİZİ

Kelime frekans analizinde, bir kelimenin ana veri içinde gözlenme sıklığı, bir diğer ifadeyle tekrar sayısına erişilmekte olup, sıklığın artması kelimeye verilen önemin artmasını ifade etmektedir. Çalışmanın bu kısmında Ankara, İstanbul ve İzmir büyükşehir belediyelerinin paylaşımlarında metin madenciliği analizine göre oluşturulan frekans analizinde, en çok tekrar eden ilk 50 kelime (frequency=50) seçilmiştir. Bu eşik değeri sözcüklerin kelime bulutundaki yazı puntoları göz önünde bulundurularak seçilmiş ve önem derecesi en yüksek 50 kelime belirlenmiştir. Sonrasında ise içerik analizi yöntemi kullanılarak ilgili büyükşehir belediyelerinin bu kelimelerle temsil ettikleri halka vermek istedikleri mesajlar; vurgulamak istedikleri konular ortaya çıkartılmıştır.

C. 1. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin Paylaşımları

Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından atılan tweet'lerin metin madenciliği analizine göre oluşturulan frekans analizinde, en sık kullanılan 50 kelimenin tekrar sayıları 10271 olarak bulunmuştur. Ortaya çıkan sonuçlara göre Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından en sık kullanılan ilk 5 kelime "MansurYavaş" (n=747), "alım" (n=638), "başkan/başkanlığı" (n=608), "abb" (n=489) ve "Ankara" (n=474) olmuştur. Yapılan metin madenciliği analizinde Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından atılan tweet'lerde sıklıkla kısaltmaların kullanıldığı görülmüştür: (a) ABB (Ankara Büyükşehir Belediyesi); (b) EGO (Elektrik Gaz Otobüs Genel Müdürlüğü); (c) ASKİ (Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Müdürlüğü) ve (d) Anfa (Ankara Altnpark İşletmeleri).

İçerik analizi kısmında ise öncelikli olarak tek başına bir anlam ifade etmeyen "genel, haftalık, büyük, ağustos, adet, olan, bin, mayıs, olsun, nisan, özel, yoğun" kelimeleri (n=1648) inceleme dışı bırakılmış ve analiz 38 kelime ile 8623 tekrara göre yapılmıştır. Frekans analizi kapsamındaki bu 38 kelimenin %62,36'sı belediyenin sunduğu hizmetleri ifade etmeye yöneliktir. Diğer kısmında ise ön plana "MansurYavaş", "Başkan/Başkanlığı", "ABB", "Ankara", "Başkent", "Müdürlüğü", "Büyükşehir" ve "Belediyesi" kelimeleri ön plana çıkmıştır.



Şekil 1. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin Sunduğu Hizmet Kategorilerinin Dağılımı

Yapılan içerik analizine göre belediyenin sunduğu hizmetler arasında %57,71 ile genel kategorisinin başı çektiği görülmektedir (Bkz. Şekil 1). Bu kategori içinde en sık kullanılan ilk 3 kelime "alım" (%20,56; n=638), "yayın" (%14,57; n=452) ve "devam" (%10,34; n=321) olmuştur. Bu kelimeler büyükşehir belediyesinin sıklıkla personel alımına ve yayınlara vurgu yaptığını ve sunduğu hizmetlerdeki sürekliliği öne çıkardığını göstermektedir. Buna ek olarak belediyenin sunduğu hizmetleri "büyükşehirşbaşında" hashtag'ini kullanarak da vurguladığı görülmektedir. Hizmet sağlanan alanların başında ise %10,72 ile "park" gelmekte onu; EGO, ASKİ ve Anfa tarafından sunulan hizmetler izlemektedir. Bu alanlara ek olarak sosyal konular, fen işleri, spor ve kültür sanat alanları ön plana çıkmakta ve özellikle de halk ekmeğe vurgu yapıldığı görülmektedir. Hizmet alanlar kategorisinde ise sadece "halk" ve "gençlik" kelimelerinin vurgulanmıştır (Bkz. Tablo 4).

Tablo 4. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin sunduğu hizmet kategorilerinin kelimelere göre dağılımı

Ana Kategori	Kelime	Kullanım Adedi	Kullanım Oranı
Genel	Alım	638	20,56
	Yayın	452	14,57
	Devam	321	10,34
	Ediyor/ediyoruz	294	9,47
	İzlemek	223	7,19
	Hizmet	220	7,09
	büyükşehirbaşında	205	6,61
	Yeni	112	3,61
	Ücretsiz	99	3,19
Genel	Buluşuyor	96	3,09
	İlçesi	94	3,03
	Davetlidir	89	2,87
	Mahallesi	88	2,84
	Destek	86	2,77
	Projesi	86	2,77
	<i>Toplam</i>	<i>3103</i>	<i>100</i>
Hizmet Sağlanan Konular / Alanlar	Park	198	10,72
	Ego	184	9,97
	Aski	166	8,99
	Anfa	156	8,45
	Sosyal	153	8,29
	Fenişleri	146	7,91
	Kent	142	7,7
	Duyuru	130	7,04
	Yapım	136	7,37
	Spor	125	6,77
	Ekmek	121	6,55
	Kültür	103	5,58
	Çevre	86	4,66
	<i>Toplam</i>	<i>1846</i>	<i>100</i>
Hizmet Alan Gruplar	Halk/Halkımız	228	53,27
	Gençlik	200	46,73
	<i>Toplam</i>	<i>428</i>	<i>100</i>
Genel Toplam		5377	

Kelime frekans analizinde eşik değeri en çok tekrar eden ilk 50 kelime ile sınırlandırıldığından dolayı görüntülenmeyen ancak kelime bulutunda (Bkz. Şekil 2) yer alan bazı kelimeler mevcuttur. Bunların başında “afet, yol, araç, trafik, çocuk, sanat, kadın, şehit, metro, ada, inşaat, sizlerle” gibi kelimeler yer almaktadır. “Yol, araç, trafik, metro” gibi kelimeler ele alındığında Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin ulaşım alanında da yoğun hizmet sağladığını söylemek mümkündür. Paylaşımlara ilişkin bir diğer önemli husus ise şehit, kadın ve çocuklara verilen önemdir. Öte yandan sıkça kullanılan “sizlerle” kelimesiyle; yönetimin tek başına belediye meclisi veya başkanı ile sınırlı olamayacağı ve halkın desteğine ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Bu husus halkla iş birliği yaratılması ve yönetişimin sağlanması açısından önem arz etmektedir. Son olarak Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin afet konusunda da sık paylaşım yaptığını söylemek mümkündür.

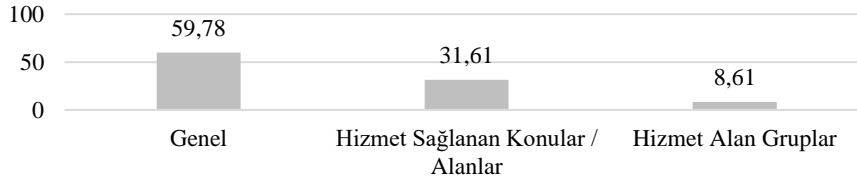


Şekil 2. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin paylaşımlarının kelime bulutu

C. 2. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin Paylaşımları

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından atılan tweet'lerin metin madenciliği analizine göre oluşturulan frekans analizinde, en sık kullanılan 50 kelimenin tekrar sayıları 7982 olarak bulunmuştur. Ortaya çıkan sonuçlara göre İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından en sık kullanılan ilk 5 kelime “Ekrem/İmamoğlu/ekremimamoglu” (n=1077), “İstanbul” (n=681), “devam” (n=598), “edecek/ediyor/ediyoruz” (n=321) ve “yeni” (n=287) olmuştur.

İçerik analizi kısmında ise öncelikli olarak tek başına bir anlam ifade etmeyen “ilk, bugün, büyük, olacak, yıl, gün, özel, ayı, şimdi, son, var, sahibi” kelimeleri (n=1288) inceleme dışı bırakılmış ve analiz 38 kelime ile 6694 tekrara göre yapılmıştır. Frekans analizi kapsamındaki bu 38 kelimenin %68,90'ı belediyenin sunduğu hizmetleri ifade etmeye yöneliktir. Diğer kısmında ise “Ekrem/İmamoğlu/ekremimamoglu”, “İstanbul”, “güzel” ve “milyon” kelimeleri ön plana çıkmıştır. Özellikle “güzel” ve “milyon” kelimeleri Ekrem İmamoğlu'nun seçim sloganları ile örtüşmesi açısından önem arz etmektedir.



Şekil 3. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sunduğu hizmet kategorilerinin dağılımı

Yapılan içerik analizine göre belediyenin sunduğu hizmetler arasında %59,78 ile genel kategorisinin başı çektiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3). Bu kategori içinde en sık kullanılan ilk 3 kelime “devam” (%21,69; n=598), “edecek/ediyor/ediyoruz” (%11,64; n=321) ve “yeni” (%10,41; n=287) olmuştur. Bu kelimeler büyükşehir belediyesinin sürekli olarak yeni hizmetler yaptığını ve yapmaya devam edeceğini vurgulaması açısından önem arz etmektedir. Frekans analizi kapsamında bu konuyu vurgulayan diğer kelimeler arasında “yapıyoruz/yaptık/yapılıyor”, “hizmet”, “açıyoruz/açtık”, “çözdük” yer almakta olup; belli başlı hizmetlerin ücretsiz sunulduğuna da ayrıca değinilmiştir. Bu kategori kapsamında “birlikte” kelimesinin ön planda olması, belediyenin halkını önemseydiğini, onların desteği ile bir şeyleri gerçekleştirdiğini ve halkla iş birliğine önem verdiğini vurgulaması açısından önemli olurken; “şeffaf” kelimesi ise belediyenin yönetimde halkına karşı açık, dürüst ve hesap verebilir olduğunu ifade etmektedir. Hizmet sağlanan alanların başında ise %9,26 ile “metro” öne çıkmaktadır. Kelime frekans analizi İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin ulaşımdan spora, eğitimden sosyal alanlara, yeşil alanlardan altyapı hizmetlerine kadar birçok konuya önem verdiğini göstermektedir. Bu alanlara ek olarak özellikle de Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde olduğu gibi halk ekmeğe vurgu yapıldığı görülmektedir. Hizmet alanlar kategorisinde ise bir ayrımcılık yapılmadığı, İstanbulluların bir bütün olarak görüldüğü bulunmuştur. Sadece kadın kelimesinin sıklıkla

kullanılması (%27,96) toplumsal cinsiyet bağlamında ele alındığında pozitif ayrımcılık olarak yorumlanabilmektedir (Bkz. Tablo 5).

Tablo 5. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sunduğu hizmet kategorilerinin kelimelere göre dağılımı

Ana Kategori	Kelime	Kullanım Adedi	Kullanım Oranı
Genel	Devam	598	21,69
	Edecek/Ediyor/Ediyoruz	321	11,64
	Yeni	287	10,41
	Yapıyoruz/yaptık/yapılıyor	275	9,97
	Hizmet	235	8,52
	Destek	202	7,33
	Açıyoruz/Açtık	194	7,04
Genel	Ücretsiz	148	5,37
	Başladı	80	2,9
	Meclisi	79	2,86
	Çözdük	72	2,61
	Birlikte	70	2,54
	Oturumu	68	2,47
	Başkanı	65	2,36
	Şeffaf	63	2,29
	<i>Toplam</i>	2757	100
Hizmet Sağlanan Konular / Alanlar	Metro	135	9,26
	Eğitim	119	8,16
	Spor	118	8,09
	İş	108	7,41
	Sorun	105	7,2
	Sosyal	95	6,51
	Ekmek	89	6,1
	Tarihi	89	6,1
	Haliç	83	5,7
	İhtiyaç	81	5,56
	Yaşam	79	5,42
	150günde150proje	74	5,08
	Taksi	73	5,01
	Yeşil	72	4,94
	Kent	70	4,8
	Altyapı	68	4,66
		<i>Toplam</i>	1458
Hizmet Alan Gruplar	İstanbulu	167	42,07
	Halk	119	29,97
	Kadın	111	27,96
	<i>Toplam</i>	397	100
Genel Toplam		4612	

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kelime bulutu görselleştirmesi (Bkz. Şekil 4) neticesinde ön plana çıkan kelimelerin, frekans dağılımı içindeki kelimelerle örtüştüğü; buna ek olarak Ekrem İmamoğlu'nun seçim vaatleri ve yönetim politikaları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

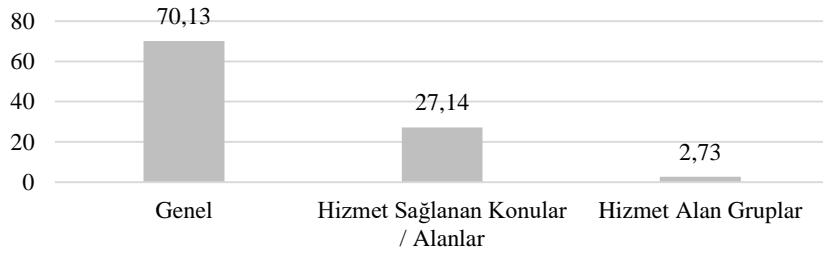


Şekil 4. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin paylaşımlarının kelime bulutu

C. 3. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin Paylaşımları

İzmir Büyükşehir tarafından atılan tweet'lerin metin madenciliği analizine göre oluşturulan frekans analizinde, en sık kullanılan 50 kelimenin tekrar sayıları 9668 olarak bulunmuştur. Ortaya çıkan sonuçlara göre İzmir Büyükşehir Belediye'si tarafından en sık kullanılan ilk 5 kelime "tuncsoyer/Tunç/Soyer" (n=1612), "İzmir" (n=1194), "belediye" (n=452), "başkan" (n=427) ve "büyükşehir" (n=419) olmuştur.

İçerik analizi kısmında ise öncelikli olarak tek başına bir anlam ifade etmeyen "canlı, gün, ilk, kapsamında, yıl, bugün, milyon, dünya, saat, büyük, eylül, arasında, tarihi, son, karşı, olsun, ayı, iki, genel, biz, mustafa, hayata" kelimeleri (n=2775) inceleme dışı bırakılmış ve analiz 28 kelime ile 6893 tekrara göre yapılmıştır. Frekans analizi kapsamındaki bu 28 kelimenin sadece %38,81'i belediyenin sunduğu hizmetleri ifade etmeye yöneliktir. Bu oran incelenen diğer büyükşehir belediyelerine kıyasla oldukça düşüktür. Diğer kısmındaysa ön plana "tuncsoyer/Tunç/soyer", "İzmir", "belediye", "başkan", "büyükşehir" ve "uluslararası" kelimeleri çıkmıştır.



Şekil 5. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin sunduğu hizmet kategorilerinin dağılımı

Yapılan içerik analizine göre belediyenin sunduğu hizmetler arasında %70,13 ile genel kategorisinin başı çektiği görülmektedir (Bkz. Şekil 5). Bu kategori içinde en sık kullanılan ilk 3 kelime "devam" (%15,94; n=299), "edeceğiz/ediyor/ediyoruz" (%14,92; n=280) ve "birlikte" (%9,06; n=170) olmuştur. Bu kelimeler büyükşehir belediyelerinin sürekli olarak yeni hizmetler yaptığını ve yapmaya devam edeceğini vurgulaması açısından önem arz etmektedir. "birlikte" kelimesinin de yüksek bir oranda çıkması belediyenin aslında halkın destek ve iş birliğine ne kadar önem verdiğini göstermektedir. Hizmet sağlanan alanların başında ise %16,12 ile "izbbkultursanat" gelmekte onu kente ilişkin hizmetleri izlemektedir. Kelime sıklık analizi İzmir Büyükşehir Belediyesinin daha ziyade ulaşım, kültür sanat ve sağlık (koronavirüs) alanlarında verdiği hizmetleri vurguladığını göstermektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin diğer belediyelerden farklı olarak Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi ilan edilen koronavirüs hakkında bilgilendirmeler yapması ve verdiği

hizmetlerden bahsetmesi; küresel düzeydeki yönetimler ile yerel yönetimler arasındaki iş birliğinin bir örneğini oluşturmaktadır [40]. Hizmet alanlar kategorisinde ise sadece “kadın” kelimesinin vurgulandığı, halk veya vatandaş gibi kelimelerin frekans analizine girmediği görülmektedir (Bkz. Tablo 6).

Tablo 6. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin sunduğu hizmet kategorilerinin kelimelere göre dağılımı

Ana Kategori	Kelime	Kullanım Adedi	Kullanım Oranı
Hizmet (Genel)	Devam	299	15,94
	Edeceğiz/ediyor/ediyoruz	280	14,92
	Birlikte	170	9,06
	Olacak/oldu	162	8,63
	Başladı/başlıyor	151	8,05
	Yeni	151	8,05
	Destek	109	5,81
	Hizmet	105	5,6
	Ekiplerimiz	96	5,12
	Toplantısı	95	5,06
	Düzenlenen	93	4,96
	Meclis	87	4,64
	Ücretsiz	78	4,16
		<i>Toplam</i>	<i>1876</i>
Hizmet (Hizmet Sağlanan Konular / Alanlar)	izbbkultursanat	117	16,12
	Kent	97	13,36
	Ulaşım	95	13,09
	Toplu	93	12,81
	Sosyal	84	11,57
	Koronavirüs	82	11,29
	Kültür	80	11,02
	Sanat	78	10,74
	<i>Toplam</i>	<i>726</i>	<i>100</i>
Hizmet (Hizmet Alan Gruplar)	Kadın	73	100
	<i>Toplam</i>	<i>73</i>	<i>100</i>
	Genel Toplam	2675	

İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin kelime bulutu görselleştirmesi (Bkz. Şekil 6) neticesinde ön plana çıkan kelimelerin, frekans dağılımı içindeki kelimelerle örtüştüğü ve belediyenin hizmetlerine (devam, birlikte, hizmet, ulaşım, destek) ilişkin olduğu görülmektedir. Diğer büyükşehir belediyelerine kıyasla bir tek İzmir'de “başkan” kelimesinin kelime bulutuna çok büyük puntolarla yansması; İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin paylaşımlarında kurumsal bir dili tercih ettiğini göstermektedir.

Hizmet sunulan konu ve alanlara ilişkin paylaşımlarda ilk sırayı yine Ankara (n=1846) alırken; onu İstanbul (n=1606) ve İzmir (n=554) izlemiştir. Metin madenciliği kapsamındaki kelime bulutu analizleri neticesinde her üç büyükşehir belediyesinin de “kent ve sosyal” kelimelerine ağırlık verdiği; Ankara ve İstanbul büyükşehir belediyelerinin “ekmek ve spor” kelimelerini; Ankara ve İzmir büyükşehir belediyelerinin ise “kültür” kelimesini vurguladığı görülmüştür. Son dönemlerin en sık konuşulan konulardan olan koronavirüsün sadece İzmir Büyükşehir Belediyesi’nin; eğitim konusunun ise sadece İstanbul’un kelime frekans sıklığına girdiği bulgulanmıştır.

Hizmet alan gruplara ilişkin paylaşımlarda da ilk sırayı Ankara (n=428) alırken; onu İstanbul (n=397) ve İzmir (n=73) izlemiştir. Metin madenciliği kapsamındaki kelime bulutu analizleri neticesinde “gençliğe” tek vurgu yapan büyükşehir belediyesinin Ankara olduğu görülmüştür. İstanbul ve İzmir büyükşehir belediyeleri kadınları ön plana çıkarırken; İstanbul ve Ankara’da ise “halk” vurgulanmıştır. Hizmet alan gruplara genel olarak bakıldığında, inceleme kapsamındaki büyükşehir belediyelerinin yeteri kadar temsil ettikleri halkı ve/veya grupları Twitter paylaşımlarında kullanmadıkları görülmüştür. Bu durum belediye yönetimleri ile halk arasındaki mesafenin açılmasına sebebiyet verebilecek bir durumdur.

Tüm bu bulgulardan yola çıkarak belediye başkanlarının söylemlerinde icraatlarına vurgu yaptıkları; halkı bilgilendirmeye yönelik mesajları paylaştıkları ve seçim döneminin dışında olmasından dolayı slogan içeren söylemleri pek tercih etmedikleri görülmüştür. Bu bulgulardan farklı olarak; Güçdemir, Çakar Mengü ve Günay, tarafından 2019 yerel seçimleri kapsamında yapılan bir araştırmada ise belediye başkanı adaylarının slogan içeren söylemleri daha yoğun olarak kullandıkları tespit edilmiştir. Güçdemir ve arkadaşlarının metin madenciliği yöntemi kullanarak yaptıkları bu çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi adayları olan Ekrem İmamoğlu ve Binali Yıldırım’ın tweet’lerinin kelime bulutlarını oluşturmuş ve buradan duygu dağılımlarını hesaplamışlardır. Buna göre İmamoğlu en fazla “beraber”, “herseycokguzelolacak”, “imamogluvarsacozumvar” kelimelerini kullanırken; Yıldırım “yıldırım”, “meclis” ve “yinebizyapariz” kelimelerine ağırlık vermiştir. Bu kelimeler kelime bulutlarıyla da gösterilmiştir. Araştırmada her iki adayın da kullandığı pozitif ifade oranı benzer olarak bulgulanırken; Yıldırım’ın (ortalama %12); İmamoğlu’na kıyasla (%9) daha fazla negatif kelime kullandığı görülmüştür [42].

Bu çalışmanın alana en temel katkısı içerik analizi ile metin madenciliği yöntemlerini bir araya getirerek söylem analizlerini geniş bir çerçevede ele almış olmasıdır. Metin madenciliği analizleri ile siyasi liderlerin söylemleri, Twitter üzerinden yaptıkları paylaşımlar detaylı bir biçimde analiz edilmeli bu sayede hedef kitlenin yani seçmenlerin hangi kelimelere karşı daha duyarlı oldukları, hangi kelimeler kullanıldığında etkileşimin arttığı tespit edilmelidir. Buna ek olarak metin madenciliğiyle birlikte duygu analizi yöntemleri de kullanılarak kelimelerin seçmenlerin üzerinde yarattığı duygular tespit edilmeli ve bundan sonra yapılacak olan kampanya ve söylemlerde hedef kitleyi harekete ve etkileşime geçirecek; hedef kitlede pozitif duygular uyandıracak kelimelerin seçilmesine özen gösterilmelidir.

Sonuç olarak inceleme kapsamındaki büyükşehir belediyelerinin metin madenciliği analizi sonucunda ortaya çıkan kelime bulutlarına bakıldığında, öncelikli olarak halka sundukları hizmetler konusunda bilgi verdikleri ve bir bakıma kendi halkla ilişkiler faaliyetlerini yürüttükleri gözlemlenmiştir. Bu durum ilgili büyükşehir belediyelerinin dışavurumcu sosyal medya anlayışına sahip olduklarını göstermektedir. Ancak değişen ve dönüşen toplum yapısı göz önünde bulundurulduğunda; başarılı olmak ve seçimlerde yeniden seçilmek isteyen belediye yönetimlerinin sadece sundukları hizmetleri halka tanıtmaları ve anlatmaları yeterli olmamaktadır. Başarı için halkın memnuniyeti gözetilmelidir. Bunun için de belediyelerin hizmet sunumu dışında, halka değer vermeleri ve onları yönetimin bir parçası haline getirmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla başarıya ulaşmak; halkın destek ve güvenini kazanarak bunu sürekli hale getirmek isteyen belediye ve yerel yönetimlerin (a) yönetim anlayışını benimsemeleri, (b) sosyal medyayı iş birlikçi modele uygun biçimde kullanmaları, (c) kendilerine yapılan yorumları daha aktif yanıtlamaları, (d) paylaşımlarında temsil ettikleri halka daha sık yer vermeleri ve (e) “birlikte, sizlerle” gibi iş birliğini çağrıştıran kelimeleri daha fazla kullanmaları önem arz etmektedir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] X. Simaku, "Netflix and chill: An analysis of Turkish generation Z viewers on the new hedonistic product," *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, vol. 58, pp. 170-184, 2022.
- [2] M. Özüpek, *Belediyelerde Halkla İlişkiler*, Konya, Türkiye: Eğitim Yayınevi, 2003.
- [3] G. Lee, and Y.H. Kwak, "An open government maturity model for social media-based public engagement," *Government Information Quarterly*, vol. 29, no. 4, pp. 492-503, 2012.
- [4] G. Rowe, and L.J. Frewer, "A typology of public engagement mechanisms," *Science, Technology & Human Values*, vol. 30, no. 2, pp. 251-290, 2005.
- [5] D. Agostino, and M. Arnaboldi, "A measurement framework for assessing the contribution of social media to public engagement: An empirical analysis on Facebook," *Public Management Review*, vol. 18, no. 9, pp. 1-19, 2015.
- [6] Mahalli İdareler Genel Müdürlüğü [MİGM], *2006 Yılı Mahalli İdareler Genel Faaliyet Raporu*, İçişleri Bakanlığı Mahalli İdareler Genel Müdürlüğü, 2006.
- [7] M. Göküş, ve H. Alptürker, "Belediyelerin sunduğu hizmetlerde vatandaş memnuniyeti: Silifke Belediyesi örneği," *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s. 25, ss. 121-133, 2011.
- [8] B. Solmaz, ve H.N. Görkemli, "Büyükşehir belediyeleri ve sosyal medya kullanımı," *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, s. 18, ss. 9-20, 2012.
- [9] T. Duman, ve F. Yüksel, "Belediyelerde vatandaş memnuniyetinin ölçümü: Mersin Büyükşehir Belediyesi örneği," *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 43-57, 2008.
- [10] S. Yalçındağ, "Yerel yönetimlerde yeniden yapılanma," *Amme İdaresi Dergisi*, c. 24, s. 3, ss. 123-152, 1991.
- [11] M. Dönmez, "Türkiye'de belediyeçiliğin tarihsel gelişimi," *Türk İdare Dergisi*, s. 406, ss. 165-174, 1995.
- [12] E. Ünür, "Belediyelerin online siyasal iletişim faaliyetleri," *Siyaset ve İktisat: Aktörler, Kurumlar, Tartışmalar*, Bursa, Türkiye: Dora Yayıncılık, 2019, böl. 1, ss. 27-59.
- [13] M. Dut, "Türkiye'de e-belediyeçilik uygulamaları ekseninde belediye vatandaş ilişkisi: Adana Büyükşehir Belediyesi örneği," Yüksek lisans tezi, Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2021.
- [14] L.M. Şen, ve M. Eken, "Belediyelerde insan kaynakları yönetimi," *Kamu Yönetimi Yazıları*, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2007, böl. 23, ss. 542-561.
- [15] M. Demirtaş, "Yerel yönetimlerde bir halkla ilişkiler çalışması olarak sosyal paylaşım ağlarının kullanımı: Üsküdar Belediyesi örneği," *e-Journal of New World Sciences Academy*, c. 7, s. 4, ss. 291-314, 2012.
- [16] S. Gölönü, "Yerel yönetimler, halkla ilişkiler ve toplumsal beklentiler," *Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, s. 3, ss. 125-134, 2000.

- [17] Ö. Torlak, *Belediyelerde Hizmet Yönetimi ve Pazarlama*, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 1999.
- [18] N. Tortop, “Yönetim sistemimiz içinde belediyelerin önemi, sorunları ve yeni düzenlemeler,” *Amme İdaresi Dergisi*, c. 18, s. 4, ss. 3-12, 1985.
- [19] E. Karataş, ve A. Tarhan, “Yerel yönetimlerde e-belediye uygulamaları: Büyükşehir belediyeleri üzerine bir içerik analizi,” *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s. 45, ss. 317-335, 2021.
- [20] F. Toksöz, *İyi Yönetişim El Kitabı*, Ankara, Türkiye: Tesav Yayınları, 2008, böl. 1, ss. 13-20.
- [21] M.Z. Sobacı, ve İ. Hatipoğlu, “Facebook aracılığıyla Türkiye’de belediye-vatandaş etkileşiminin ölçülmesi: Büyükşehir ve il belediyeleri bağlamında ampirik bir analiz,” *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, c. 72, s. 3, ss. 689-713, 2017.
- [22] D. Laughey, *Medya Çalışmaları: Teoriler ve Yaklaşımlar*, İstanbul, Türkiye: Kalkedon Yayınları, 2010, böl. 5, ss. 55-68.
- [23] G. Gönenli, ve P. Hürmeriç, “Sosyal medya: Bir alan çalışması olarak Facebook kullanımı,” *Sosyal Medya Akademi*, İstanbul, Türkiye: Beta Yayıncılık, 2012, böl. 9, ss. 213-242.
- [24] B. Ayan, M. Can, ve U.T. Gürsoy, “Sosyal medya etkinliğinin ölçümü: Firmaların Twitter kullanımına ilişkin bir inceleme,” *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 121-146, 2020.
- [25] Ü. Kaygısız, ve S. Sarı, “Belediyelerin sosyal medya kullanımı: Burdur Belediyesi ve Burdur ilçe belediyeleri üzerine bir araştırma,” *International Journal of Social Sciences and Education Research*, c. 1, s. 2, ss. 309-317, 2015.
- [26] G. Bayraktutan, M. Binark, T. Çomu, B. Doğu, G. İslamoğlu, ve A. Aydemir, “Sosyal medya ortamlarının siyasal iletişim uygulamaları açısından incelenmesi: Türkiye’de 2011 genel seçimleri’nde Facebook ve Twitter’ın siyasi partiler ve liderler tarafından kullanılması,” *Billig*, c. 68, ss. 59-96, 2014.
- [27] Y. Köseoğlu, ve H. Al, “Bir siyasal propaganda aracı olarak sosyal medya,” *Akademik İncelemeler Dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 103-125, 2013.
- [28] S. Bitirim Okmeydan, “Siyasal halkla ilişkiler ve siyasi partilerin sosyal medya kullanımı: 24 Haziran 2018 seçimleri üzerine bir araştırma,” *Journal of Social And Humanities Sciences Research*, c. 5, s. 30, ss. 4222-4240, 2018.
- [29] A. Aziz, *Siyasal İletişim*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Nobel Yayınları, 2007, böl. 4, ss.39-67.
- [30] A. Tarhan, “Büyükşehir belediyelerinin sosyal medya uygulamalarına halkla ilişkiler modellerinden bakmak,” *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, c. 0, s. 35, ss. 79–101, 2012.
- [31] F. N. Uyaroğlu Akdeniz, ve H. İ. Cebeci, “Belediye hizmetlerin değerlendirilmesinde duygu analizi yaklaşımı: Sakarya ili örneği,” *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, c. 4, s. 2, ss. 127-135, 2021.
- [32] M. Küçükşen, ve E. Firidin, “Büyükşehir belediyeleri ve sosyal medya kullanım etkinliği: Trabzon Büyükşehir Belediyesi’nin Twitter kullanımına ilişkin bir analiz,” *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 491-514, 2021.



- [33] G. Karahan Adalı, “Twitter paylaşımları üzerinden online rezervasyon sistemlerinin metin madenciliği yöntemleri ile incelenmesi,” *Disiplinlerarası Boyutlarıyla Hizmet İşletmeleri*, Konya, Türkiye: Eğitim Yayınevi, 2022, böl. 9, ss. 131-145.
- [34] A. Baltacı, “Nitel araştırma süreci: Nitel bir araştırma nasıl yapılır?,” *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 368-388, 2019.
- [35] Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], (2022, 05 Mayıs). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=45500>
- [36] B. Köksal, G. Erdem, C. Türkeli, ve Z. Kamışlı Öztürk, “Twitter’da Duygu Analizi Yöntemi Kullanılarak Bitcoin Değer Tahminlemesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ek Sayı, 280-297, 2021.
- [37] V. Arnaboldi, J. Cho, and P.W. Sternberg, “Wormicloud: A new text summarization tool based on word clouds to explore the *C. elegans* literature,” *Database: The Journal of Biological Databases and Curation*, Vol. 2021, pp. 1-11, 2021.
- [38] V.D. Cruz, J.E.V. Hernandez, and S. Almazan, “Justice of the marquesa: A Twitter trend analysis using text mining & word clouds,” in *18th Annual International Conference on Digital Government Research*, New York, USA, 2017, pp. 592-593.
- [39] A.I. Kabir, R. Karim, S. Newaz, and M.I. Hossain, “The power of social media analytics: Text analytics based on sentiment analysis and word clouds on R,” *Informatica Economica*, vol. 22, no. 1/2018, pp. 25–38, 2018.
- [40] G. Duman, “Küreselleşme ve yerelleşme birbirine karşıt mı?,” *Yerel Yönetimler Üzerine: Maliye ve Siyaset Yazıları*, Bursa, Türkiye: Ekin Yayınevi, 2020, böl. 2, ss. 19-28.
- [41] D. Doğanılmaz Duman, “Siyasal katılım, demokrasi ve dijital siyaset,” *Yerel Yönetimler Üzerine: Maliye ve Siyaset Yazıları*, Bursa, Türkiye: Ekin Yayınevi, 2020, böl. 3, ss. 29-38.
- [42] Y. Güçdemir, S. Çakar Mengü ve K. Günay, “Büyük veri metin madenciliği bağlamında İstanbul Büyükşehir Belediyesi seçimlerinde aday liderlerin tweet kullanımları üzerine bir inceleme,” *Connectist: Istanbul University Journal of Communication Sciences*, s. 59, ss. 161-191, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

DevOps Test Süreç Geliştirmede Yeni Bir Model Önerisi

 Asım Kerem HANCI ^{a,*},  Sevinç GÜLSEÇEN ^b

^a Enformatik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Enformatik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: asimkerem.hanci@ogr.iu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1132368

ÖZ

Yazılım dünyasında ürünün hızlı bir şekilde pazara ulaşması için her geçen gün yeni yaklaşımlar belirlenmekte ve yeni metodolojiler benimsenmektedir. Son yıllarda bu konuda oldukça popüler olan DevOps metodolojisi, yazılım geliştirme yaşam döngüsünün diğer safhalarında olduğu gibi yazılım test aktivitelerinde ve test süreçlerinde köklü değişikliklerin oluşmasına ortam hazırlamıştır. Yazılım test aktivitelerinin yapısı büyük ölçüde değişime uğradığı için test süreç değerlendirmelerinde yeni modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, DevOps metodolojisinin test pratiklerini değerlendiren bir test süreç iyileştirme modeli sunularak bu ihtiyacı gidermek amaçlanmıştır. Model tasarımında akademi ve iş hayatındaki bilgilerden ortak olarak beslenmek adına literatürden ve deneyimli DevOps uzmanlarından yararlanılmıştır. Uzmanların katkısıyla DevOps test pratiklerinin değerlendirilmesi için önemli kriterler belirlenmiş ve bu kriterleri kapsayan yeni bir test süreç iyileştirme modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen bu model DevOps pratiklerini gerçekleştiren bir firma üzerinde uygulanmıştır. Bu sayede hem modelin işlerliği hem de firmanın test olgunluğu değerlendirilmiştir. Değerlendirme süreci detaylı olarak gözlemlenmiş olup değerlendirme sonucu ve modelin uygulanabilirliği uzmanlar tarafından teyit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DevOps test süreçleri, DevOps Test süreç geliştirme, DevOps test olgunluk ölçümü

A New Model Approach for DevOps Testing Process Improvement

ABSTRACT

A new approach is designated and adopted for fast delivery of software products to market each passing day. DevOps methodology, the most popular approach in recent times, has the same great effect on testing about replacing the activities and processes as the other phases in SDLC. The new test process needs a new test process improvement model. Hence, it is intended to design a new test process improvement model which is convenient with DevOps test practices. In the design process, literature review and experienced DevOps experts were benefitted to combine the academic and business information. After the key elements of DevOps test practices were determined, the new test process improvement model was designated with the help of the experts. This new model was evaluated in terms of operability and maintainability by being applied in an IT company. The evaluation process was observed in detail, the outcomes and applicability of the model were verified by the experts.

Keywords: DevOps testing process, DevOps testing process improvement, DevOps testing maturity measurement

I. GİRİŞ

Yazılım dünyasında ürünlerin daha hızlı piyasaya sürülmesi için yapılan optimizasyon arayışları, yeni yaklaşımların oluşmasına ortam hazırlamaktadır. 2000li yıllarda ortaya çıkan ve 2010lu yıllarda yaygınlaşan çevik yönetim modeli, ürünün müşteriye ulaşma hızını olumsuz etkileyen birçok faktörü ortadan kaldırarak yazılım dünyasında bir devrim olarak nitelendirilmiştir [1]. Çevik model ile geliştirme ekiplerinin üyeleri arasındaki iletişim artırılmış, ürünün gelişim safhasında değişebilen pazar ihtiyaçları göz önünde bulundurularak daha esnek bir yapı benimsenmiş ve ürünler bütüncül olarak değil, küçük parçalar halinde geliştirilmiştir [2][3].

Çevik yönetim birçok problemin çözüme kavuşmasını sağlamış olsa da operasyon ve geliştirme ekipleri arasındaki iş bölümü, büyük ürünlerin bakımının yönetimi gibi problemler bu modelde de devam etmiştir. Geliştirme ekipleri genel olarak bir yazılım ürününün ortaya çıkması için uygulanan yazılım geliştirme yaşam döngüsü faaliyetlerinden sorumlu tutulmaktadır. Geliştirilen ürünün canlı ortama alınması için oluşturulan talepler operasyon ekiplerine iletilmektedir. Operasyon ekipleri bu taleplerin gerçekleştirilmesinin yanında uygulanan yazılım geliştirme yaşam döngüsü modelinden tamamen bağımsız olarak altyapı erişiminin sürekliliği, canlı ortamın sürekli olarak izlenmesi gibi faaliyetlerden sorumlu tutulmaktadır [4]. Geleneksel yaklaşımlarda olduğu gibi çevik yönetim modelinde de geliştirme ve operasyon ekipleri birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Operasyon ekipleri canlı ortamların güncel ve sürekli erişilebilir tutulması konularına yoğunlaştıkları için geliştirme ekiplerinden gelen taleplere daha az öncelik vermektedir. Bu sebeple ürünler müşteri ile daha geç buluşmaktadır ve bu durum rekabet ortamında olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrıca her talep ile birlikte büyüyen altyapıyı ve gelişen uygulama katmanlarını yönetebilmek bir süre sonra imkansız hale gelmektedir [5][6]. Geliştirme ve operasyon ekipleri arasındaki bu sorunların çözülmesi amacıyla 2008 yılında Andrew Shafer ve Patrick Debois tarafından “DevOps” kavramı ortaya çıkarılmıştır [7]. DevOps sözcüğü, İngilizce’de geliştirme anlamına gelen “development” ve operasyon anlamına gelen “operations” kelimelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur [8]. Temel olarak geliştirme ve operasyon ekiplerinin dayanışma içerisinde çalışmasını öngören ve süreci iyileştirmek adına farklı yazılım geliştirme pratiklerini içinde barındıran bir metodoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. DevOps ile birlikte geliştirme ekiplerine operasyon ekiplerinin bazı yetenekleri kazandırılarak operasyon ekiplerinin iş yükü azaltılabilmekte ve bu sayede ürünlerin canlı ortama alınmasına engel olan sebepler ortadan kaldırılmaktadır [9].

Çevik yönetim modeli ile temelleri atılan ve DevOps metodolojisi ile daha da önem kazanan üretim hızı; sürekli entegrasyon (continuous integration) ve sürekli teslimat (continuous delivery) kavramlarının öne çıkmasını sağlamıştır. Sürekli entegrasyon, yapılan geliştirmelerin otomatik bir şekilde ürünün yapısına dahil edilmesini; sürekli teslimat da geliştirmelerin canlı ortama alınma faaliyetlerini içermektedir [10]. Entegrasyon ve teslimat süreçleri süreklilik için otomatik olarak ilerleyeceğinden dolayı kalite kontrol faaliyetleri de DevOps ile değişime uğramıştır [11]. Geliştirilen kodun testleri otomasyon araçları ile test edilerek yalnızca başarılı olmaları durumunda ürüne entegre edilebilmektedir. Test aktivitelerinin değişime uğraması ile birlikte test süreçlerinin değerlendirme kriterlerinin de farklılaşması, yeni test süreç değerlendirme modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu ihtiyaç göz önünde bulundurularak, yapılan bu çalışma ile DevOps metodolojisinde test süreç iyileştirme modeli tasarlanmıştır. Geliştirilen bu yeni model ile birlikte;

- Test süreçlerinin güncel süreçlere uygun olarak değerlendirilmesi,
- DevOps metodolojisinde test aktivitelerinin öneminin belirlenmesi,
- Yazılım geliştirme odaklı firma ve kurumların test disiplinine yönlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ‘DevOps’ ve ‘test süreç iyileştirme modeli’ alanları ile ilgili literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde bu çalışmada yararlanılan malzeme ve yöntemlere değinilmiştir. Dördüncü bölümde model tasarımının detayları yer almaktadır. Beşinci bölümde yapılan çalışmanın diğer modellerle olan karşılaştırmalı analizi ve sonuçları ele alınmıştır.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Gerçekleştirilen literatür taraması ‘DevOps’, ‘DevOps test süreçleri’, ‘yazılım süreç değerlendirme’, ‘yazılım test süreç geliştirme/iyileştirme modeli’ ve DevOps ile ilgili test pratiklerini ele alan araştırmaları içermektedir. Bu sebeple literatür taraması üç ana başlık altında ele alınmıştır.

A. DEVOPS

DevOps ile ilgili literatür taramasında DevOps konusunu farklı açılardan ele alan birçok yayına rastlanmıştır. Bu yayınların en çok referans verilenlerinden biri Erich ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yayımlanan ve 2017 yılında revize edilen literatür taramasıdır. Çalışmada DevOps prensiplerine değinilmiş ve altı farklı işletmede DevOps pratikleri uygulanarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda DevOps uygulamasında önemli olan alanların; dayanışma kültürü, otomasyon, ölçümleme, paylaşım, servisler, kalite güvencesi ve yönetim olduğu vurgulanmıştır [12]. França da Erich’in çalışmasına benzer şekilde DevOps kavramını prensipler bütünü olarak ele almıştır ve bu prensipleri altı alanda tanımlamıştır: sosyal yön, otomasyon, ölçümleme, paylaşım, kalite kontrol ve yalınlık. França ayrıca DevOps alanındaki akademik çalışmaların yeterli olgunlukta olmadığını belirterek ‘gri literatür’ olarak nitelendirilen blog, web siteleri ve teknik raporlardan da faydalanmıştır [13].

DevOps metodolojisinin benimsenmesindeki süreci ele alan birçok yayın bulunmaktadır. Lwakatare, 2019 yılında beş firma üzerinde yaptığı araştırmada DevOps’un benimsenmesiyle özellikle küçük ve orta büyüklükteki firmalarda süreçlerin çok daha hızlı ilerlediğini gözlemlemiştir [14]. Smeds, 2015 yılında yaptığı çalışmada DevOps ile yazılım geliştirmeye geçiş dönemini olumsuz etkileyen faktörleri ‘yetenek’, ‘kültür’ ve ‘teknoloji’ başlıkları altında ele almıştır [9]. Bucena, küçük firmalarda DevOps’un kolayca uygulanabilmesi için önerdiği pratikleri uluslararası bir firmanın şubesinde uygulayarak çeşitli çıkarımlarda bulunmuştur [15].

DevOps metodolojisi ile birlikte önem kazanan mikro servis mimarisi ile ilgili başlıca yayınlar Luz ve Balalaie tarafından literatüre kazandırılmıştır. Luz, mikro servis mimarisini detaylıca tanımlayarak monolitik mimariden farklarını bütün yönleriyle ortaya koymuştur. Ayrıca mikro servis mimarisinin işletilme sürecini üç farklı devlet enstitüsünde deneyimleyerek çıkarımlarını paylaşmıştır [16]. Balalaie ise monolitik yapıdaki kodların mikro servis mimarisine taşınması sırasında defalarca kullanılabilecek yöntemleri ele almıştır [17]. Literatür taraması bu noktaya kadar DevOps ile ilgili bir genel bilgi toplama amacı taşımaktadır. Oluşturulacak test olgunluk değerlendirme modeline temel oluşturmak amaçlanmıştır.

B. SÜREÇ GELİŞTİRME VE OLGUNLUK DEĞERLENDİRME MODELLERİ

DevOps ile ilgili temel bilgiler edinildikten sonra yazılım olgunluk değerlendirme modelleri incelenerek test olgunluk değerlendirme modeline dayanak oluşturulması amaçlanmıştır. Literatürde DevOps olgunluk değerlendirme modeli ile ilgili olarak öne çıkan birkaç araştırma bulunmaktadır. Zarour, DevOps olgunluk değerlendirme modelleri üzerinde bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada yedi DevOps olgunluk değerlendirme modelinin karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmiştir [18]. Bahrs tarafından tasarlanan IBM modeli 4 aşamadan oluşmaktadır ve plan/ölçüm, geliştirme/test, sürüm, izleme kategorilerinde değerlendirme yapmaktadır [19]. Buna benzer şekilde fakat değerlendirme ölçütleri farklı olmak üzere Mohamed [20], Menzel [21], Inbar [22] ve Eficode [23] tarafından aşamalı olarak tasarlanan yeni süreç değerlendirme modelleri önerilmiştir. Fejter tarafından önerilen model ise diğerlerinden farklı olarak sürekli bir modeldir ve bir firmayı belli kritik değerlendirme alanlarına göre incelemiştir. Bu değerlendirme alanları ‘kültür ve dayanışma’, ‘ürün, süreç ve kalite’ ve ‘temeller/dayanaklar’ ana başlıkları altında toplanmıştır [24]. Bu modeller bütün yazılım geliştirme safhalarını kapsayan modellerdir ve test aktivitelerini tam anlamıyla

kapsamamaktadır. Fakat oluşturulması planlanan model yalnızca test safhasının detaylı değerlendirmesini güncel kriterleri kapsayacak şekilde oluşturulacaktır.

Literatür taramasının kalan kısmında yazılım testi olgunluk ölçüm ve test süreç iyileştirme modelleri araştırılmıştır. Bu çalışmada 2017 yılında Garousi ve arkadaşları tarafından ortaya atılan çok yönlü literatür taraması dikkat çekmektedir. Akademik çalışmalar dışındaki kaynakları da içeren çalışmada, 181 geçerli kaynak ve 58 ölçüm modeli tespit edilmiştir. Bu modellerin sınıflandırılması ve birbirleri ile olan ilişkileri kronolojik olarak ele alınmıştır [25]. Günümüzde test süreç iyileştirmede yaygın olarak kullanılan modeller TMMI [26] ve çevik türevleri [27][28] ve TPI [29] modelleridir. Garousi'nin literatür taramasında ele alınan modeller incelendiğinde DevOps metodolojisini kapsayıcı ve bütün pratiklerini içeren bir test süreç iyileştirme modeline rastlanmamıştır. Bu çalışma ile DevOps pratiklerini içeren ve firmaların test olgunluğunu değerlendiren bir model önerisi sunularak literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Ülkemizde de DevOps ve test süreç iyileştirme modelleri ile ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arifoğlu, araştırmasında büyük ölçekli uygulamaların DevOps süreçlerine uyarlanması sürecinde yaşanan zorlukları bir kuruluş üzerinden örneklendirerek ele almıştır [30]. Kutluay ise çevik yönetim modeli kapsamında sürekli teslimat kavramının önemini incelemiştir [31]. Arkan, yazılım test servislerinin olgunluğunu ölçen bir model öne sürmüştü ve bu modelin uygunluğunu iki firmada uygulayarak değerlendirmiştir [32]. Arkan'ın oluşturduğu modelde servislerin olgunluğu ölçülmekte iken yapılacak bu çalışma ile bütün test sürecinin değerlendirilmesi gerçekleştirilecektir.

C. DEVOPS TEST PRATİKLERİ

Literatür taramasının son aşamasında test süreç iyileştirme modelinin tasarlanması için uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonrasında DevOps metodolojisinde gerekli olabilecek test pratikleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Uzmanlar tarafından önerilen bu pratiklerle ilgili literatür taraması aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ISO 25010 Kapsamında Ele Alınan Kalite Karakteristikleri: Bu özellikler; fonksiyonallık, kullanılabilirlik, güvenilirlik, verimlilik, sürdürülebilirlik, taşınabilirlik, uyumluluk ve güvenlik kategorileri olarak sıralanabilir [33].
- Test Güdüllü Geliştirme: Beck tarafından detaylıca ele alınmıştır. Kod yazılmadan önce geliştirmenin test kodları yazılır, ortada bir ürün olmadığından dolayı testler başarısız olur. Testler başarılı oluncaya kadar geliştirmeye devam edilir. Başarılı olduktan sonra kod diğer kodlar ile entegre olmaya hazır hale gelir [34].
- Davranış Güdüllü Geliştirme: Wynne ve arkadaşları tarafından detaylı olarak ele alınmıştır. Gereksinimler DSL (Domain Specific Language) bir formatta yazılır [35]. Gherkin bu formata örnek olarak verilebilir. Bu dil hem müşteri hem de teknik ekip tarafından rahatlıkla anlaşılır formattadır ("Bir banka müşterisi olarak bankanın mobil uygulamasına kullanıcı adı ve şifremi yazdığında uygulamaya girebilmeliyim" gibi). Yazılım mühendisleri Gherkin ile oluşturulan çalıştırılabilir gereksinimleri valide edecek ürün kodunu geliştirirler. Bu sayede hem paydaşlar arasında çatışma yaşanmamakta hem de kodlar gereksinimlere tamamen uygun olarak geliştirilmektedir.
- Sürekli Entegrasyon Testleri: Tamamı otomatik olarak geliştirilerek -başarılı olması durumunda- kodun manuel bir test sürecinden geçmeden derlenmesini sağlamaya yönelik birim, entegrasyon ve kontrat testlerinin tamamıdır [36][37].
- Sürekli Teslimat Testleri: Tamamı otomatik olarak geliştirilen fonksiyonel testlerdir. Ara yüz, servis ve veri tabanı gibi test nesnelerinin gereksinimlere uygunluğunu doğrulama amacını taşımaktadır [38].
- Mikro Servis Testleri: DevOps ile birlikte monolitik mimari yerine kullanılan mikro servis mimarisinin test aktiviteleridir. Entegre servislerin testleri için kontrat testleri, bu testlerin sanallaştırılmış servisler ile gerçekleştirilebilmesini ve bağımsız mikro servisler için servis fonksiyonel testlerini içermektedir [39].

- Test Veri Yönetimi: Test aktiviteleri sırasında araçlar ile yapılandırılmış ve sistematik olarak yürütülen veri faaliyetleridir. Testler sırasında canlı ortamdan alınan verilerin maskelenmiş olarak kullanılmasını veya sentetik veri üretimi gibi faaliyetleri içermektedir [40].
- Hata Tahminleme: Geliştirme yapılan kodun mantıksal hatalarını çeşitli girdilere dayanarak makine öğrenmesi teknikleri ile tahmin eden algoritmaları kullanan modellerdir. Test sürecine; geliştirme yapılan alanın yaratacağı regresyon etkilerini belirleme ve bu alanların testlerinin gerçekleştirilmesi gibi yararlar sağlamaktadır [41].

III. MATERYAL, YÖNTEM ve BULGULAR

DevOps metodolojisinde test süreç iyileştirme modeli oluşturmak için literatür taramasının yanında firmalar/deneyimli çalışanlar tarafından oluşturulan bloglar, konferanslar, başarı hikayeleri de incelenerek öncelikle DevOps ve test kavramlarının yazarlar tarafından kapsamlıca anlaşılması hedeflenmiştir. Daha önce test süreç iyileştirme modeli öneren yayınlarda izlenen metotlar detaylıca araştırılmıştır. Yararlanılan kaynaklar doğrultusunda model oluşturulmadan önce bilişim sektöründe DevOps pratiklerini deneyimleyen uzmanlarla yapılandırılmamış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Üç farklı firmadan toplam yedi uzmanla yapılan görüşmelerde modelleme için gerekli fikri temeller atılmıştır. Bu temelleri daha da güçlendirmek ve daha fazla uzmana ulaşabilmek adına anket uygulamasının yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla yapılandırılmamış görüşme gerçekleştirilen üç uzmana da danışılarak on sorudan oluşan bir anket düzenlenmiştir ve bu anket İstanbul Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu'na sunularak etik kurul onayı alınmıştır. Daha sonra anket çalışması 59 uzmana uygulanarak cevapları analiz edilmiştir. Anket cevapları, uzman görüşleri ve literatür bilgileri incelenerek DevOps metodolojisi için test iyileştirme modeli tasarlanmıştır.

A. UZMAN GÖRÜŞMELERİ

Türkiye'nin önde gelen firmalarında DevOps deneyimi bulunan yedi uzmana aşağıdaki araştırma soruları yöneltilmiştir:

- **S1:** Firmanızda DevOps'u ne zamandır uyguluyorsunuz?
- **S2:** DevOps süreçlerini ne kadar zamandır deneyimliyorsunuz?
- **S2:** DevOps ile birlikte test süreçlerinizde yaşadığınız en belirgin değişiklikler nelerdir?
- **S3:** DevOps test süreçlerini iyileştirme modeli/olgunluk ölçüm modeli üretmek mümkün olabilir mi?
- **S4:** Bir DevOps test süreç iyileştirme modeli üretseydiniz hangi DevOps ve test bileşenlerini ön planda tutardınız?

Uzmanların yanıtları özet olarak Tablo 1'de listelenmiştir.

B. ANKET UYGULAMASI

Çalışmanın daha efektif olması ve daha fazla uzmana danışabilmek adına uzman görüşmelerinde elde edilen bilgilerden yola çıkılarak on sorudan oluşan bir anket düzenlenmiştir. Bu anket Türkiye'nin farklı bilişim firmalarında çalışan 59 uzmana uygulanmıştır. Hazırlanan anket soruları aşağıdaki gibidir:

- **AS1:** Mesleki Pozisyonunuz?
- **AS2:** Firmanızda hangi yazılım geliştirme yaşam modeli uygulanıyor?
- **AS3:** Firmanızdaki yazılım test süreçlerini nasıl tanımlarsınız?
- **AS4:** Firmanızın yazılım test süreçlerinden sonra gerçekleştirilen son kullanıcı testlerinde tespit edilen hataların genelini önemini nasıl sınıflandırırsınız?
- **AS5:** Firmanızın iş birimlerinin yazılım testi kalitesinden memnuniyetini nasıl yorumlarsınız?
- **AS6:** Yazılım test aktivitelerinde otomasyondan ne ölçüde faydalaniyorsunuz?
- **AS7:** Aşağıdakilerden hangisi/hangileri yazılım test süreçlerinin kalitesini olumsuz etkiler?

- **AS8:** Gereksinim yönetimi, analiz ve yazılım aşamaları sizce nasıl daha verimli hale getirilebilir?
- **AS9:** Test süreçlerinin verimini artırmak için aşağıdakilerin hangilerinden faydalanılabilir?
- **AS10:** Test süreçlerinin kalitesinin artırılması için sizce aşağıdaki yaklaşımlardan hangileri benimsenebilir?

Tablo 1. Uzmanların Cevapları

Uzmanlar	S1	S2	S2	S3	S4
U1	2 yıl	2 yıl	Otomasyon Oranının Artması	Evet	Early Testing (erken test), Otomasyon Oranı, Entegrasyon Testleri
U2	2 yıl	3 yıl	Birim, Servis ve Altyapı Testleri	Evet	TDD (Test GÜdümlü Geliştirme), BDD (Davranış GÜdümlü Geliştirme)
U3	2 yıl	2 yıl	Fonksiyonel Olmayan Testler	Evet	Performans, Güvenilirlik, Kullanılabilirlik, Bakım
U4	1 yıl	3 yıl	TDD	Evet	TDD, Birim Test, Entegrasyon Testi
U5	1 yıl	1 yıl	CI (Sürekli Entegrasyon), CD (Sürekli Teslimat) Test Aktiviteleri	Evet	Sanallaştırma Faaliyetleri (servis, bulut vb.), Hata Tahminleme
U6	1 yıl	1 yıl	BDD	Evet	BDD, Fonksiyonel Olmayan Testler
U7	1 yıl	2 yıl	Servis Testleri, Test Veri Yönetimi	Evet	TDD, BDD, Test Veri Yönetimi, Servis Testleri

Sorulara ilişkin açıklamalar ve her bir sorunun uzmanlar tarafından cevapları aşağıda belirtildiği gibidir.

AS1-Mesleki Pozisyonunuz: Katılımcıların yazılım geliştirmeyi hangi pozisyonda uyguladıklarını belirlemek amacıyla sorulmuştur.

Tablo 2’den de anlaşılacağı gibi katılımcıların %27,12’sini analistler, %8,47’sini yazılım mühendisleri, %59,32’sini test mühendisleri ve %5,08’ini bilişim teknolojileri yöneticileri oluşturmaktadır.

AS2-Firmanızda hangi yazılım geliştirme yaşam modeli uygulanıyor: Katılımcıların yazılım testini uyguladıkları yazılım geliştirme yaşam döngüsünü belirlemek amacıyla sorulmuştur.

Tablo 3’ten de anlaşılacağı gibi katılımcıların hiçbiri şelale modeli kullanmamakta iken %3,39’u V model, %93,22’si çevik model, %3,39’u diğer modelleri uygulamaktadır. Diğer model seçeneğini seçen katılımcıların cevapları incelendiğinde ‘spiral’ modelini belirttiği görülmüştür.

AS3-Firmanızdaki yazılım test süreçlerini nasıl tanımlarsınız: Katılımcıların firmalarındaki yazılım test süreçlerini hangi aşamada gördüklerini belirlemek amacıyla sorulmuştur.

Tablo 4’ten de anlaşılacağı gibi katılımcıların %67,80’i firmalarındaki test süreçlerinin yeterince olgunlaşmış olmadığını düşünürken, %28,81’i etkin olarak yönetilebildiğini, %3,39’unun da optimize bir test sürecine sahip olduğunu düşünmektedir.

Tablo 2. Katılımcıların Mesleki Pozisyon Dağılımları

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Analist	27,12%	16
Yazılım Mühendisi	8,47%	5
Test Mühendisi	59,32%	35
Bilişim Teknolojileri Yöneticisi	5,08%	3
Toplam	100,00%	59

Tablo 3. Katılımcıların Uyguladıkları SDLC Modeli Dağılımları

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Waterfall (şelale) modeli	0,00%	0
V model	3,39%	2
Agile (çevik) model	93,22%	55
Diğer (lütfen belirtin)	3,39%	2
Toplam	100,00%	59

AS4-Firmanızın yazılım test süreçlerinden sonra gerçekleştirilen son kullanıcı testlerinde tespit edilen hataların genelini önemini nasıl sınıflandırırsınız: Katılımcıların firmalarındaki yazılım test süreçlerinde yazılım test aktivitelerinde gözden kaçırılan hataların niteliğini belirlemek amacıyla sorulmuştur.

Tablo 5'ten de anlaşılacağı gibi katılımcıların %10,17'si test mühendislerinin gözünden kaçabilen hataların son kullanıcı tarafından fark edildiğini belirtmiştir. %45,76'sı son kullanıcı testini gerçekleştiren iş birimlerinin yalnızca minör veya kozmetik hatalar tespit edebildiğini belirtmiştir. %20,34'ü iş birimleri tarafından tespit edilen bulguların hata niteliğinde olmadığını belirtirken %23,73 oranında katılımcı iş birimleri tarafından hata olarak nitelendirilen noktaların genellikle gereksinim değişikliği içerdiğini belirtmiştir.

Tablo 4. Katılımcıların Test Süreç Değerlendirme Dağılımları

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Yeterince olgunlaşmış değil	67,80%	40
Etkin olarak yönetilebilen	28,81%	17
Optimize	3,39%	2
Toplam	100,00%	59

Tablo 5. Son Kullanıcı Tarafından Tespit Edilen Hataların Değerlendirme Dağılımları

Cevap Seçenekleri	%	Adet
İş birimleri genellikle test mühendislerinin gözünden kaçabilen çok kritik hatalar tespit edebiliyor.	10,17%	6
İş birimleri yalnızca minör veya kozmetik hatalar tespit edebiliyor.	45,76%	27
İş birimlerinin bulguları genellikle hata niteliğinde değil.	20,34%	12
İş birimlerinin hata olarak nitelendirdiği noktalar genellikle gereksinim değişikliği içeriyor.	23,73%	14
Toplam	100,00%	59

AS5-Firmanızın iş birimlerinin yazılım testi kalitesinden memnuniyetini nasıl yorumlarsınız: Katılımcıların firmalarındaki son testleri gerçekleştiren iş birimlerinin yazılım test süreçleri konusundaki memnuniyetini belirlemek amacıyla sorulmuştur.

Tablo 6'dan da anlaşılacağı gibi katılımcıların %10,17'si iş birimlerinin test mühendisleri tarafından yapılan testlere güvenmediklerini belirtmişlerdir. Katılımcıların %66,10'u iş birimlerinin yazılım test aktiviteleri konusunda bir fikirlerinin olmadıklarını, standart son kullanıcı testleri gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Katılımcıların %23,73'ü de iş birimlerinin test mühendisleri tarafından gerçekleştirilen yazılım test aktivitelerine oldukça güvendiklerini, bu yüzden son kullanıcı testlerini çok gelişigüzel ve hızlı yaptıklarını belirtmişlerdir.

AS6-Yazılım test aktivitelerinde otomasyondan ne ölçüde faydalanıyorsunuz: Katılımcıların firmalarında test otomasyonundan ne ölçüde faydalandığını belirlemek amacıyla sorulmuştur. Tablo 7'den de anlaşılacağı gibi katılımcıların %6,78'i test süreçlerinde otomasyon bulunmadığını belirtirken, %86,44'ü tekrarlı testlerinde otomasyon kullandığını, %6,78'i de otomasyonun bütün test süreçlerinde yer aldığını belirtmiştir.

AS7-Aşağıdakilerden hangisi/hangileri yazılım test süreçlerinin kalitesini olumsuz etkiler: Yazılım testi süreçlerini olumsuz etkileyen etmenleri belirlemek amacıyla sorulmuştur. Bu soruda seçenekler arasında çoklu seçim yapma imkanı tanınmıştır.

Tablo 8'den de anlaşılacağı gibi katılımcıların %57,63'ü gereksinim yönetiminin dinamik olmamasının, %59,32'si analiz ve tasarım aşamalarının verimsiz olmasının, %69,49'u geliştirme süreçlerinin verimsiz olmasının, %93,22'si test sürelerinin çok kısa olmasının, %93,22'si yeni test yaklaşımları yerine geleneksel yöntemlerin kullanılmasının, %84,75'i yetersiz test veri yönetimi süreçlerinin, %88,14'ü de test alanında nitelikli personel eksikliğinin test süreçlerinin kalitesini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

Tablo 6. Son Kullanıcıların Yazılım Testine Bakış Açısını Değerlendirme Dağılımları

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Yazılım testine güvenmiyorlar, kendileri detaylı testler gerçekleştiriyorlar.	10,17%	6
Yazılım test aktiviteleri konusunda bir fikirleri yok, standart son kullanıcı testlerini gerçekleştiriyorlar.	66,10%	39
Yazılım testine oldukça güveniyorlar, son kullanıcı testleri çok gelişigüzel ve hızlı yapıyor.	23,73%	14
Toplam	100,00%	59

Tablo 7. Katılımcıların Otomasyon Kullanım Oranlarını Değerlendirme Dağılımı

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Test süreçlerimizde otomasyon bulunmuyor, yalnızca manuel süreçleri işletiyoruz.	6,78%	4
Tekrarlı testlerimizde kullandığımız otomasyon araçlarımız bulunuyor, yeni geliştirmeleri manuel olarak test ediyoruz.	86,44%	51
Bütün test süreçlerimizde otomasyon yer almaktadır.	6,78	4
Toplam	100,00%	59

AS8-Gereksinim yönetimi, analiz ve yazılım aşamaları sizce nasıl daha verimli hale getirilebilir: Gereksinim yönetimi, analiz ve yazılım aşamalarının daha kaliteli hale getirilmesini sağlayan faaliyetleri belirlemek amacıyla sorulmuştur. Bu soruda seçenekler arasında çoklu seçim yapma imkanı tanınmıştır. Tablo 9'dan da anlaşılacağı gibi katılımcıların %59,32'si kullanıcı ile sürekli iletişim sağlanarak, %83,05'i ekip koordinasyonu ile dinamik iş paylaşımı yapılarak, %37,29'u birlikte çalışma ortamı yaratılarak, %93,22'si şeffaf bir çalışma ortamı oluşturularak, %91,55'i yeni yazılım geliştirme yaklaşımlarının benimsenerek, %84,75'i de manuel süreçler yerine daha teknolojik yapılar kullanılarak gereksinim yönetimi, analiz ve yazılım aşamalarının daha verimli hale getirilebileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 8. Katılımcıların Test Süreci Kalitesini Değerlendirme Dağılımı

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Gereksinim yönetiminin dinamik olmaması	57,63%	34
Analiz ve tasarım aşamalarının verimsiz olması	59,32%	35
Geliştirme süreçlerinin verimsiz olması	69,49%	41
Test sürelerinin çok kısa olması	93,22%	55
Yeni test yaklaşımları yerine geleneksel yöntemlerin kullanılması	93,22%	55
Yetersiz test veri yönetimi süreçleri	84,75%	50
Nitelikli personel eksikliği	88,14%	52

Tablo 9. Katılımcıların Analiz ve Yazılım Süreçlerini İyileştirme Önerileri Dağılımı

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Kullanıcı ile sürekli iletişim	59,32%	35
Ekip koordinasyonu ile dinamik iş paylaşımı	83,05%	49
Birlikte çalışma ortamı	37,29%	22
Şeffaflık	93,22%	55
Yazılım geliştirmede yeni yaklaşımların benimsenmesi	91,55%	54
Manuel süreçler yerine daha teknolojik yapıların kullanılması	84,75%	50

AS9-Test süreçlerinin verimini artırmak için aşağıdakilerin hangilerinden faydalanılabilir: Test süreçlerinin daha kaliteli hale getirilmesini sağlayan faaliyetleri belirlemek amacıyla sorulmuştur. Bu soruda seçenekler arasında çoklu seçim yapma imkanı tanınmıştır.

Tablo 10'dan da anlaşılacağı gibi katılımcıların %69,49'u yeni yaklaşımlar için altyapılar benimsenerek, %89,93'ü sürekli entegrasyon sağlamaya yönelik test süreçlerin benimsenerek, %77,97'si sanallaştırma faaliyetlerini test süreçlerine dahil ederek, %81,36'sı test veri yönetimini etkin olarak kullanarak test süreçlerinin verimini artırabileceklerini belirtmişlerdir. %3,39 oranında "diğer" seçeneğini belirten katılımcılar tamamen otomatik süreçlerin uygulanmasını ve test mühendislerinin sürecin en başından dahil edilmesini önermişlerdir.

AS10-Test süreçlerinin kalitesinin artırılması için sizce aşağıdaki yaklaşımlardan hangileri benimsenebilir: Test süreçlerinin daha kaliteli hale getirilmesini sağlayan ve profesyonel olarak uygulanan yaklaşımları belirlemek amacıyla sorulmuştur. Bu soruda seçenekler arasında çoklu seçim yapma imkanı tanınmıştır.

Tablo 11'den de anlaşılacağı gibi katılımcıların %86,44'ü TDD, %71,19'u BDD, %74,58'i sürekli entegrasyon/sürekli teslimat pratiklerini, %62,71'i statik test süreçlerini, %69,49'u da fonksiyonel olmayan testleri uygulayarak test süreçlerinin kalitesinin artırılabilirliğini belirtmişlerdir.

C. YAZILIM TEST SÜREÇ İYİLEŞTİRME MODELİNİN TASARIMI

Önceki bölümlerde ele alınan literatür taraması, uzman görüşmeleri ve gerçekleştirilen anketler sonucunda, bir test süreç iyileştirme modelinin tasarımı için gerekli altyapı oluşturulmuştur. Model tasarımı yapılmadan önce literatürde kabul gören başlıca yazılım ve test modelleri incelenmiştir. Bu modellerde iki tip yapı dikkat çekmektedir:

- Firmaların test olgunluğunu değerlendirirken derecelendiren bir yaklaşım izleyen aşamalı modeller,
- Kritik değerlendirme alanlarını belirleyerek derecelendirmekten çok bu alanlara göre değerlendiren sürekli modeller

Tablo 10. Katılımcıların Test Süreçlerini İyileştirme Önerileri Dağılımı

Cevap Seçenekleri	%	Adet
Yeni yaklaşımlara uygun altyapının belirlenmesi	69,49%	41
Sürekli entegrasyon sağlamaya yönelik test süreçlerinin benimsenmesi	89,93%	53
Sanallaştırma faaliyetlerinin test süreçlerine dahil edilmesi	77,97%	46
Test veri yönetiminin etkin olarak gerçekleştirilmesi	81,36%	48
Diğer (lütfen belirtin)	3,39%	2

Tablo 11. Katılımcıların Test Süreçlerini İyileştirme Pratikleri Önerileri Dağılımı

Cevap Seçenekleri	%	Adet
TDD (Test GÜdümlü Geliştirme)	86,44%	51
BDD (Davranış GÜdümlü Geliştirme)	71,19%	42
Continuous Integration (Sürekli Entegrasyon)/ Continuous Deployment (Sürekli Teslimat)	74,58%	44
Statik test süreçlerinin kullanılması	62,71%	37
Fonksiyonel olmayan testlerin sürece entegre edilmesi	69,49%	41

Bu çalışma ile iki farklı yapının özelliklerini içeren hibrit bir model tasarımı amaçlanmıştır. Modelde 4 aşamalı bir yapı içerisinde her aşamaya özgü kritik değerlendirme alanları belirlenmiştir. İlgili değerlendirme alanlarının uygulanması o aşama için bu gereksinimin karşılandığı anlamına gelmektedir. Bir seviyede başarılı sayılabilmek için o seviyeye ait kritik değerlendirme alanlarının %80 oranında sağlanması gerekmektedir. Bu oran uzmanlarla yapılan görüşmeler ve literatürdeki diğer modellerin başarı oranları araştırılması neticesinde belirlenmiştir. Uzmanlara göre bir seviyede başarılı olabilmenin şartı o seviyeye ait fonksiyonların %80'inin yerine getirilmesi olarak yorumlanmıştır. Ayrıca TMMI gibi modellerde de başarı şartı %80-%85 oranında belirtilmiştir [26]. Tasarlanan modelin aşamaları ve her aşamaya özgü kritik değerlendirme alanlarının açıklamaları aşağıdaki gibidir.

C.1. Birinci Seviye: Başlangıç (Initial)

DevOps test süreç değerlendirmesinde 'başlangıç' seviyesinde değerlendirilen bir firmanın aktif bir test sürecinin olmadığı varsayılmıştır. Test aktiviteleri analist veya yazılım mühendisleri tarafından gayri resmi bir şekilde yapılmaktadır. Test süreçleri için ayrılan bir personel bütçesi bulunmamaktadır. Bu

safhada bulunan bir firma için amaç yazılım kodunun herhangi bir şekilde çalıştığını kanıtlamaktır. 'Başlangıç' seviyesi için herhangi bir kritik alan bulunmamaktadır.

C.2. İkinci Seviye: Yönetilebilen (Managed)

Bir firmanın 'yönetilebilen' seviyesinde test olgunluğuna sahip olabilmesi için test süreçlerinin minimum seviyede yönetilebildiği varsayılmıştır. Test stratejisi uygulanmakta, test planları bulunmakta, test metrikleri kullanılarak test raporları yayınlanmakta, test aktiviteleri için test mühendisi veya test analisti gibi unvanlara sahip olan personel bütçesi ayrılmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda 'yönetilebilen' seviyesi için belirlenen kritik alanlar aşağıdaki gibidir:

- **Test Stratejisi:** Testlerin uygulanması sırasında takip edilen yöntemleri ifade etmektedir.
- **Test İlkeleri:** Firmanın yazılım testinde projelerden bağımsız olarak takip ettiği politikayı ifade etmektedir.
- **Test Planı:** Her bir proje için özel olarak hazırlanan ve içerisinde projenin test aktivitelerine, kaynaklarına, sürelerine ait detayları içeren test dokümanını ifade etmektedir.
- **Test Raporları:** Projenin test aşamasında paydaşlara raporlanan metrikleri ifade etmektedir.
- **Test Personeli:** Yalnızca yazılım test aktivitelerini gerçekleştiren firma çalışanlarını ifade etmektedir.

Bu kritik alanlar belirlenirken -uzman görüşmeleri ve anket sonuçlarından da faydalanılarak- testin temel fonksiyonlarının farkındalığının artırılması, böylece test sürecinin oluşması, dolaylı olarak gereksinim, analiz ve tasarım aşamalarındaki kalite problemlerinin test aracılığıyla daha görünür olması ve son kullanıcı testlerinde kullanıcının ürün memnuniyetinin bu sayede artırılması amaçlanmıştır.

C.3. Üçüncü Seviye: Etkili (Effective)

Bir firmanın 'etkili' seviyesinde test olgunluğuna sahip olabilmesi için hem etkin bir test yönetiminin olması hem de DevOps metodolojisine hitap eden test aktivitelerini içermesi gerektiği varsayılmıştır. Bu sebeple TDD, BDD gibi yaklaşımların benimsenmiş, fonksiyonel testlerin yanında kullanılabilirlik, performans, güvenilirlik gibi fonksiyonel olmayan kalite karakteristiklerinin de test ediliyor olması gerekmektedir. Minimum seviyede statik testlerin de gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Ayrıca test aktivitelerinin etkin bir şekilde kullanılması için gerekli olan test yönetimi, hata yönetimi gibi araçların kullanılması gerekmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda 'etkili' seviyesi için belirlenen kritik alanlar aşağıdaki gibidir:

- **Test Araçları:** Senaryo yönetimi, hata yönetimi, metriklerin yönetimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılan test araçlarını ifade etmektedir.
- **Statik Test Teknikleri:** Kod çalıştırılmadan önce analiz, tasarım gibi çeşitli dokümanların gözden geçirilmesini veya kodun gözden geçirilmesini sağlayan test tekniklerini ifade etmektedir.
- **Fonksiyonel Olmayan Testler:** ISO 25010 kapsamında ele alınan ve fonksiyonellik dışındaki kullanılabilirlik, güvenilirlik, verimlilik, sürdürülebilirlik, taşınabilirlik, uyumluluk ve güvenlik kategorilerindeki kalite karakteristiklerinin testlerini ifade etmektedir.
- **Test GÜdümlü Geliştirme:** Test güdümlü geliştirme faaliyetlerinin uygulanmasını ifade etmektedir.
- **Davranış GÜdümlü Geliştirme:** Davranış güdümlü geliştirme faaliyetlerinin uygulanmasını ifade etmektedir.

Bu kritik alanlar ile birlikte firmanın DevOps metodolojisine uygun olarak test etki gücünü belirlemek amaçlanmıştır. Anket sonuçları, uzman görüşmeleri ve literatür incelendiğinde DevOps test süreçlerine TDD, BDD, kalite karakteristikleri, statik testler ve etkin araç kullanımının sıklıkla uygulanan ve tercih edilen pratikler olduğu görülmüştür.

C.4. Dördüncü Seviye: Optimize (Optimized)

Bir firmanın 'optimize' seviyesinde test olgunluğuna sahip olabilmesi için test süreçlerinin tamamının DevOps ile entegre olabilmesi gerektiği varsayılmıştır. Bu sebeple DevOps yapısındaki sürekli bütünlük sağlamaya yönelik birim, entegrasyon ve kontrat testlerinin otomatik olarak gerçekleştirilebiliyor olması ve sürekli geliştirmeyi sağlamaya yönelik fonksiyonel testlerin gerçekleştirilebiliyor olması gerektiği düşünülmüştür. Test sürecinin alt disiplinlerinden olan test veri yönetimi, mikro servis testlerinde servis sanallaştırma kullanılması, akıllı hata tahminleme yöntemleri etkili olarak kullanılabilir. Bu bilgiler doğrultusunda 'optimize' seviyesi için belirlenen kritik alanlar aşağıdaki gibidir:

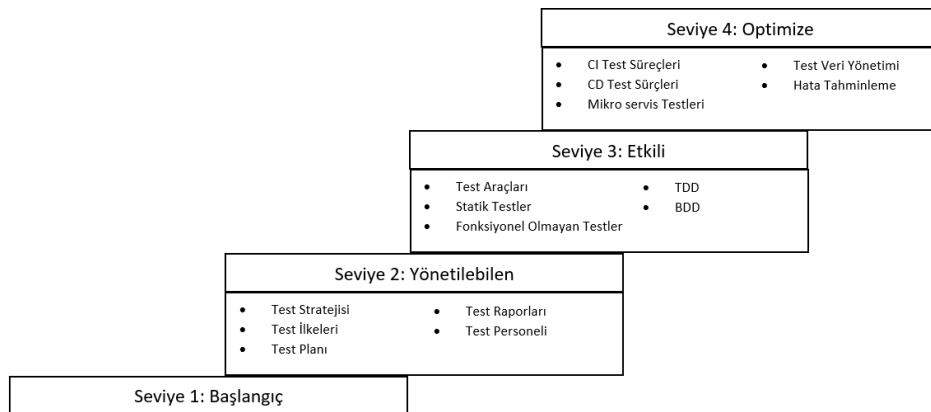
- **Sürekli Entegrasyon Test Süreçleri:** Otomasyon ile gerçekleştirilen birim, entegrasyon ve kontrat testlerini ifade etmektedir.
- **Sürekli Teslimat Test Süreçleri:** Otomasyon ile geliştirilen fonksiyonel testleri ifade etmektedir [38].
- **Mikro Servis Test Aktiviteleri:** Mikro servis testleri için uygulanan kontrat testlerini ve gerekli olan durumlarda sanallaştırılmış servislerin kullanılmasını ifade etmektedir [39].
- **Test Veri Yönetimi:** Test yapılırken veri kullanmak için uygulanan maskeleyme ve sentetik veri üretimi faaliyetlerini ifade etmektedir [40].
- **Hata Tahminleme:** Makine öğrenmesi teknikleri ile hata tahminleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini ifade etmektedir [41].

Bu kritik alanlar belirlenirken firmanın optimum bir DevOps test süreci için mutlaka olması gereken faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bütün bu seviyelendirme ve kritik değerlendirme alanları ile birlikte Şekil 1'deki gibi bir değerlendirme modeli ortaya çıkmaktadır.

D. YAZILIM TEST SÜREÇ İYİLEŞTİRME MODELİNİN UYGULAMASI

Oluşturulan test süreç iyileştirme modelinin fizibilitesini belirlemek amacıyla bu modelin, Türkiye'de faaliyet gösteren ve DevOps metodolojisini uygulayan bir teknoloji firmasında uygulanmasına karar verilmiştir. Firma yaklaşık 1100 kişilik bilişim personeline sahiptir ve geliştirme prosedürleri çevik yaklaşımları içermektedir. Ekipler çevik yönetime uygun bir şekilde geliştirme ekipleri olarak konumlandırılmıştır. Test süreç iyileştirme modelinde ele alınan değerlendirmeler bu firmanın bir geliştirme ekibi baz alınarak yapılmıştır.



Şekil 1. DevOps Test Süreç İyileştirme Modeli

Geliştirme ekibi 3 yazılım mühendisi, 4 analist ve 1 test mühendisi içermektedir. Çevik prosedürlere uygun olarak her sabah günlük toplantılar yapılmakta ve geliştirmeler belirli periyotlar ile düzenli aralıklarla canlı ortama taşınmaktadır. Her periyot sonunda gözden geçirme, retrospektif gibi aktiviteler

gerçekleştirilmektedir. Ekipteki yazılım mühendislerinden biri de DevOps'un gerektirdiği gibi ürünün canlı ortama geçişiyle ilgili operasyonel süreçleri üstlenmektedir.

İlgili ekibe ait test değerlendirmelerinin detayları aşağıda belirtilmiştir.

- **Test Süreci:** Firmanın çevik prosedürleri gereği, geliştirilen ürünün kalite kontrolünü içeren bir süreç bulunmaktadır.
- **Test Personeli:** Ekip içerisinde geliştirilen ürünün yalnızca testlerinden sorumlu bir personel bulunmaktadır.
- **Test Stratejisi:** Geliştirilen ürünün test aktivitelerinde dinamik test tekniklerinden olan sınır değer analizi, denklik paylarına ayırma, kullanım senaryosu gibi teknikler uygulanmaktadır. Bu da testlerin sistematik ve stratejik olduğunu kanıtlayan bir özelliktir.
- **Test İlkeleri:** Ekibin projelerden bağımsız genel test ilkeleri, merkezi test ekibi tarafından belirlenmiştir. Bu ilkelerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:
 - Kalite testlerinde çok fazla hatası olan ürünün fonksiyonel testlerine başlanamaz.
 - Hiçbir ürün fonksiyonel testler tamamlanmadan kullanıcı testine verilemez.
 - Kullanıcı kabul testinden onay almamış bir ürün canlı ortama alınmaz.
- **Test Planı:** Ekibin proje bazında şablon olarak sahip oldukları bir test planı bulunmaktadır. Bu plan içerisinde görev alacak personeller, test edilecek ve edilmeyecek kısımlar, efor planlamaları bulunmaktadır.
- **Test Raporları:** Test mühendisi testlere başladığı andan itibaren paydaşları ürünün kalitesi konusunda çeşitli metriklerle bilgilendirmektedir. Bu metrikler arasında senaryo sayısı, kontrolü tamamlanan ve hatası olan senaryolar, hatalı senaryolar, kritik hatalar, kozmetik hatalar gibi bilgiler bulunmaktadır.
- **Test Araçları:** Ekipte üç farklı test aracı kullanılmaktadır.
 - Test senaryolarının etkili yönetilebilmesi için ticari bir test yönetimi aracı kullanılmaktadır. Test mühendisi senaryolarını burada tasarlamakta ve koşumlarını bu araç üzerinde gerçekleştirmektedir. Ürün paydaşlarını bu araç üzerinden elde ettiği metrikleri raporlayarak bilgilendirmektedir.
 - Hataların yönetimi için başka bir ticari hata yönetimi aracı kullanılmaktadır. Test mühendisi senaryolarda tespit ettiği hataları bu araç üzerinden raporlayabilmektedir ve bu hataları test yönetimi aracı ile entegre edebilmektedir. Açılan hata raporları bu araç üzerinden analist ve yazılım mühendislerine iletilebilmektedir ve iletişim sağlanabilmektedir.
 - Senaryoların otomatik koşumları için başka bir ticari test otomasyon aracı kullanılmaktadır. Tekrarlı testlerde test mühendisi bu aracı senaryoları otomatik olarak koşabilmek için kullanmaktadır.
- **Statik Test Teknikleri:** Test mühendisi gereksinim belirleme toplantılarına katılmaktadır ve kod çalıştırılmadan önce hatalı durumların önüne geçmek adına review (gözden geçirme) yaparak gerektiğinde geliştirmeye müdahale edebilmektedir. Yazılan analiz dokümanlarında mantıksal hatalar olması durumunda hata raporu açılmasa da sözlü iletişim yoluyla hatanın önüne geçebilmektedir.
- **Fonksiyonel Olmayan Testler:** Ekip içerisinde ve ekip dışındaki personeller yardımıyla ISO 25010'da belirtilen fonksiyonel olmayan kalite karakteristiklerine göre testler yürütülebilmektedir.
 - Kullanılabilirlik testleri firma tarafından belirlenen kullanılabilirlik prensiplerine göre test mühendisi tarafından belirli periyotlarla gerçekleştirilmektedir.
 - Güvenilirlik ve güvenlik testleri farklı ekipler tarafından sürekli olarak koşulmaktadır.
 - Verimlilik testleri ihtiyaç halinde merkezi test ekibi tarafından gerçekleştirilmekte ve sonuçları bu ekip ile incelenmektedir.
 - Sürdürülebilirlik testleri için canlı ortam sürekli olarak takip edilmekte, müşteriler tarafından gelen şikayetlere acil müdahaleler gerçekleştirilmektedir.

- Taşınabilirlik testleri için farklı simüle ortamlara geçişler yapılmaktadır. Böylece canlı ortama geçildiğinde ortam değişimi ile ilgili riskler en aza indirilmektedir.
- Uyumluluk testleri için ürün entegrasyon testleri düzenli aralıklarla ekipte bulunan test mühendisi tarafından gerçekleştirilmektedir.
- **Test GÜdümlü Geliştirme ve Davranış GÜdümlü Geliştirme:** Yapılan geliştirmelerin gereksinimleri ekibe iş birimi tarafından DSL formatında iletilmektedir. Yazılım mühendisleri iletilen bu format için, test güdümlü geliştirme esaslarına uygun olarak, test senaryolarını hazırlamaktadır ve geliştirme kodunu daha sonra yazmaktadır. Böylece ürün için yazılan test senaryoları başarılı oluncaya kadar ve iş biriminin gereksinimine tam olarak cevap verilinceye kadar geliştirilmektedir ve hata oranı en az seviyeye indirgenmektedir.
- **Sürekli Entegrasyon ve Sürekli Teslimat Test Süreçleri:** Ekip içerisinde yapılan geliştirmenin otomatik olarak testlerini gerçekleştirerek direkt entegrasyonunu sağlayan bir süreç bulunmamaktadır. Sebebi incelendiğinde test mühendisinin kodlama konusunda gelişmeye ihtiyacı olduğu görülmüştür. Geliştirilen ürünler test mühendisi tarafından manuel olarak test edilmektedir.
- **Mikro Servis Test Aktiviteleri:** Ekip içerisinde mikro servis testleri için herhangi bir kontrat test süreci bulunmamaktadır. Servis sanallaştırma faaliyetleri gerektiğinde merkezi test ekibi tarafından sağlanmaktadır.
- **Test Veri Yönetimi:** Kişisel verilerin kullanımına uyumlanılması amacıyla canlı ortamdaki veriler simüle ortamlara maskeleyerek indirilerek kullanılmaktadır. Bunun dışında merkezi test ekibi tarafından sentetik veri üretimi faaliyetleri ekip ile çalışılarak gerçekleştirilebilmektedir.
- **Hata Tahminleme:** Makine öğrenmesi veya yapay zeka teknikleri ile hataları akıllı bir şekilde tahmin eden robotik bir süreç bulunmamaktadır.

Tablo 12. Firmaya Ait DevOps Test Geliştirme Modeli Değerlendirme Sonuçları

Seviye	Değerlendirme Kriteri	Değerlendirme Sonucu
1. Seviye: Başlangıç	Test Süreci	Başarılı
2. Seviye: Yönetilebilen	Test Personeli	Başarılı
	Test Stratejisi	Başarılı
	Test İlkeleri	Başarılı
	Test Planı	Başarılı
	Test Raporları	Başarılı
3. Seviye: Etkili	Test Araçları	Başarılı
	Statik Test Teknikleri	Başarılı
	Fonksiyonel Olmayan Testler	Başarılı
	Test GÜdümlü Geliştirme	Başarılı
	Davranış GÜdümlü Geliştirme	Başarılı
4. Seviye: Optimize	Sürekli Entegrasyon Test Süreçleri	Geliştirilmesi Gerekli
	Sürekli Teslimat Test Süreçleri	Geliştirilmesi Gerekli
	Mikro Servis Test Aktiviteleri	Geliştirilmesi Gerekli
	Test Veri Yönetimi	Başarılı
	Hata Tahminleme	Geliştirilmesi Gerekli

Değerlendirme kriterlerinin sonuçları Tablo 12’de gösterildiği gibidir. Tablodan da anlaşılacağı üzere ekibin DevOps test değerlendirme seviyesi %80 üzerinde bir oranda başarı kriterlerini sağladığından dolayı **3. Seviye: Etkili** olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonucuna göre bu firmanın etkin bir test yönetimi anlayışının olduğu, DevOps metodolojisine yakın bir test altyapısına sahip olduğu sonucu çıkarılabilir. Testin optimum noktada uygulanabilmesi için sürekli entegrasyon, sürekli teslimat ve hata tahminleme alanlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu noktada firma ile görüşüldüğünde uzmanlardan aşağıdaki öneriler alınmıştır.

- **Sürekli Entegrasyon ve Sürekli Teslimat Test Süreçleri İçin Öneriler:** Test mühendislerinin kodlama konusunda geliştirilebilir. Firmaya dahil edilecek yeni test personellerinin kodlama konusunda altyapısının olmasına özen gösterilebilir.
- **Mikro Servis Test Aktiviteleri İçin Öneriler:** Mikro servis mimarisinin ve kontrat test mantığının test mühendisleri tarafından kavranması ve uygulanması için eğitimler düzenlenebilir.
- **Hata Tahminleme İçin Öneriler:** Teknik test mühendisleri makine öğrenmesi ve yapay zeka konularında uzmanlaştırılabilir veya dış kaynak firmaları ile anlaşarak hata tahminleme faaliyetlerini yürütecek personel kiralanabilir.

Uzmanlar tarafından verilen öneriler firma tarafından yapılacaklar listesine eklenmiştir ve ilerleyen zamanlarda değerlendirilecektir.

IV. TARTIŞMA ve SONUC

Bu çalışma ile DevOps metodolojisinde test süreçlerinin olgunluğunu ölçmek amacıyla test süreç iyileştirme modeli tasarlanmıştır. Bu kısımda daha önce geliştirilen modeller ile karşılaştırılması ve modelin uygulamalı değerlendirilmesi yer almaktadır.

Tasarlanan model, daha önce CMMI örnek alınarak geliştirilmiş olan TMMI ve türevleri ile benzerlikler göstermektedir [26][27][28]. Bu modellerde de aşamalı bir yapı söz konusudur. Bir seviyede başarılı olmanın koşulu o seviyenin gereksinimlerinin büyük oranda karşılanmasıdır. DevOps test süreç iyileştirme modelinin bu modellerden en büyük farkı her bir aşamanın kendine özgü kritik değerlendirme alanı içermesidir. Her bir seviyede bu değerlendirme alanlarının %80 oranında uygulanması gerekmektedir. Kritik değerlendirme alanları yaklaşımı, sürekli modellerde faydalanan bir tekniktir ve TPI Next, CTP gibi sürekli modellerden ilham alınarak yapılmıştır [29]. Sürekli modellerde de aşamalı bir yapı söz konusu değildir. Bu çalışma ile geliştirilen model her iki tipe ait özellikler barındırdığı için hibrit bir yapı olarak nitelendirilmiştir.

DevOps test süreç iyileştirme modeli, daha önce tasarlanan ve yalnızca test süreçlerini değil, bütün DevOps süreçlerinin değerlendirmesini içeren modeller ile test bakımından benzerlik gösterebilmektedir. IBM DevOps Olgunluk Modeli'nde de bu çalışmada tasarlanan modelde olduğu gibi sürekli entegrasyon ve sürekli teslimat test aktiviteleri ön koşul olarak belirtilmiştir ve dört seviyede ele alınmıştır [19]. Fakat IBM modelinde ön koşul olarak belirtilen seviyeler farklılık göstermektedir. Bu durum geliştirme ihtiyaçları ile test ihtiyaçlarının aynı kategori altında değerlendirilmesinden kaynaklanabilir. Efficode Geliştirme Modeli'nin kalite güvencesi kategorisinde ele alınan birim test, statik kod analizi, otomasyon süreçleri gibi ön koşullar bu çalışmada geliştirilen model ile benzerlik göstermektedir [23]. Efficode modeli de dört seviyede ele alınan aşamalı bir modeldir. Diğer yazılım geliştirme modelleri olan Fejiter ve Mohamed tarafından ortaya konan DevOps geliştirme modeli, bu çalışma ile tasarlanan modelden oldukça farklıdır. Mohamed, otomasyon tabanlı ve aşamalı bir olgunluk değerlendirme model sunarken Fejiter kritik değerlendirme alanları sunan ve bu alanlar içerisinde test ile ilgili yalnızca otomasyon karakteristiğini içermektedir [20][24]. Bu çalışma ile Fejiter ve Mohamed'den farklı olarak yalnızca otomasyonu değil bütün test süreçlerini değerlendirmek amaçlanmıştır.

DevOps test süreç iyileştirme modelinin sektörde DevOps test süreçlerini değerlendirmeye yönelik kullanışlı bir model olacağı öngörülmekte ve hibrit yapısıyla kapsayıcı bir değerlendirme sağlayacağı düşünülmektedir. Bir firma ile yapılan örnek uygulamada da işlerliği kanıtlanmış ve firmadan ve tasarım sürecinde katkıda bulunan uzmanlardan olumlu geri bildirimler alınmıştır. Gelecek çalışmalarda bu modelin daha çok firmada uygulanarak analiz edilmesi ve sonuçlarının diğer yayınlar ile zenginleştirilmesi planlanmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Kiv, S. Heng, M. Kolp, and Y. Watelet, "Agile manifesto and practices selection for tailoring software development: A systematic literature review," *International Conference on Product-Focused Software Process Improvement*, 2018, pp. 12-30.
- [2] K. Back, M. Beedle, and A.V. Bennekum. (2021, August 31). *Manifesto for Agile Software Development* [Online]. Available: <https://agilemanifesto.org/>
- [3] O. Kalıpsız, A.B. Olcaysoy, ve G. Biricik, *Bilgisayar Bilimlerinde Sistem Analizi ve Tasarımı*, 4. baskı, İstanbul, Türkiye: Papatya Yayıncılık, 2018, böl. 4, ss. 45-47.
- [4] E.B. Swanson, and C.M. Beath, "Departmentalization in Software Development and Maintenance," *Communications of the ACM*, vol. 33, pp. 658–667, 1990.
- [5] B. Tessem, and J. Iden, "Cooperation between developers and operations in software engineering projects," *Proceedings of the 2008 international workshop on Cooperative and human aspects of software engineering*, Leipzig, Germany, 2008, pp. 105–108.
- [6] P.A. Nielsen, T.J. Winkler, and J. Nørbjerg, "Closing the IT Development-Operations Gap: The DevOps Knowledge Sharing Framework," *16th International Conference on Perspectives in Business Informatics Research*. BIR 2017 – Aalborg University, Copenhagen, Denmark, 2017, pp. 1-16.
- [7] I. Ozkaya, "The Deployment View," *IEEE Software*, vol. 37, no. 3, pp. 3-5, 2020.
- [8] G.B. Ghantous, and A.Gill, "DevOps: Concepts, Practices, Tools, Benefits and Challenges," *Pacific Asia Conference on Information Systems*, Langkawi, Malaysia, 2017, pp. 96.
- [9] J. Smeds, K. Nybom, and I. Porres, "DevOps: A Definition and Perceived Adoption Impediments," *International Conference on Agile Software Development*, 2015, pp. 166-177.
- [10] M. Virmani, "Understanding DevOps & Bridging the gap from Continuous Integration to Continuous Delivery," *Fifth International Conference on the Innovative Computing Technology (INTECH 2015)*, Galicia, Spain, 2015, pp. 78-82.
- [11] J. Angara, S. Gutta, and S. Prasad, "DevOps with Continuous Testing Architecture and Its Metrics Model," *Recent Findings in Intelligent Computing Techniques*, Singapore, 2018, pp. 271-281.
- [12] F. Erich, C. Amrit, and M. Daneva, "A Qualitative Study of DevOps Usage in Practice," *Journal of Software: Evolution and Process*, vol.29, no. 6, 2017.
- [13] B.B.N. França, H. Jeronimo, and G.H. Travassos, "Characterizing DevOps by Hearing Multiple Voices," *30th Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES'16)*, Maringa, Brazil, 2016, pp. 53–62.
- [14] L.E. Lwakatare, T. Kilamo, T. Karvonen, T. Sauvola, V. Heikkila, J. Itkonen, P. Kujava, T. Mikkonen, M. Oivo, and C. Lassenius, "DevOps in Practice: A Multiple Case Study of Five Companies," *Information and Software Technology*, vol. 114, pp. 217-230, 2019.
- [15] I. Bucena, and M. Kirikova, "Simplifying the DevOps Adoption Process," *Workshops and Doctoral Consortium co-located with 16th International Conference on Perspectives in Business Informatics Research (BIR 2017)*, Copenhagen, Denmark, 2017, pp. 1-15.

- [16] W. Luz, E. Agilar, M.C. Oliviera, C.E.R. Melo, G. Pinto, and R. Bonifacio “An Experience Report on the Adoption of Microservices in Three Brazilian Government Institutions,” *XXXII Brazilian Symposium on Software Engineering*, Sao Carlos, Brazil, 2018, pp. 32-41.
- [17] A. Balalaie, A. Heydarnoori, and P. Jamshidi, “Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture,” *IEEE Software*, vol. 33, no. 3, pp. 42-52, 2016.
- [18] M.I. Zarour, M. Alenezi, and N. Alhammad “A Research on DevOps Maturity Models,” *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 4854-4862, 2019.
- [19] P. Bahrs. (2021, August 31). *Adopting the IBM DevOps Approach for Continuous Software Delivery* [Online]. Available: <https://developer.ibm.com/articles/d-adoption-paths/>
- [20] S. Mohamed, “DevOps Shifting Software Engineering Strategy-Value Based Perspective,” *International Journal of Computer Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 51–57, 2015.
- [21] G. Menzel, and A. Macaulay. (2021, August 31). *DevOps - The Future of Application Lifecycle Automation* [Online]. Available: <https://www.capgemini.com/2014/12/devops-the-future-of-application-lifecycle-automation/>
- [22] M. Gasparaite, S. Ragaisis, “Comparison of devops maturity models,” *IVUS 2019. Proceedings of the International Conference on Information Technologies*, Kaunas, Lithuania, 2019, pp. 65-69.
- [23] P. Laihonen, “Adoption of DevOps Practices in the Finnish Software Industry: an Empirical Study,” M.S. thesis, School of Electrical Engineering, Aalto University, Espoo, Finland, 2018.
- [24] R. Feijter, S. Overbeek, R. Vliet, E. Jagroep, and S. Brinkkemper, “DevOps Competences and Maturity for Software Producing Organizations,” *International Conference on Evaluation and Modeling Methods for System Analysis and Development*, Tallinn, Estonia, 2018, pp. 244–259.
- [25] V. Garousi, M. Felderer, and T. Hacaloğlu, “Software Test maturity assessment and test process improvement: A multivocal literature review,” *Information and Software Technology*, vol. 85, pp. 16-42, 2017.
- [26] T. Foundation. (2021, June 20). *Test Maturity Model Integration* [Online]. Available: <https://www.tmmi.org/tmmi-model/>
- [27] G. Hongying, and Y. Cheng, “A Customizable Agile Software Quality Assurance Model,” *The 5th International Conference in New Trends in Information Science and Service Science*, Macao, China, 2011, pp. 382-387.
- [28] ATMM. (2021, June 20). *Agile Testing Maturity Model* [Online]. Available: <http://www.agile-testing-maturity-model.com/startseite.html>
- [29] J. Andersin, “TPI – a model for Test Process Improvement,” *Seminar on Quality Models for Software Engineering*, Helsinki, Finland, 2004, pp. 1-13.
- [30] Ö.F. Arifoğlu, “Büyük Ölçekli Uygulamaların DevOps Süreçlerine Uyarlanması ve Uygulanması,” Yüksek Lisans tezi, Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2020.
- [31] D. Kutluay, “Importance and Effects of Continuous Delivery on Agile Software Development Lifecycle,” M.S. thesis, Management and Information Systems, Yeditepe University, Istanbul, Turkey, 2018.



- [32] S. Arkan, "Assesing the Maturity of Software Testing Services: A Model and Its Industrial Evaluation," M.S. thesis, Computer Engineering, Cankaya University, Ankara, Turkey, 2016.
- [33] M. Haues, A. Sellami, H.B. Abdallah, and L. Cheikhi, "A Guideline for Software Architecture Selection Based on ISO 25010 Quality Related Characteristics," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 8, pp. 886–909, 2017.
- [34] K. Beck, *Test-Driven Development by Example*, 1st ed, London, England: Pearson Education, 2003, pp. 123-133.
- [35] S. Rose, M. Wynne, and A. Hellesoy, *The Cucumber Book: Behaviour Driven Development for Testers and Developers*, 1st ed., North Carolina, USA: The Pragmatic Bookshelf, 2015, ch.3, pp. 31-45.
- [36] D. Marijan, M. Liaaen, and S. Sen, "DevOps Improvements for Reduced Cycle Times with Integrated Test Optimizations for Continuous Integration," *2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference*, Tokyo, Japan, 2018, pp. 22-27.
- [37] H.G. Gross, and N. Mayer, "Built-In Contract Testing in Component Integration Testing," *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 82, no. 6, pp. 22-32, 2003.
- [38] G. Schermann, D. Schöni, P. Leitner, and H.C. Gall, "Bifrost: Supporting Continuous Deployment with Automated Enactment of Multi-Phase Live Testing Strategies," *17th International Middleware Conference*, Trento, Italy, 2016, pp. 1-14.
- [39] S.P. Ma, C.Y. Fan, Y. Chuang, I.H. Liu, and C.W. Lan, "Graph-Based and Scenario-Driven Microservice Analysis, Retrieval, and Testing," *Future Generation Computer Systems*, vol. 100, pp. 724-735, 2019.
- [40] R.B. Jain, M. Puri, and U. Jain, "A Data Masking Utility to Secure Sensitive Production Data in Non-Production Environment," *International Journal of Knowledge Engineering and Data Mining*, vol. 6, no. 2, pp. 168-186, 2019.
- [41] A. Hammouri, M. Hammad, M. Alnabhan, and F. Alsarayrah, "Software Bug Prediction using Machine Learning Approach," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 9, no. 2, pp. 78-83, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Biyolojik ve İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Karbon Ayak İzinin Yaşam Döngüsü Temelinde Belirlenmesi

 Simge ÇANKAYA ^{a,*},  Beyhan PEKEY ^b

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: simge.taner@kocaeli.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1242081

ÖZ

Atıksuda bulunan kirleticileri gidererek temiz çıkış suyu üretmek için tasarlanan ve inşa edilen atıksu arıtma tesisleri (AAT), kentsel sistemler için temel gereksinimdir. Söz konusu tesisler ham atıksuyun alıcı ortamlara deşarjı nedeniyle oluşabilecek çevresel etkilerin azaltılmasını sağlamaktadır. Buna karşılık, faaliyetleri sürecinde gerek kaynak tüketimleri (su, elektrik gibi) gerek emisyon oluşturmaları (metan, nitroz oksit gibi) nedeniyle bu tesislerin çevresel açıdan sürdürülebilirliklerinin değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı özellikler taşıyan bir adet biyolojik (klasik aktif çamur prosesi) ve bir adet ileri biyolojik (A2/O prosesi) atıksu arıtma tesisinin işletilmesi sürecinin karbon ayak izi yaşam döngüsü yaklaşımı ile hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Karbon ayak izi, yaşam döngüsü değerlendirme (YDD)'nde küresel ısınma potansiyelinin (KIP) bir göstergesidir. Çalışma kapsamında SimaPro 9.2 yazılımı ve IPCC 2013(100a) etki değerlendirme metodu kullanılmıştır. Gerçekleştirilen etki değerlendirme sonucunda, A2/O prosesine sahip atıksu arıtma tesisinin küresel ısınma potansiyeli 1,64 kg CO₂ eşd/m³.atıksu, klasik aktif çamur prosesine sahip atıksu arıtma tesisinin küresel ısınma potansiyeli ise 1,23 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak hesaplanmıştır. Envanter analizi sonuçları araştırıldığında, değerlendirmenin yapıldığı atıksu arıtma tesislerine bağlı ortaya çıkan KIP etkisinin metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) emisyonları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Arıtma tesisi ünitelerinin KIP üzerindeki etkileri karşılaştırıldığında, biyolojik arıtma ünitesinin KIP üzerindeki katkısının en yüksek olduğu belirlenmiştir. Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sürecindeki proseslerin (su geri kazanımı, arıtma çamuru bertarafı, direkt sera gazı oluşumu, arıtılmış atıksuyun alıcı ortama deşarjı, kimyasal madde tüketimi, nakliye ve elektrik tüketimi) etkileri değerlendirildiğinde ise arıtma çamuru bertarafı için seçilen yöntemin ve elektrik tüketiminin küresel ısınma potansiyeli etki kategorisi üzerinde önemli ve belirleyici olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma tesisi, Karbon ayak izi, Küresel ısınma potansiyeli, Yaşam döngüsü değerlendirme

LCA-based Carbon Footprint of Biological and Advanced Biological Wastewater Treatment Plants

ABSTRACT

Wastewater treatment plants (WWTP), designed and built to produce clean effluent by removing pollutants from wastewater, are the basic requirement for urban systems. These plants reduce the environmental impacts that may occur due to the discharge of raw wastewater into receiving environments. On the other hand, it is important to evaluate the environmental sustainability of them due to consumption of resources (such as water, electricity) and emitting emissions (such as methane, nitrous oxide) during their activities. In this study, the carbon footprint of the one biological (classical activated sludge process) and one advanced biological (A2/O process) wastewater

treatment plant with different characteristics was calculated and compared with the life cycle approach. Carbon footprint is an indicator of global warming potential (GWP) in life cycle assessment (LCA). Within the scope of this study, SimaPro 9.2 software and IPCC 2013(100a) impact assessment method were used. As a result of the impact assessment the GWP of the wastewater treatment plant with the A2/O process was calculated as 1.64 kg CO₂ eq/m³.wastewater, and the GWP of the wastewater treatment plant with the classical activated sludge process was calculated as 1.23 kg CO₂ eq/m³.wastewater. When the results of the inventory analysis were investigated, it was determined that the GWP impact category was related to the methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions in wastewater treatment plants. When the contribution of treatment plant units on GWP impact category were compared, the contribution of the biological treatment unit was determined as the highest. Considering the impacts of the processes (water recovery, sewage sludge disposal, direct greenhouse gas emissions, discharge of treated wastewater to the receiving environment, chemical consumption, transportation and electricity consumption) during operational stage of wastewater treatment plants, it was determined that the method chosen for treatment sludge disposal and electricity consumption are important and decisive on the GWP impact category.

Keywords: Wastewater treatment, Carbon footprint, Global warming potential, Life cycle Assessment.

I. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin günümüz kuşaklarının ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir kalkınma modeli olarak 20. yüzyıl sonlarına doğru dünya gündemine girmiş ve 1990'lı yıllarda imzalanan uluslararası antlaşmalarla küresel bir uygulama planı haline gelmiştir [1]. 2015 yılında ise Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, yoksulluğu ortadan kaldırmak, gezegenimizi korumak, eşitsizlik ve adaletsizlikle mücadele etmek amacıyla 2030 yılında tamamlanan bir yol haritası olan ve 17 evrensel hedeften oluşan Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarını (SKA) yayınlamıştır [2]. İklim eylemleri, temiz su ve sıhhi koşullar, erişilebilir ve temiz enerji gibi çevresel hedeflerin de yer aldığı sürdürülebilir kalkınma amaçları doğrultusunda, çevreye en az zarar verecek üretim ve hizmetlerin tercih edilmesi giderek bir zorunluluk haline gelmekte ve çevre sorunları karar vermede daha önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Fakat birçok farklı çevresel etki kategorisinin varlığı, birden fazla geri kazanım ve performans iyileştirme alternatifleri arasında bütünsel karşılaştırmaları zorlaştırmaktadır. Örneğin, bir senaryo kimyasal kullanımının azalmasıyla sonuçlanabilirken, başka bir senaryo enerji taleplerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Dolayısıyla olabilecek tüm alternatifler arasındaki dengeler sağlam, bütüncül ve şeffaf değerlendirme metodolojilerini gerektirmektedir [3]. Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD), bir ürünün yaşam döngüsü boyunca (hammadde temininden başlayarak o ürünün üretimi, kullanımı ve kullanım sonrası atık yönetimi aşamalarında) kullanılan kaynakları ve ortaya çıkması muhtemel çevresel etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılan bir çevresel karar verme aracı olarak tanımlanmaktadır. [4, 5]. Atık su arıtma tesisleri (AAT), arıtılmamış suyun alıcı su ortamına deşarjının çevresel etkisini en aza indirecek şekilde tasarlanan sistemler olmakla birlikte; inşası, işletilmesi ve kullanım sonrası yıkımı süreçlerinde gerek kaynak tüketimi (su, beton, vb.) gerekse emisyon oluşturmaları nedeniyle (sera gazı emisyonları, arıtma çamurları, vb.) çeşitli çevresel sorunlara yol açmaktadır. Dolayısıyla, çevresel sürdürülebilirlik göz önüne alındığında, atık su arıtma sistemlerinin hedeflerinin insan sağlığının ve yüzey sularının korunmasının ötesine geçerek, kaynak tüketimini ve atık oluşumunu minimize etmesi ve nütrient geri dönüşümüne imkan sağlaması gerekmektedir [6]. Yaşam döngüsü değerlendirme ile atıksu arıtma sistemlerinin çevresel performansı mevcut en iyi bilimsel bilgilere dayanarak, standartlaştırılmış ve şeffaf bir yaklaşımla ortaya koyulabilmektedir [7]. Bu metot ile hem doğrudan atıksu arıtma tesislerinin kendilerinde meydana gelen hem de tedarik zincirleriyle ilişkili olan emisyonların (örn. elektriği sağlayan elektrik santrallerinden gelen etki) envanterlenerek olası etkilerin kapsamlı ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi mümkündür [8]. Ayrıca YDD, farklı atıksu arıtma teknolojilerinin çevresel etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını, karşılaştırılmasını ve sürdürülebilir arıtma teknolojilerinin seçimini sağlaması açısından da yararlı bir karar destek aracıdır [9].

Gömülü enerji, karbon ayak izi ve ötrofikasyon potansiyeli, atık su yönetimi çözümlerinin ve kaynak geri kazanım stratejilerinin su-enerji-karbon-besin ilişkisi ile ilgili temel çevresel sürdürülebilirlik etki

katgorileri arasında yer almaktadır [10]. Karbon ayak izi, YDD'deki küresel ısınma etkisi kategorisinin göstergesidir ve belirli bir süreçle ilişkili (örneğin, ulaşım, enerji tüketimi veya gerekli kimyasalların üretimi yoluyla) yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarını (karbondioksite normalize edilmiş) karakterize etmektedir [11]. Bu süreçler en genel şekliyle doğrudan (Kapsam 1) emisyonlar (örn. CH₄ ve N₂O), dolaylı (Kapsam 2) emisyonlar (örn. elektrik üretimi) ve diğer dolaylı (Kapsam 3) emisyonlardan oluşmaktadır [10]. Karbondioksit (CO₂) eşdeğer kütlesi olarak ölçülen karbon ayak izini hesaplamak için IPCC tarafından geliştirilen karakterizasyon modellerinden elde edilen karakterizasyon faktörleri ve emisyon verileri kullanılmaktadır [11].

Literatürde atıksu arıtma tesislerinin karbon ayak izi konusunda çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte, yaşam döngüsü bazlı karbon ayak izi ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır [12, 13]. İspanya'da yapılmış bir çalışmada, bir atıksu arıtma tesisinde metan ve nitroz oksit emisyonlarının ölçüm sonuçlarını içeren sahaya özgü veriler kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi ile karbon ayak izi hesaplanmıştır. Çalışmada arıtma tesisine bağlı olarak net karbon ayak izinin 0,15 kg CO₂ eşd. (t/atıksu) olduğu; karbon ayak izinin en çok direkt sera gazı emisyonlarından etkilendiği (toplam zararın %44'ü) belirlenmiştir. Kalan kısmın (%66) ise temel olarak enerji tüketimi, kullanılan kimyasallar ve atık suların ve biyokatıların araziye uygulanmasından kaynaklanan emisyonlarla ilişkili olduğu ortaya konmuştur [12]. Kolombiya'da gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise 50.000 nüfuslu Pamplona şehrinin (Kolombiya) su arıtma, kanalizasyon ve sanitasyon hizmetlerinin sera gazı potansiyelinin yaşam döngüsü değerlendirmesi metoduyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır; dolayısıyla bu bağlamda yalnız küresel ısınma potansiyeli etkisine odaklanılmıştır. Söz konusu çalışmada fonksiyonel birim olarak "Kolombiya'nın 50.000 nüfuslu Pamplona şehrinde 2017 yılı boyunca su arıtma, kanalizasyon ve sanitasyon kamu hizmetlerinin kullanımı" olarak seçilerek sonuçlar kişi başı sera gazı eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır. Sonuçlar, üç hizmetin işletilmesi ile kişi başına ve yılda 1,07E+01 kg CO₂ eşd salındığını, su arıtımı ile ilişkili küresel ısınma potansiyeli emisyonlarının en etkili olduğunu ve tüm KIP'nin %66'sını oluşturduğunu göstermiştir. Kanalizasyondan yayılan CO₂'nin toplamın %20'sini, sanitasyondan kaynaklanan CO₂'nin ise toplamın %14'ünü oluşturduğu ortaya konmuştur [13]. Bu çalışmada, farklı arıtma konfigürasyonuna sahip (A2/O ve KAS) iki atıksu arıtma tesisinin karbon ayak izi yaşam döngüsü yaklaşımı ile belirlenmiş, arıtma üniteleri ve prosesler dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNE AİT BİLGİLER

Çalışma kapsamında seçilen biyolojik ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerine ait işletme bilgileri Tablo 1'de verilmektedir. İleri biyolojik atıksu arıtma tesisi (AAT-1), azot ve fosfor gideriminin sağlandığı A2/O prosesi ile çalışmaktadır. Tesiste günlük maksimum 10.000 m³ kapasiteli, filtrasyon ve dezenfeksiyon kademelerinden oluşan atıksu geri kazanım ünitesi bulunmakta, bu üniteye ileri arıtma tabi tutulan sular yeşil alan sulamada ve sanayide kullanılmaktadır. Biyolojik atıksu arıtma tesisi (AAT-2) ise karbon gideriminin sağlandığı klasik aktif çamur prosesi ile çalışmaktadır.

Tablo 1. Çalışma kapsamında seçilen atıksu arıtma tesislerine ait genel bilgiler.

AAT adı	Giriş debisi*	Kirlenici konsantrasyonu (mg/L)		Arıtma teknolojisi	Çamur bertarafı	Su geri kazanımı
		Giriş	Çıkış			
AAT-1	65394 m ³ /gün	BOİ ₅ : 211	BOİ ₅ : <10	A2/O	Düzenli depolama	Var
		KOİ: 439	KOİ: 16,7			
		TN: 35,8	TN: 4,84			
		TP: 3,8	TP: 0,61			
		AKM: 216	AKM: 7,49			

AAT-2	25782 m ³ /gün	BOİ ₅ : 352	BOİ ₅ : 12,5	KAS**	Enerji amaçlı geri kazanım	Yok
		KOİ: 778	KOİ: 33,5			
		TN: 22,6	TN: 7,8			
		TP: 2,54	TP: 0,93			
		AKM: 420	AKM: 13,3			

* 2018 yılı için geçerli ortalama debidir.

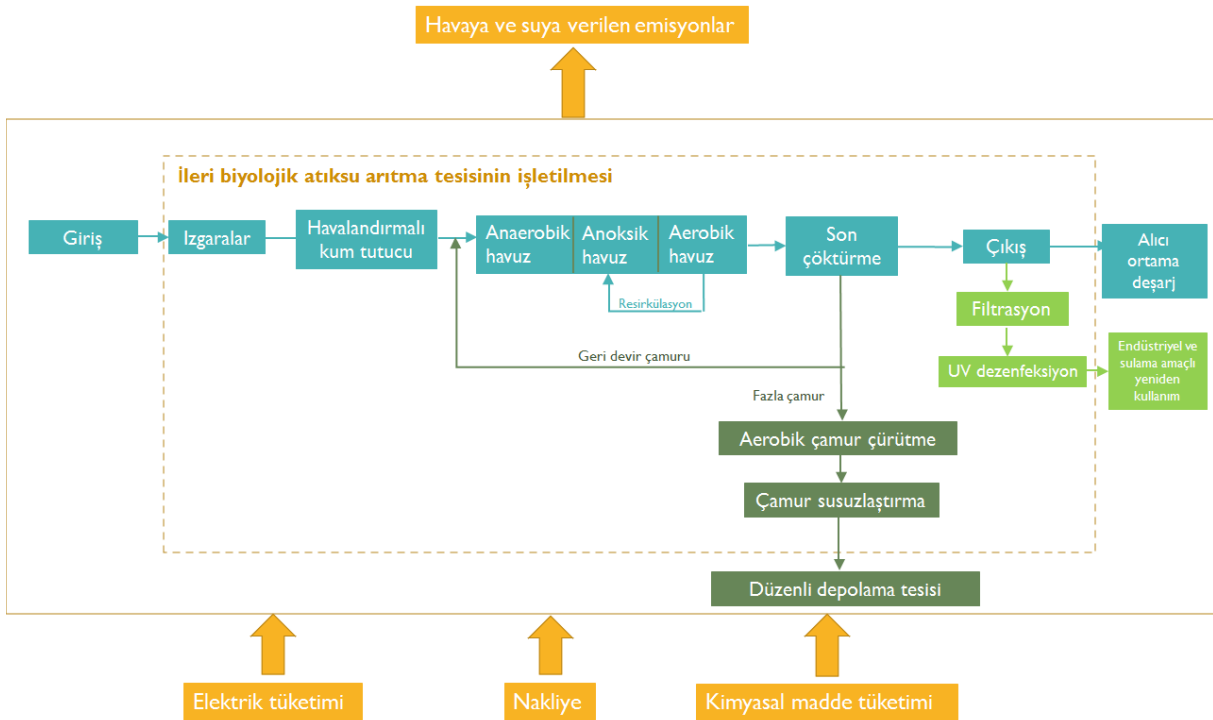
**Klasik aktif çamur sistemi

B. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı arıtma konfigürasyonlarına sahip (biyolojik ve ileri biyolojik) iki atıksu arıtma tesisinin karbon ayak izleri yaşam döngüsü temelinde değerlendirilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirme TS EN ISO 14040 ve TS EN ISO 14044 standartları temel alınarak dört aşamada gerçekleştirilmiştir: (1) Amaç ve kapsamın belirlenmesi, (2) Envanter analizi, (3) Etki değerlendirme ve (4) Yorumlama [14], [15].

B. 1. Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmenin ilk aşaması olan amaç ve kapsamın belirlenmesi aşamasında, çalışmanın amacı, kapsamı, sistem sınırları ve fonksiyonel birim belirlenmektedir. Bu YDD çalışmasının amacı, bir biyolojik ve bir ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinin karbon ayak izinin yaşam döngüsü temelinde değerlendirilmesidir. Çalışmanın kapsamı, “beşikten kapıya” olarak seçilmiştir. Bu YDD çalışmasının sistem sınırları, atıksu arıtma tesisinin işletilmesi sürecini kapsamaktadır. Dolayısıyla, atıksu arıtımında kullanılan kimyasallar ve bu kimyasalların tesise nakliyesi, atıksu arıtılması sürecindeki elektrik tüketimi, oluşan atıkların bertaraf tesisine nakliyesi ve bertaraf edilmesi (düzenli depolama veya enerji amaçlı geri kazanım), arıtılan atıksuyun bir kısmının geri kazanımı ve kalan kısmının alıcı ortama deşarjı bu YDD çalışmasının sistem sınırları içindedir. AAT-1 için gerçekleştirilen YDD çalışmasının sistem sınırları Şekil 1’de, AAT-2 için gerçekleştirilen YDD çalışmasının sistem sınırları ise Şekil 2’de gösterilmektedir.

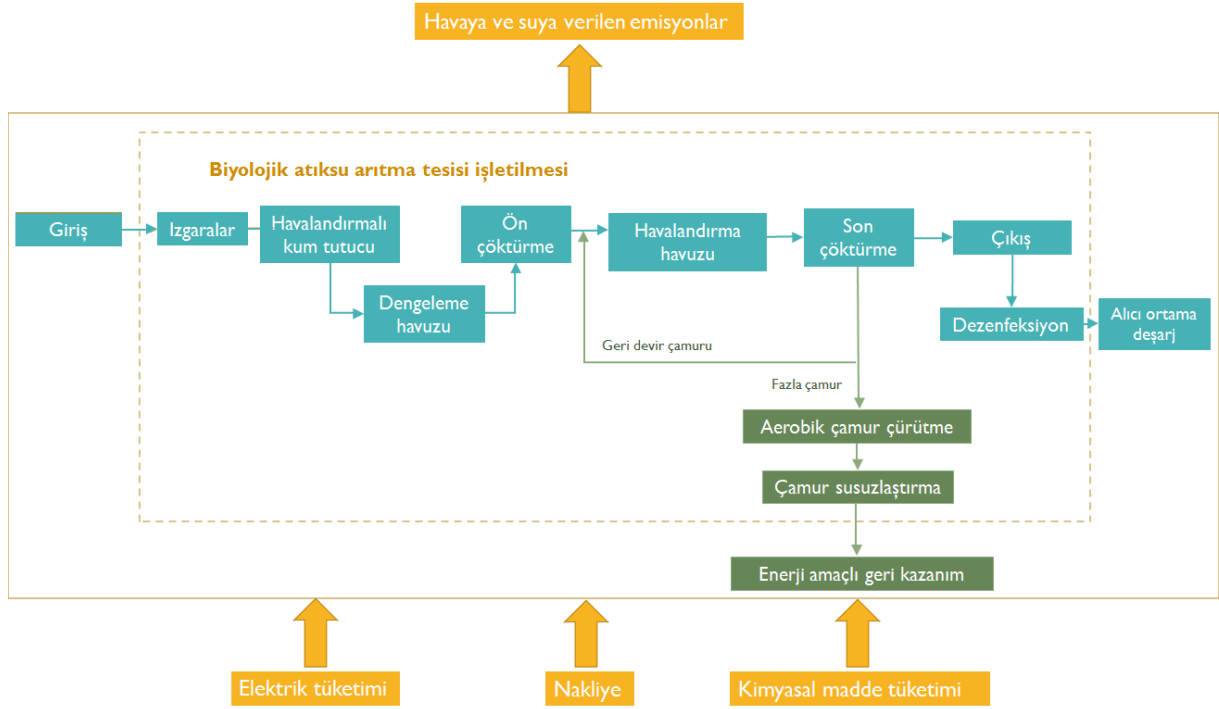


Şekil 1. AAT-1 için gerçekleştirilen YDD çalışmasının sistem sınırları.

Çalışma kapsamında seçilen AAT-1’de tesise giren atıksular kaba ve ince ızgaralardan geçirilerek kum tutucuya gelmekte olup ileri azot ve fosfor giderimine olanak sağlayan A2/O konfigürasyonunda biyolojik olarak arıtılmaktadır (Şekil 1). Bu konfigürasyon anaerobik, anoksik ve aerobik havuz ile son çökeltim havuzu ve son çökeltim havuzundan anaerobik havuz girişine gönderilen çamur geri devri bağlantısından oluşmaktadır. İnce ızgaralar ve kum tutuculardan gelen atıksu, biyolojik fosfor gideriminin sağlandığı anaerobik havuza iletilmektedir. Azot (N) giderimi ise nitrifikasyon (havalandırılmalı bölge) ve denitrifikasyon (anoksik bölge) adımlarıyla gerçekleştirilmektedir. Bunu sağlamak amacıyla oksik bölgeden anoksik bölgeye içsel atıksu döngüsü (resirkülasyon) yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında seçilen AAT-2 ise biyolojik atıksu arıtma tesisidir ve klasik aktif çamur sistemi ile çalışmaktadır. AAT-2’de tesise gelen atıksular ızgaralardan geçirildikten sonra havalandırılmalı kum tutucu, dengeleme havuzu ve ön çöktürme havuzuna gelmekte olup, karbon giderimine olanak sağlayan klasik aktif çamur sisteminde biyolojik olarak arıtılmaktadır (Şekil 2).

Her iki AAT’nde de havalandırma havuzundan çıkan atıksular, arıtılmış suyun içindeki bakterilerin arıtılmış sudan ayrılması için son çöktürme havuzlarına iletilmektedir. Çöktürme havuzlarında, yoğun katı madde içeren çamur dibe çöklerken arıtılmış atıksu savaklanmaktadır. Savaklanan atıksu gerektiğinde klorlama yapılarak UV ünitesinden geçtikten sonra alıcı ortama deşarj edilmektedir. Dibe çöken çamur ise susuzlaştırıldıktan sonra nihai bertaraf için bertaraf tesislerine gönderilmektedir.



Şekil 2. AAT-2 için gerçekleştirilen YDD çalışmasının sistem sınırları.

Literatürde atıksu arıtma tesislerinin yaşam döngüsü değerlendirmesinin gerçekleştirildiği çalışmalarda tercih edilen fonksiyonel birim araştırıldığında, 1 eşdeğer nüfus, 1 ton kirletici (BOİ, KOİ) giderimi gibi çeşitli fonksiyonel birimlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, en sık kullanılan fonksiyonel birimin hacimsel (1 m³ atıksu, 1000 m³ atıksu, gibi) olduğu dikkat çekmiştir [16]. Dolayısıyla, bu çalışmada da ortaya konan sonuçların literatür ile daha rahat kıyaslanabilir olması açısından fonksiyonel birim 1 m³ atıksuyun arıtılması olarak seçilmiştir.

B. 2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarının en kritik süreçlerinden biri envanter analizi aşamasıdır. YDD çalışmasının ikinci adımı olan bu aşamada atıksu arıtma tesisi yetkilileri aracılığıyla, ilk aşamada

belirlenen sistem sınırları kapsamında atıksu arıtma tesislerine ait envanter analizi gerçekleştirilmiştir. Envanter analizi için 2018 yılı verileri kullanılmıştır. Her iki atıksu arıtma tesisi için fonksiyonel birim (1 m³ atıksuyun arıtılması) temel alınarak oluşturulan envanter verilerinin özeti Tablo 2’de verilmektedir.

Veri ulaşılabilirliği ve veri kalitesi bu aşamada karşılaşılan temel problemlerdendir. Envanter için gerekli verilerin bir kısmı (birincil veriler) atıksu arıtma tesisi yetkililerinden, diğer bir kısmı ise (ikincil veriler) SimaPro (v.9.2) yazılımı veri tabanlarından (Ecoinvent, USLCI, vb.) temin edilerek yazılıma girilmiş ve her bir atıksu arıtma tesisine özgü modeller oluşturulmuştur. Birincil veriler, AAT’lerinin işletilmesi esnasında kullanılan kimyasallara ait bilgileri (türü, miktarı, nereden temin edildiği), elektrik tüketimi, alıcı ortama verilen arıtılmış sudaki kirletici konsantrasyonları, direkt sera gazı emisyonları ve atık beyanlarına (tesiste oluşan atık miktarları ve bertaraf yöntemleri) ait bilgileri kapsamaktadır. İkincil veriler ise (kimyasal madde, yakıt ve elektrik üretimi gibi) SimaPro (v.9.2) yazılımında yer alan Ecoinvent ve USLCI yaşam döngüsü envanteri veri tabanlarından coğrafi, zamansal ve teknolojik uygunluk doğrultusunda seçilerek toplanmıştır. Envanter analizi aşamasında, her bir atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkış suyu karakteristikleri (BOİ₅, KOİ, TN, TP, AKM) ve genel tesis bilgilerine ait gerekli parametreler (ortalama debi, arıtma teknolojisi, atık bertarafı için seçilen yöntemler, vb.) kullanılmıştır. Sera gazlarından olan metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) gazı emisyonları çalışma kapsamında seçilen atıksu arıtma tesislerine özgü veriler kullanılarak IPCC (2019) kılavuzuna göre hesaplanmış ve YDD modeline eklenmiştir [17].

Tablo 2. AAT-1 ve AAT-2 için oluşturulan envanter verileri.

Parametre	AAT-1	AAT-2
Girdiler:		
Temel proses üniteleri için arazi kullanımı (m²a)	0,00170	0,00005
Kimyasal Kullanımı (kg):		
Demir klorür	0,00465	-
Toz polimer	0,00165	0,00099
Klor (sıvı klor)	0,00028	-
Elektrik tüketimi (kWh)	0,26242	0,68853
Nakliye bilgileri (kgkm):		
Demir klorür	0,05580	-
Toz polimer	0,01975	0,240
Klor (sıvı klor)	0,00340	-
Arıtma çamuru	224,553	24,6900
Tehlikeli atıklar	0,00260	0,00058
Ambalaj atıkları	0,00022	0,00009
İnert atıklar	0,00231	0,01400
Çıktılar:		
Havaya verilen emisyonlar (kg):		
CH ₄	0,00328	0,00114
N ₂ O	0,00003	0,00011
Suya verilen emisyonlar (kg):		
BOİ ₅	0,00500	0,01249
KOİ	0,01672	0,03352
TN	0,00484	0,00781
TP	0,00061	0,00093
AKM	0,00749	0,01328
Bertarafa gönderilen atıklar (kg):		
Arıtma çamuru	0,68046	0,36415
Tehlikeli atıklar	3,72E-06	3,10E-05
Ambalaj atıkları	1,00E-05	1,20E-05
İnert atıklar	7,20E-05	7,30E-04

Ürün:	
Atıksu (m³)	1

B. 3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme

Bu çalışmadaki yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında, CH₄, N₂O ve CO₂(fossil) emisyonlarını içeren ve orta nokta etkilerinden biri olan küresel ısınma etki kategorisine odaklanılmıştır. Karbon ayak izi YDD'deki küresel ısınma etkisi kategorisinin bir göstergesidir. Envanter analizi aşamasında oluşturulan girdi ve çıktı parametreleri SimaPro (v.9.2) yazılımı ve IPCC 2013 (100a) etki değerlendirme metodu kullanılarak, YDD çalışmalarının üçüncü aşaması olan Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme (YDED) adımı tamamlanmıştır. Bu metot ile iki farklı atıksu arıtma tesisinin karbon ayak izi yaşam döngüsü temelinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

B. 4. Yorumlama

Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasının son adımı olan yorumlama aşaması katkı analizleri ve hassasiyet analizlerini içermektedir. Katkı analizleri gerçekleştirilerek, üçüncü aşamada belirlenen etki kategorileri üzerinde önemli katkıya sahip prosesler ve kimyasal içerikler belirlenmiştir.

Hassasiyet analizleri kapsamında, atıksu arıtma tesislerinin çevresel yüklerine katkı sağlayan en önemli faktörlerden biri olan elektrik enerjisi kullanım verimliliğinin artırılmasının YDD sonuçları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle ideal bir atıksu arıtma tesisinde olması gereken ideal spesifik elektrik tüketim değeri (16,6 kWh/kişi.yıl) baz alınarak [18] çalışma kapsamında seçilen AAT-1 ve AAT-2'deki spesifik elektrik tüketimi hesaplanmış ve ideal bir atıksu arıtma tesisinde olması gereken spesifik elektrik tüketim değeri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Ardından, çalışma kapsamında seçilen tesislerdeki elektrik tüketiminin fonksiyonel birim bazında yüzdesel olarak ne kadar düşürülmesi gerektiği hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda, AAT-1 için spesifik elektrik tüketiminin ideal spesifik elektrik tüketim değerine oldukça yakın olduğu belirlenmiş, bu nedenle hassasiyet analizlerine dahil edilmemiştir. AAT-2 için ise spesifik elektrik tüketim değeri, ideal spesifik elektrik tüketiminin neredeyse 2 katı olarak hesaplanmış (37,1 kWh/kişi.yıl) ve elektrik tüketiminin %55 azaltılması halinde YDD sonuçları üzerindeki olası etkilerinin ortaya konması için hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Hassasiyet Analizi için gerekli veriler

AAT Adı	Elektrik tüketimi (kWh/m ³ atıksu)	Spesifik elektrik tüketimi (kWh/kişi.yıl)	**İdeal spesifik elektrik tüketimi (kWh/kişi.yıl)	*Verimlilik artışı (%)	Verimlilik artışı sonrası elektrik tüketimi (kWh/m ³ atıksu)
AAT-1	0,26242	16,1	16,6	-	-
AAT-2	0,68853	37,1	16,6	55	0,3096

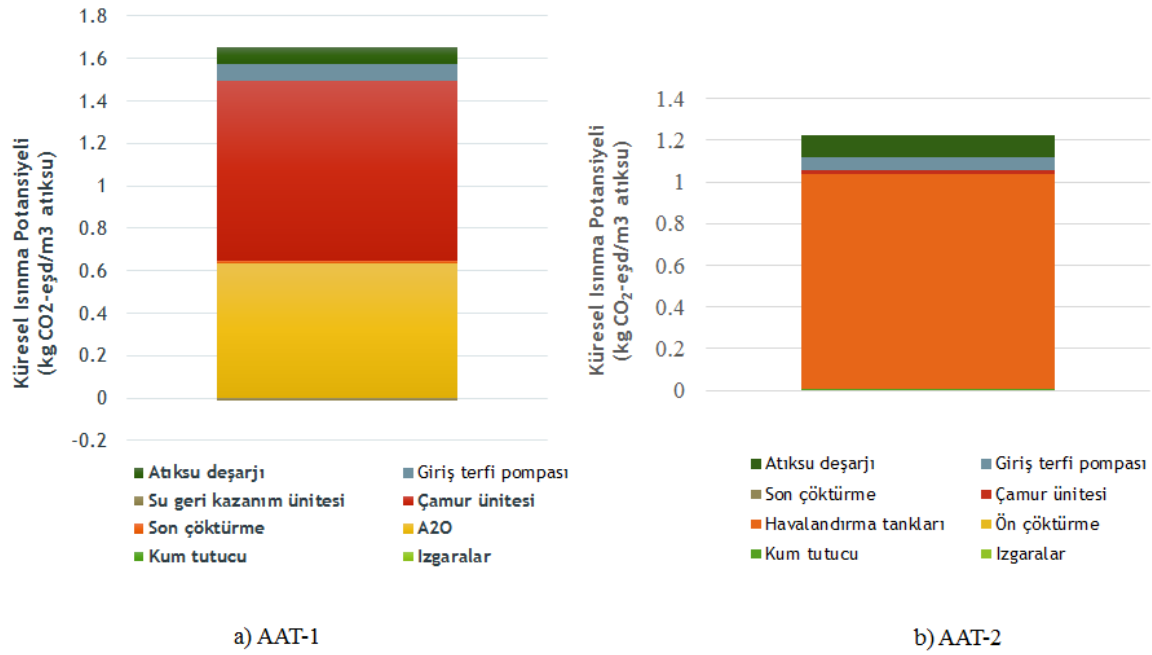
*İdeal spesifik elektrik tüketim değerine ulaşmak için gerekli olan azaltım (%)

**Referans: [18].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. ARITMA ÜNİTELERİNE GÖRE KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ SONUÇLARI

İki farklı konfigürasyondaki atıksu arıtma tesisinin yaşam döngüsü temelli küresel ısınma potansiyelleri, arıtma ünitelerine göre Şekil 3'de verilmiştir. AAT-1 için incelenen arıtma üniteleri: Giriş terfi pompası, ızgaralar, kum tutucu, A2/O prosesi, son çöktürme, atıksu deşarjı su geri kazanım ünitesi ve çamur ünitesidir. AAT-2 için incelenen arıtma üniteleri: Giriş terfi pompası, ızgaralar, ön çöktürme, havalandırma tankları, son çöktürme, atıksu deşarjı ve çamur ünitesidir.



Şekil 3. AAT-1 ve AAT-2 arıtma ünitelerine göre hesaplanan KIP.

AAT-1’de günlük maksimum 10.000 m³ kapasiteli geri kazanım ünitesi bulunmakta, tesise gelen atıksuyun %15’i geri kazanım ünitesinde arıtılmakta ve kullanma suyu olarak kullanıma uygun hale getirilmektedir. AAT-2’de ise su geri kazanım ünitesi bulunmamakta, arıtılan atıksular dezenfeksiyon işleminden sonra alıcı ortama deşarj edilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde, atıksu arıtılması sürecinde tercih edilen biyolojik arıtma konfigürasyonunun ve arıtma çamuru nihai bertaraf yönteminin küresel ısınma potansiyeli üzerinde belirleyici olduğu görülmektedir. A2/O prosesine sahip AAT-1’in küresel ısınma potansiyeli 1,64 kg CO₂ eşd/m³.atıksu bulunurken, konvansiyonel aktif çamur prosesi ile atıksuların arıtıldığı AAT-2’nin küresel ısınma potansiyeli 1,23 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak hesaplanmıştır. Şekil 3’de de görüldüğü gibi AAT-1 için hesaplanan KIP’nin yaklaşık %51’i çamur ünitesi, %38’i ise A2/O prosesi ile ilişkilidir. Bunları sırasıyla giriş terfi pompaları (%5) ve atıksu deşarjı (%4,8) takip etmektedir. Su geri kazanım ünitesinin ise KIP üzerine %0,8’lik bir pozitif katkısı bulunmaktadır. AAT-2 için hesaplanan KIP’nin ise %84’ünün havalandırma tankları ile ilişkili olduğu dikkat çekmektedir. Bunu sırasıyla atıksu deşarjı (%8,6) ve giriş terfi pompaları (%5) takip etmektedir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği atıksu arıtma tesislerinde giriş terfi pompaları, ızgaralar, kum tutucu, çöktürme tanklarının ve atıksu deşarjının KIP’ne katkısı birbirine yakın bulunmakla birlikte, çamur ünitesinin KIP değerine katkısı oldukça farklı bulunmuştur. Şekil 3 incelendiğinde AAT-1’de çamur ünitesinin KIP’ne katkısı 0,85 kg CO₂ eşd/m³.atıksu hesaplanırken, bu değer AAT-2 için 0,018 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak hesaplanmıştır. Bu durumun arıtma çamurlarının nihai bertarafı için seçilen yöntem ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. AAT-1’de oluşan arıtma çamurları nihai bertaraf için düzenli depolama alanına gönderilirken, AAT-2’de oluşan arıtma çamurları yakın mesafede bulunan bir çimento üretim tesisine gönderilerek enerji geri kazanımı yapılan tesiste yakma yolu ile bertaraf edilmektedir. Bu sonucun detaylı değerlendirilmesi için SimaPro (v.9.2) yazılımında katkı analizleri gerçekleştirilerek sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Çamur ünitesi ve biyolojik arıtım ünitesi (A2O/KAS) için proses katkı analizleri (kg CO₂ eşd/m³.atıksu).

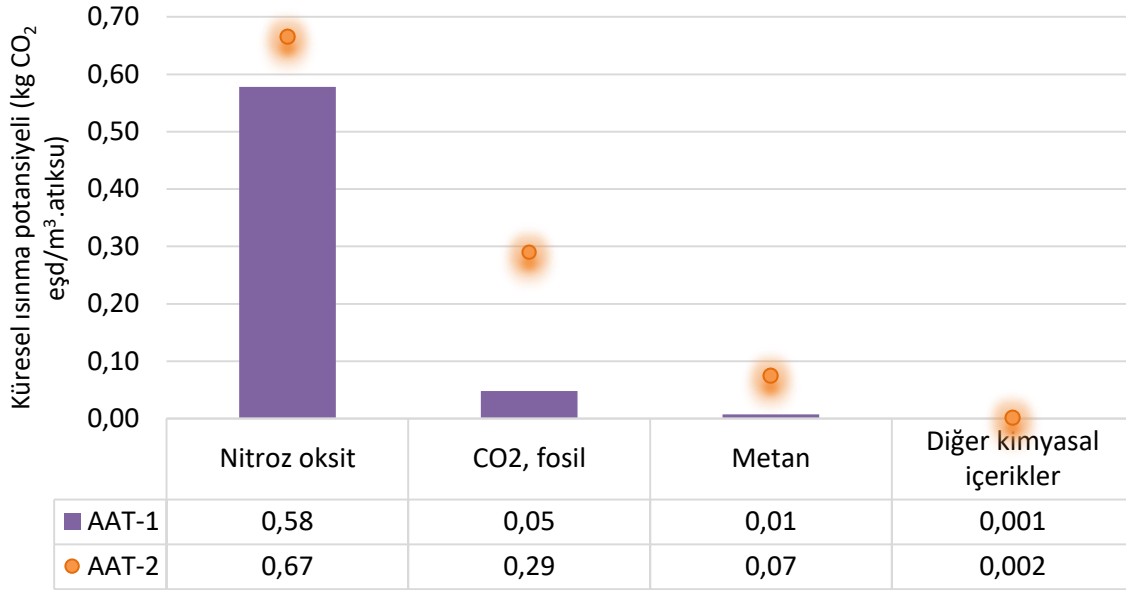
Proses	Çamur Ünitesi	
	AAT-1	AAT-2
Elektrik tüketimi	2.86E-02	8.30E-02
Nakliye	3.71E-02	4.11E-03

Tablo 4 (devam). Çamur ünitesi ve biyolojik arıtım ünitesi (A2O/KAS) için proses katkı analizleri (kg CO₂ eşd/m³.atıksu).

Toz polimer	4.76E-03	2.87E-03
Aritma çamuru düzenli depolama	7.78E-01	-
Enerji amaçlı geri kazanım	-	-7.20E-02
Diğer prosesler	7.82E-04	7.45E-06
Toplam	8.49E-01	1.80E-02
Proses	Biyolojik arıtım ünitesi	
	AAT-1 (A2/O)	AAT-2 (KAS)
Elektrik tüketimi	4.93E-02	3.01E-01
Havalandırma tankları (direkt sera gazı)	-	7.29E-01
A2/O prosesi (direkt sera gazı)	5.84E-01	-
Diğer prosesler	1.34E-03	4.21E-03
Toplam	6.34E-01	1.03E+00

Tablo 4’de verilen sonuçlar AAT-1 için değerlendirildiğinde, çamur ünitesinde KIP’ne katkısı en yüksek olan proses (0,78 kg CO₂ eşd/m³.atıksu) çamurun nihai bertarafıyla ilgili olan düzenli depolamadır. Bunu sırasıyla nakliye (0,0371 kg CO₂ eşd/m³.atıksu) ve elektrik tüketimi (0,0286 kg CO₂ eşd/m³.atıksu) takip etmektedir. Buna karşılık sonuçlar AAT-2 için değerlendirildiğinde çamur ünitesindeki elektrik tüketiminin KIP’ne katkısı AAT-1 için hesaplanan değer yaklaşık 3 katı olmakla birlikte, arıtma çamurunun enerji amaçlı geri kazanımı sayesinde KIP üzerinde 0,072 kg CO₂ eşd/m³.atıksu oluşumundan kaçınıldığı ortaya konmuştur. Bu çevresel kazanıma bağlı olarak çamur ünitesinin KIP’ne toplam katkısı AAT-2 için yaklaşık 0,02 kg CO₂ eşd/m³.atıksu hesaplanırken; AAT-1 için bu değer 0,85 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak belirlenmiştir.

Her iki tesisteki biyolojik arıtım konfigürasyonunun KIP’ne katkısı araştırıldığında genel olarak etkili 2 prosesin olduğu dikkat çekmiştir: Elektrik tüketimi ve direkt sera gazı oluşumu. İleri biyolojik arıtım konfigürasyonuna sahip AAT-1’de A2/O prosesinin KIP’ne toplam katkısı 0,634 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak belirlenmiş olup; bu değer yaklaşık %92’sinin atıksu arıtma tesislerindeki direkt sera gazı oluşumundan kaynaklandığı, %8’inin ise dolaylı bir etki olan elektrik tüketimiyle ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Söz konusu durum AAT-2 için değerlendirildiğinde KAS prosesinin KIP’ne toplam katkısı 1,03 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak hesaplanmış; bu değer yaklaşık %71’inin atıksu arıtma tesislerindeki direkt sera gazı oluşumu ile ilişkili olduğu, %29’unun ise elektrik tüketimi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Biyolojik arıtım ünitelerinde (A2/O ve KAS) küresel ısınma potansiyeli üzerinde katkısı olan kimyasal içerikler araştırıldığında ise iki atıksu arıtma tesisi için de en yüksek katkıya sahip kimyasal içeriğin atıksu arıtılması sürecinde oluşan direkt sera gazlarından biri olan nitroz oksite bağlı olduğu dikkat çekmiştir (Şekil 4).

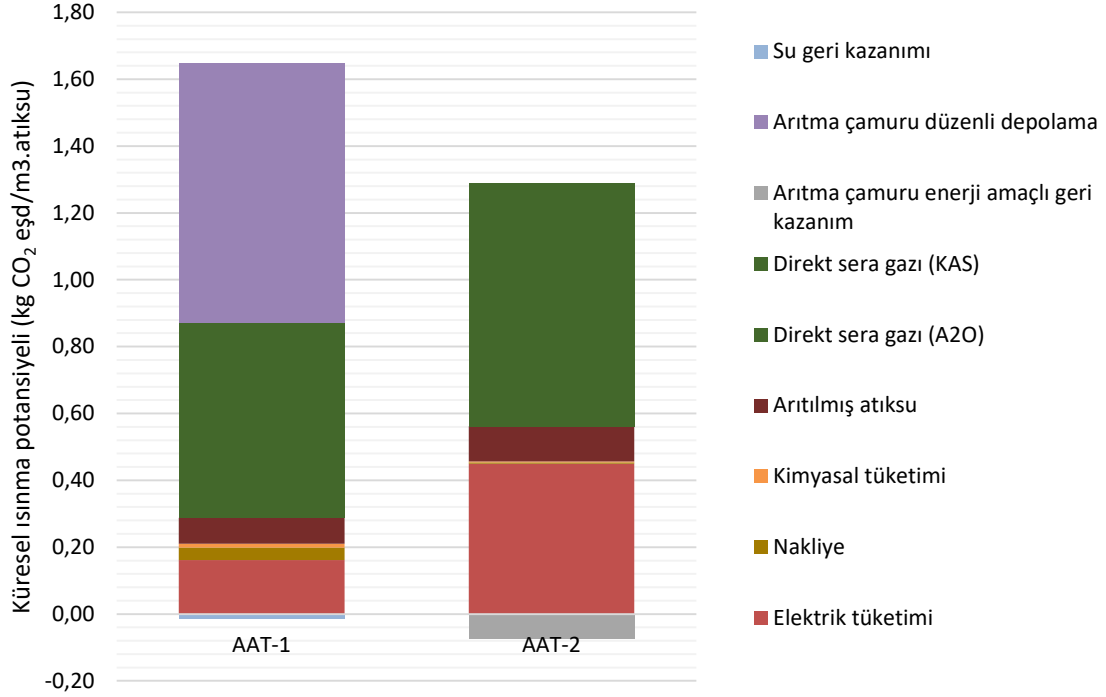


Şekil 4. Her iki tesisin biyolojik arıtım ünitelerinde KIP üzerinde etkili olan kimyasal içerikler.

Literatürde benzer çalışmaların sonuçları araştırıldığında, atıksu arıtma tesislerinde YDD temelli karbon ayak izinin hesaplandığı bir çalışmada direkt N₂O emisyonlarının genellikle diğer sera gazlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve dolayısıyla atıksu arıtma tesislerinde direkt N₂O emisyonlarının azaltılmasının önemine vurgu yapılmıştır [12]. Lorenzo-Toja ve diğ. (2016) de iki farklı İspanyol atıksu arıtma tesisinin karbon ayak izini hesapladıkları çalışmalarında, direkt sera gazı emisyonlarına katkısı en yüksek kimyasal içeriğin nitroz oksit olduğunu belirlemişlerdir [19]. Benzer olarak, Gómez-Llanos ve diğ. (2020) nitroz oksitin karbon ayak izine doğrudan katkıda bulunan temel kimyasal içerik olduğunu bulmuşlardır [11]. Şekil 4 incelendiğinde nitroz oksit emisyonlarını atıksu arıtma tesislerinin dolaylı etkilerinden biri olan elektriğin üretilmesi aşamasında oluşan CO₂(fosil)'in takip ettiği görülmüştür. AAT-2'de elektrik tüketimi ile ilişkili olan CO₂(fosil) emisyonunun AAT-1'deki CO₂(fosil) emisyonunun yaklaşık 6 katı olduğu görülmektedir. AAT-2'de fonksiyonel birim başına tüketilen elektrik miktarının daha yüksek olması da bu sonucu doğrular niteliktedir (Tablo 2). Friedrich ve diğ. (2009), konvansiyonel aktif çamurun, CO₂ emisyonlarının %90'ının elektrik tüketimiyle ilişkili olduğu üçüncül arıtmayı da içeren bir arıtma sisteminden üç kat daha fazla CO₂'e katkıda bulunduğunu tespit etmiştir [20]. Daelman ve diğ. (2013) de gerçekleştirmiş oldukları çalışmada atıksu arıtma tesislerinde sahaya özgü N₂O emisyonlarının toplam karbon ayak izinin %78'ini, enerji tüketiminin ise toplam karbon ayak izinin %8'ini oluşturduğunu ortaya koymuştur [21]. Chai ve diğ. (2015) de gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, elektrik tüketimine bağlı oluşan dolaylı emisyonların karbon ayak izi üzerinde önemli rol oynadığını belirtmiştir [22].

B. PROSESLERE GÖRE KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ SONUÇLARI

Çalışma kapsamında seçilen atıksu arıtma tesislerinde, atıksu arıtılması işlemine bağlı olası çevresel etkiler dokuz farklı prosese dikkate alınarak KIP üzerinde en önemli prosesler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 5). Bu prosesler: Su geri kazanımı, arıtma çamuru bertarafı (düzenli depolama/enerji amaçlı geri kazanım), direkt sera gazı oluşumu (KAS/A2/O), arıtılmış atıksuyun alıcı ortama deşarjı, kimyasal madde tüketimi, nakliye ve elektrik tüketimidir.



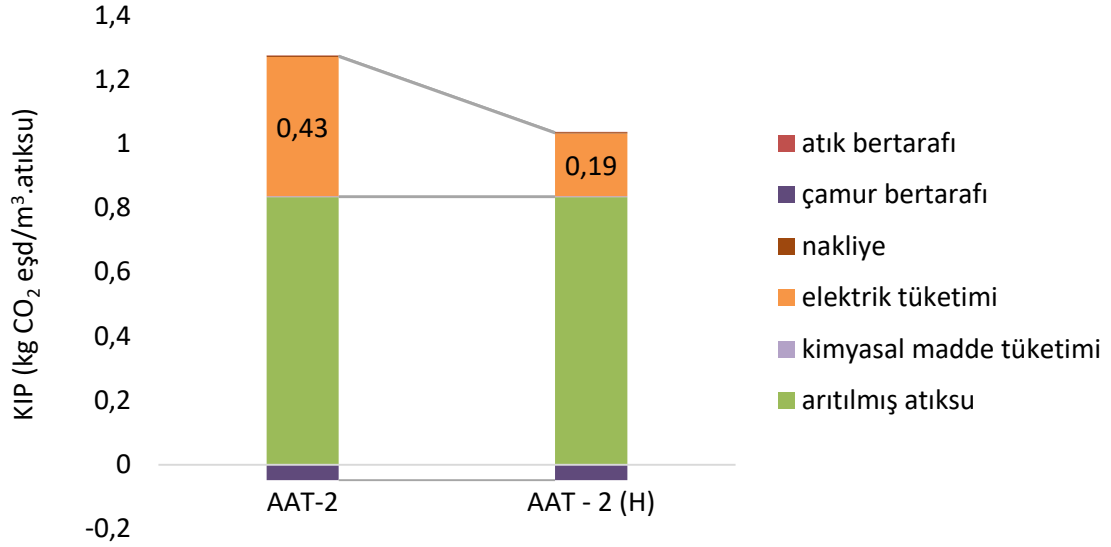
Şekil 5. Proseslere göre küresel ısınma potansiyeli sonuçları.

Yaşam döngüsü etki değerlendirme sonuçları prosesler bazında değerlendirildiğinde, AAT-1 için KIP üzerinde en etkili proseslerin arıtma çamurlarının düzenli depolama (0,78 kg CO₂ eşd/m³.atıksu) ile bertaraf edilmesi ve direkt sera gazı oluşumu (0,58 kg CO₂ eşd/m³.atıksu) olduğu dikkat çekmiştir (Şekil). Bu iki prosesi, elektrik tüketimi (0,16 kg CO₂ eşd/m³.atıksu) takip etmektedir. Şekil 5'deki sonuçlar AAT-2 açısından değerlendirildiğinde söz konusu tesiste direkt sera gazı oluşumu ve elektrik tüketiminin KIP üzerinde önemli katkıları olduğu görülmektedir. Klasik aktif çamur sistemi ile ilişkili direkt sera gazı oluşumunun KIP değeri 0,73 kg CO₂ eşd/m³.atıksu; elektrik tüketiminin KIP değeri ise 0,45 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak bulunmuştur. Envanter verileri incelendiğinde de AAT-2'deki elektrik tüketiminin (0,68 kWh/m³.atıksu), AAT-1'deki elektrik tüketiminin yaklaşık 3 katı olduğu görülmektedir. AAT-2'de oluşan arıtma çamurları yakın mesafedeki bir çimento fabrikasına gönderilmektedir. Çimento fabrikasında öncelikle kurutma işlemine tabi tutulan çamurlar ardından döner fırında fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılmakta olup, böylece enerji amaçlı geri kazanımı sağlanmış olmaktadır. Arıtma çamurlarının enerji amaçlı geri kazanımı, AAT-2'nin KIP etki kategorisine 0,07 kg CO₂ eşd/m³.atıksu çevresel kazanım sağlamaktadır. Arıtılmış atıksu prosesi, çıkış atıksuyunun alıcı ortama verilmesiyle ortama yayılan dolaylı sera gazlarını ifade etmektedir. Arıtılmış atıksuyun KIP değeri AAT-1 için 0,08 kg CO₂ eşd/m³.atıksu, AAT-2 için ise 0,01 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak hesaplanmıştır.

C. HASSASİYET ANALİZLERİ

Hassasiyet analizleri kapsamında AAT-2'de elektrik tüketiminin fonksiyonel birim bazında %55 azaltılması halinde, bu azaltımın YDD sonuçları üzerindeki olası etkileri ortaya konmuş ve sonuçlar Şekil 6'da AAT-2(H) olarak sunulmuştur. AAT-2'de elektrik tüketiminin %55 azaltılması durumunda elektrik tüketimi prosesinin KIP değerine katkısı üzerinde de %55'lik bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Mevcut durumda elektrik tüketimi prosesinin KIP değeri 0,43 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak belirlenmiş iken, enerji tüketiminin azaltılması ile beraber KIP değeri 0,19 kg CO₂ eşd/m³.atıksu olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık beklenen bir durum olarak tesiste tüketilen elektrik enerjisinin azaltılması durumunda arıtılmış atıksu, kimyasal madde tüketimi, nakliye, çamur bertarafı ve atık bertarafı proseslerinin KIP değerine katkısında bir değişiklik olmadığı dikkat çekmiştir. Enerji tüketimindeki

%55 azaltımın AAT-2'nin toplam KIP değerine etkisi değerlendirildiğinde ise, bu değer mevcut duruma göre %19,5 azaldığı belirlenmiştir (0,988 kg CO₂ eşd/m³.atıksu).



Şekil 6. AAT-2 elektrik tüketimi hassasiyet analizi sonuçları.

IV. SONUC

Bu çalışmada iki farklı özellikteki biyolojik atıksu arıtma tesisinin işletilmesi sürecinde küresel ısınma potansiyeli etkileri karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi ile belirlenmiştir. Atıksu arıtma tesislerinin küresel ısınma potansiyeli üzerine etkileri tesis üniteleri bazında karşılaştırıldığında AAT-1 için katkısı en yüksek olan arıtma üniteleri çamur ünitesi ve A2/O ünitesi (anaerobik, anoksik ve aerobik havuzlar) olarak belirlenirken; AAT-2 için havalandırma ünitesinin (aerobik havuzlar) katkısı en yüksek düzeydedir. Her iki tesiste de arıtma seviyelerine bağlı olarak, arıtılmış atıksuyun alıcı su ortamında yarattığı küresel ısınma potansiyeli ise AAT-2'de daha yüksek olarak bulunmuştur. AAT-2'de sadece karbon gideriminin yapıldığı, AAT-1'de ise karbon giderimine ek olarak azot ve fosfor gideriminin de yapıldığı dikkate alındığında bu durumun beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir. Atıksuyun arıtma tesislerinde arıtılması sürecinde etkili olan prosesler karşılaştırıldığında ise AAT-1'de arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesinin KIP'ne katkısı en yüksek proses olduğu, bunu ise havalandırma havuzlarından kaynaklanan direkt sera gazı oluşumunun takip ettiği sonucuna varılmıştır. Söz konusu prosesler AAT-2 için değerlendirildiğinde ise KIP'ne katkısı en yüksek proses havalandırma havuzlarından kaynaklanan direkt sera gazı oluşumu olmakla birlikte, bunu elektrik tüketimi takip etmektedir. İdeal bir atıksu arıtma tesisinde olması gereken ideal spesifik elektrik tüketim değeri dikkate alınarak gerçekleştirilen hassasiyet analizleri sonucunda, AAT-2'de elektrik tüketiminde %55 verimlilik sağlanması halinde bu durumun KIP üzerinde yaklaşık %19,5'lik bir iyileşme sağlayacağı ortaya konmuştur. Mevcut çalışma, farklı konfigürasyonlardaki atıksu arıtma tesislerinin küresel ısınma potansiyeli etkisine katkılarının ortaya konması, söz konusu tesislerde sera gazı azaltımı konusunda yaşam döngüsü yaklaşımı ile alınabilecek iyileştirme önlemlerinin tespit edilmesi ve uygulanması açısından önem taşımaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen sonuçların atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi konusunda çalışan yöneticilere ve bilim insanlarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: FKA-2020-2087).

V. KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023, 27 Ocak). *Sürdürülebilir Kalkınma Hakkında Temel Bilgiler* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.surdurulebilirkalkinma.gov.tr/temel-tanimlar>.
- [2] Global Compact Network Türkiye. (2023, 26 Ocak). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.globalcompactturkiye.org/surdurulebilir-kalkinma-amaclari>.
- [3] T. van den Brand, and A.L. de Jong, “The environmental impacts of resource recovery,” in *Resource Recovery from Water: Principles and Application*. 1st ed., London, U.K: IWA Publishing, 2022, pp. 415-430.
- [4] G. Finnveden, M.Z. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinée, R. Heijungs, S. Hellweg, & S. Suh, “Recent developments in life cycle assessment,” *Journal of Environmental Management*, vol. 91(1), pp. 1-21, 2009.
- [5] R.J. Plevin, R. J., M.A. Delucchi, & F. Creutzig, “Using attributional life cycle assessment to estimate climate-change mitigation benefits misleads policy makers,” *Journal of Industrial Ecology*, vol. 18(1), pp. 73-83, 2014.
- [6] J.C. Pasqualino, M. Meneses, M. Abella, & F. Castells, “LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant,” *Environmental Science & Technology*, vol. 43(9), pp. 3300-3307, 2009.
- [7] E. Risch, C. Boutin, & P. Roux, “Applying life cycle assessment to assess the environmental performance of decentralised versus centralised wastewater systems,” *Water Research*, vol. 196, 116991, 2021.
- [8] S.M. Rahman, M.J. Eckelman, A. Onnis-Hayden, & A.Z. Gu, “Life-cycle assessment of advanced nutrient removal technologies for wastewater treatment,” *Environmental Science & Technology*, vol. 50(6), pp. 3020-3030, 2016.
- [9] G.R.A. Gongora, R.H. Lu, & A. El Hanandeh, “Comparative life cycle assessment of aerobic treatment units and constructed wetlands as onsite wastewater treatment systems in Australia,” *Water Science and Technology*, vol. 84(6), pp. 1527-1540, 2021.
- [10] P.K. Cornejo, “Environmental sustainability of wastewater treatment plants integrated with resource recovery: the impact of context and scale”, Ph.D. dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Florida, USA, 2015.
- [11] E. Gómez-Llanos, A. Matías-Sánchez, & P. Durán-Barroso, “Wastewater treatment plant assessment by quantifying the carbon and water footprint,” *Water*, vol. 12(11), pp. 3204, 2020.
- [12] A. Delre, M. ten Hoeve, & C. Scheutz, “Site-specific carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants, using the life cycle assessment approach,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 211, pp. 1001-1014, 2019.
- [13] O.O. Ortiz-Rodriguez, G. Sonnemann, & R.A. Villamizar-G, “The carbon footprint of water treatment as well as sewer and sanitation utilities of Pamplona in Colombia”, *Environment, Development and Sustainability*, vol. 24(3), pp 3982-3999, 2022.
- [14] *Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework*. ISO 14040 Standard, 2006.

- [15] *Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines*. ISO 14044 Standard, 2006.
- [16] L. Corominas, D.M. Byrne, J.S. Guest, A. Hospido, P. Roux, A. Shaw, & M.D. Short, “The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review,” *Water Research*, vol. 184, pp. 116058, 2020.
- [17] E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, A. J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, & S. Federici, “Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, IPCC, Geneva, Switzerland, 2019.
- [18] MNE Proje. (2023, 6 Ocak). *Atıksu Arıtma Tesislerinin Enerji Verimli İşletilmesi* [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.mneproje.com/public/website/news/aritma-tesislerinin-enerji-verimli-isletilmesi_20200607101337.pdf.
- [19] Y. Lorenzo-Toja, C. Alfonsín, M.J. Amores, X. Aldea, D. Marin, M.T. Moreira, & G. Feijoo, “Beyond the conventional life cycle inventory in wastewater treatment plants,” *Science of the Total Environment*, vol. 553, pp. 71-82, 2016.
- [20] E. Friedrich, S. Pillay, & C.A. Buckley, “Carbon footprint analysis for increasing water supply and sanitation in South Africa: a case study,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 17(1), pp. 1-12, 2009.
- [21] M.R.J. Daelman, E.M. van Voorthuizen, L.G.J.M. Van Dongen, E.I.P. Volcke, & M.C.M. Van Loosdrecht, “Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment—results from a long-term study,” *Water Science and Technology*, vol. 67(10), pp. 2350-2355, 2013.
- [22] C. Chai, D. Zhang, Y. Yu, Y. Feng, & M.S. Wong, “Carbon footprint analyses of mainstream wastewater treatment technologies under different sludge treatment scenarios in China,” *Water*, vol. 7(3), pp. 918-938, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Güncel Metasezgisel Algoritmalarının Performansları Üzerine Karşılaştırılmalı Bir Çalışma

 Sibel ARSLAN^{a,*}

^a Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sibelarslan@cumhuriyet.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1150453

ÖZ

Günümüzde, metasezgisel optimizasyon problemlerinin çözümünde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada sürü zekasından ve doğadaki canlıların yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilen üç yeni metasezgisel (Afrika Akbabaları Optimizasyon Algoritması (African Vulture Optimization Algorithm, AVOA), Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (Improved Gray Wolf Optimization Algorithm, I-GWO) ve Deniz Avcıları Algoritması (Marine Predators Algorithm, MPA)), kıyaslamalarda en çok kullanılan metasezgisellerden biri olan Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (Particle Swarm Optimization, PSO) ile kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmalara göre, AVOA ve MPA'nın diğer algoritmalara göre daha başarılı sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Sonuçların istatistiksel anlamlılığı, Friedman ve Wilcoxon işaretli sıralar testleri ile değerlendirilerek bu iki algoritmanın üstünlüğü kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afrika Akbabaları Optimizasyon Algoritması, Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyon Algoritması, Deniz Avcıları Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Comparison of Current Metaheuristic Algorithms with Different Performance Criteria

ABSTRACT

Nowadays, metaheuristics play a very important role in solving optimization problems. In this study, Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO), one of the most commonly used metaheuristics, was compared in three new metaheuristic (African Vulture Optimization Algorithm-AVOA, Improved Gray Wolf Optimization Algorithm- I-GWO and Marine Predators Algorithm-MPA) comparisons inspired by swarm intelligence and foraging behavior of creatures in nature. According to the experimental studies, AVOA and MPA achieve more successful results than other algorithms. The statistical significance of the results was evaluated using the Friedman Wilcoxon signed-rank test, and the significant superiority of these two algorithms was proven.

Keywords: African Vulture Optimization Algorithm, Improved Gray Wolf Optimization Algorithm, Marine Predators Algorithm, Particle Swarm Optimization

I. GİRİŞ

Birçok mühendislik problemlerinin karmaşıklığı ve matematiksel yöntemlerin optimal çözümü sağlayamaması nedeniyle bu problemleri çözmek için metasezgisel algoritmaların kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Araştırmacılar doğa olaylarından ve canlıların davranışlarından esinlenerek farklı algoritmalar önermişlerdir. Bu algoritmalar sezgisel ve metasezgisel algoritmalar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Sezgisel algoritmalar, yerel optimum noktalarına takılabildiği ve belirli optimizasyon problemlerini çözdükleri için daha az ilgi görmüştür [1-3]. Metasezgisel algoritmalar, farklı zorlu ve karmaşık optimizasyon problemlerine optimal çözümler ya da makul olarak kabul edilebilir çözümler bulabilmektedir [4]. Bununla birlikte optimal çözüm bulmayı garanti etmez. Bu algoritmalar çözümleri bulabilmek için arama ve sömürü fazı olmak üzere iki temel fazdan yararlanır. Arama fazı, algoritma başlangıcında yeni çözümler üretmek için kullanılır. İterasyonlar boyunca üretilen bu çözümlerin uygunluk değerlerinin iyileştirilmesi için kademeli olarak sömürü fazına geçilir. Çalışmalar, önerilen metasezgisel algoritmaların doğadan esin kaynağı ve arama mekanizmalarındaki farklılıklara rağmen, arama ve sömürü fazlarını dengelemeye amaçladığını göstermektedir [5,6].

Bu çalışmada son zamanlarda önerilen üç farklı metasezgiselin (Afrika Akbabaları Optimizasyon Algoritması (African Vultures Optimizer Algorithm, AVOA), Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (Improved Grey Wolf Optimizer, I-GWO) ve Deniz Avcıları Algoritması (Marine Predators Algorithm, MPA) temel bir metasezgisel olan Parçacık Sürü Optimizasyon algoritmasıyla (Particle Swarm Optimization, PSO) karşılaştırılmıştır. Çalışmanın temel katkıları aşağıda sıralanmıştır.

- Literatür taramasına göre bu üç metasezgisel benzetim sonuçları yakınsama hızları gibi farklı değerlendirme kriterleri ilk kez karşılaştırılmıştır.
- Algoritmaların benzetim sonuçlarına göre en başarılı düşünülen iki metasezgiselin diğerleriyle başarısının kıyaslanması için tek kuyruk Wilcoxon istatistiksel test yapılmıştır.
- Deneysel çalışmalara göre AVOA ve MPA'nın diğer metasezgisellere üstünlük sağladığı değerlendirilmiştir.

Çalışmanın geri kalanında karşılaştırılacak metasezgiseller hakkında detaylı bilgi ve literatür taramasına Bölüm 2'de yer verilmiştir. Bölüm 3'te kıyaslama yapılan test fonksiyonları, parametreler, benzetim sonuçları ve istatistiksel test sonuçlarının verildiği deneysel çalışmalar sunulmuştur. Bölüm 4'te çalışma özetlenerek genel değerlendirme yapılmıştır.

II. KARŞILAŞTIRILACAK METASEZGİSEL ALGORİTMALAR

Bu bölümde kıyaslama yapılacak metasezgisel algoritmalar hakkında detaylı bilgiye yer verilmiştir.

A. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması, bir sürü içindeki kuşların sosyal davranışlarına dayanan bir metasezgiseldir. Kennedy ve Eberhart [7] tarafından 1995 yılında önerilen bu algoritma çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek için sıklıkla kullanılan güçlü bir araç haline gelmiştir. PSO, her bir parçacığı bir çözümü temsil eden rastgele bir parçacık sürüsünün oluşturulmasına dayanır. Her çözümün değerlendirilmesine bir uygunluk değeri ile karar verilir. Algoritma, en kötü uygunluk değerlerine sahip parçacıkların/çözümlerin en iyi olanlara durdurma kriteri/kriterleri sağlanıncaya kadar çekilmesine dayanır. Erken yakınsamayı önlemek için, tüm parçacıklar şimdiye kadar elde ettikleri en iyi uygunluk değerinin hafızasını içerir ve bu bilgi aynı zamanda daha iyi bir genel çözüm arayışında parçacıkların

konumunu güncellemek için kullanılır. Algoritmanın sözde kodu Tablo 1’de paylaşılmıştır. Daha detaylı bilgi için [7]’ye bakılabilir.

Tablo 1. Standart PSO sözde kodu

Algoritma 1: Standart PSO	
Adım 1.	Başlangıç popülasyonundaki parçacıkların hızlarını ve konumlarını rastgele oluştur.
Adım 2.	Her bir parçacığın uygunluk değerini hesapla.
Adım 3.	Her bir parçacık için yerel en iyiyi (<i>pbest</i>) değerini bul.
Adım 4.	Tüm parçacıklar için global en iyiyi (<i>gbest</i>) değerini bul.
Adım 5.	Parçacıkların hız ve konum değerlerini <i>pbest</i> ve <i>gbest</i> ’e göre güncelle.
Adım 6.	Durdurma kriteri sağlanmıyorsa Adım 2’ye git.

PSO ve varyantları, uygulanması kolay olduğu için literatürde stabilite analizi [8], öznitelik seçimi [9], ısı ve güç dağıtımı [10], yörünge planlama [11] ve büyük ölçekli optimizasyon [12] gibi birçok problemi çözmek için kullanılmıştır. Cleghorn ve Stapelberg fark vektörlerine dayanan yeni teoremler üreterek dört popüler PSO varyantı için birinci ve ikinci dereceden kararlılık kriterleri elde ettiler [8]. Böylece PSO varyantlarında kontrol katsayıları arasındaki ilişkide kısıtlama olmaksızın kararlılık kriterleri türetilmiştir. Hu ve ark. büyük ölçekli verilerin işlenmesinde öznitelik seçiminin yüksek karmaşıklığı için MS-destekli DBPSO olarak adlandırdıkları, çoklu vekil destekli ikili parçacık sürü optimizasyonu önerdi [9]. Algoritma PSO’nun yakınsama yeteneğini hızlandırmış ve büyük ölçekli öznitelik seçim problemlerinin çalışma süresini önemli derece azaltmıştır. Chen ve Li, valf noktası etkileri ile çok yakıtlı birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemini (Multi-fuel combined heat and power economic dispatch, MF-CHPED) çözmek için yeni bir toplu bilgi tabanlı PSO (collective information-based particle swarm optimization, CIB PSO) algoritması önerdiler [10]. Algoritmada, en iyi çözümlerin doğrusal kombinasyonu tarafından oluşturulan toplu bilgi tabanlı en iyi konumları kullanarak parçacık arama ve toplu bilgi tabanlı elit adı verilen iki yeni strateji geliştirildi. Bu stratejilerle PSO’nun arama verimliliği artırılarak MF-CHPED problemleri başarıyla çözülmüştür. Fernandes ve ark. mobil robotik araçların statik ve dinamik ortamlardaki yörünge planlama görevi için yeni bir kuantum davranışlı parçacık sürü optimizasyonu (Quantum-behaved particle swarm optimization, QPSO) algoritması önerdi [11]. Algoritma ile çeşitli tepe noktalarına sahip bu problem için yerel minimumlardan etkili bir şekilde kaçınarak etkili bir şekilde yakınsama amaçlanmıştır. Deney sonuçlarına göre, yörünge planlamasında algoritma klasik bazı algoritmalarla karşılaştırıldığında, otonom robotik araçlar için güvenlik ve enerji tasarrufuna sahip optimal rotalar elde edebilmiştir. Wang ve ark. geleneksel PSO’nun arama yeteneğini geliştirmek ve erken yakınsamadan kaçınmak için seviye tabanlı popülasyon yapısı ve seviye sayısının kontrolünü sağlayan bir takviyeli öğrenme stratejisi önermişlerdir [12]. Yazarlar bu stratejiyi, takviyeli öğrenme seviyeli tabanlı parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (Reinforcement Learning Level based Particle Swarm Optimization algorithm, RLLPSO) olarak adlandırdılar. Deneysel sonuçlar algoritmanın, büyük ölçekli optimizasyon problemlerinde birçok geleneksel algoritmaya karşı üstünlük sağladığını göstermiştir.

B. AFRİKA AKBABALARI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Abdollahzadeh ve ark. [13] Afrika akbabalarının yer bulma ve yiyecek arama davranışlarından esinlenerek Afrika Akbabaları Optimizasyon algoritmasını önermiştir. Doğal yaşamda akbabalar iki temel gruba ayrılır. Her bir akbaba bir çözümü temsil eder. Algoritmada ilk olarak akbabaları gruplara ayırmak için tüm çözümlerin uygunluk değeri hesaplanır. En iyi değere sahip ilk akbaba birinci grubun ilk ve en iyi akbabası; en iyi değere sahip ikinci akbaba ise ikinci grubun en iyi ve ilk akbabası olarak kabul edilir. Popülasyondaki diğer akbabalar bu en iyi iki akbabadan birini hareket ettirmek veya değiştirmek için kullanılır. Akbabalar yiyecek bulma ve grup halinde yaşayabilmek için iki temel gruba ayrılır. Her grubun yiyecek arama ve yeme yeteneği farklıdır. Akbabaların yemek yeme eğilimleri ve saatlerce yiyecek aramaları onların aşırı/gereksiz yemek yemelerini engellemektedir. Algoritmada popülasyondaki en kötü çözümün en zayıf ve en aç akbaba olduğunu varsayarak, akbabalar en kötü akbabadan uzak durmaya ve en iyi akbabaya yakınlaşmaya çalışırlar. AVOA’da gruptaki en iyi

akbabanın belirlenmesi, akbabaların açlık oranının hesaplanması, arama ve sömürü aşamaları olmak üzere dört temel faz izlenir.

B. 1. Birinci Faz: Herhangi Bir Gruptaki En İyi Akbabayı Belirlemek

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra tüm çözümlerin uygunluk değeri hesaplanır ve en iyi çözüm birinci grubun en iyi akbabası, ikinci en iyi çözüm de ikinci grubun en iyi akbabası olarak seçilir. Diğer çözümler, birinci ve ikinci gruplar için en iyi çözümlere doğru ilerler. Her iterasyonda, tüm popülasyon uygunluk değerlerine göre yeniden konumlandırılır.

B. 2. İkinci Faz: Akbabaların Açlık Oranının Hesaplanması

Akbabalar genellikle yiyecek arama eğilimindedir ve tok olduklarında yüksek enerjiye sahiptirler. Dolayısıyla akbabalar tok olduğunda yiyecek aramak için daha uzun mesafelere gidebilirler, ancak açlarsa uzun süre uçmak ve daha güçlü akbabanın yanında yiyecek aramak için yeterli enerjileri bulunmamaktadır. Bu aşamada, azalma eğiliminde olan açlık oranı Eş. 1 ve 2 ile modellenmeye çalışılmıştır.

$$t = h \times \left(\sin^w \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{\text{iter}}{\text{maks_iter}} \right) + \cos \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{\text{iter}}{\text{maks_iter}} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

$$F = (2\text{rand}_1 + 1) \times z \times \left(1 - \frac{\text{iter}}{\text{maks_iter}} \right) + t \quad (2)$$

Burada F akbabaların açlık oranını gösterir, iter mevcut iterasyon sayısını, maks_iter maksimum iterasyon sayısını belirtir. z , her iterasyonda değiştiren -1 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır. h -2 ile 2 arasında; rand_1 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır. z değeri 0'ın altında değere sahipse akbabanın aç kaldığı, 0'dan yüksek değere sahipse akbabanın doyduğu anlamına gelir. $|F|$ değeri 1'den büyük eşit ise, akbabalar farklı alanlarda yiyecek arar ve AVOA keşif fazına girer. Diğer durumda AVOA sömürü aşamasına girer ve akbabalar, komşu çözümlerin yakınında yiyecek arar.

B. 3. Üçüncü Faz: Arama

Bu fazda akbabalar, iki farklı stratejiyi seçerek farklı rastgele alanları arar. Bu stratejileri seçmek için p_1 adı verilen bir parametre kullanılır. Parametre, 0 ile 1 arasında bir değere sahip olmalıdır ve arama işleminden önce değerlendirilmelidir. Stratejilerin seçilmesinde Eş. 3'ü kullanılır:

$$P_i(t + 1) = \begin{cases} R(i) - |X \times R(i) - P(i)| \times F & p_1 \geq \text{rand}_{p_1} \\ R(i) - F + \text{rand}_2 \times ((u_b - l_b) \times \text{rand}_3 + l_b) & p_1 < \text{rand}_{p_1} \end{cases} \quad (3)$$

Burada rand_{p_1} arama fazında stratejilerden herhangi birini seçmek için 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır. $R(i)$ en iyi akbabalardan biridir, X akbabaların yiyeceği diğerlerinden korumak için hareket ettiği mesafeyi, rand_2 ve rand_3 [0, 1] aralığında rastgele sayıları temsil eder. u_b ve l_b arama uzayının üst ve alt sınırlarını ifade eder. Eğer rand_3 değeri 1'e yakınsarsa, çeşitlilik ve farklı uzay alanlarını arama yeteneği artar.

B. 4. Dördüncü Faz: Sömürü

$|F|$ değeri ise 1'den küçük olduğu durumda algoritma sömürü fazına geçer. Öncelikle $|F|$ değerinin 0,5'den büyük olup olmadığına göre faz iki ayrı seçime ayrılır. Eğer bu değer 0,5'den küçükse sömürü değilse yiyecek için akbabalar arasında rekabet olduğu varsayılmıştır. Her bir seçim için rastgele üretilen değerler ile iki farklı strateji seçilir. Bu stratejilerin nasıl seçileceği p_2 ve p_3 parametreleri ile belirlenir. Rekabet aşamasında akbabalar yiyecek arama için yeterli enerjiye sahip olup yiyecek kaynakları

üzerinde çatışmaya girebilirler. Zayıf akbalar güçlü olanlardan yiyecek almaya çalışırlar ya da spiral düzende uçarlar. Bu davranış p_2 parametresine bağlı olarak Eş. 4 ile modellenmiştir.

$$P_i(t+1) = \begin{cases} |X \times R(i) - P(i)| \times (F + rand_4) - (R(i) - P(i)) & \text{eğer } p_2 \geq rand_{p_2} \\ R(i) - R(i) \times \left(\frac{P(i)}{2\pi}\right) (rand_5 \times \cos(P(i)) + rand_6 \times \sin(P(i))) & \text{eğer } p_2 < rand_{p_2} \end{cases} \quad (4)$$

Burada $P(i)$, akbaba ile iki gruptaki en iyi akbabalardan biri arasındaki mesafenin elde edildiği akbabanın mevcut vektör konumudur. $R(i)$, mevcut iterasyondaki en iyi iki akbabadan birinin konum vektörünü temsil eder. $rand_4$, $rand_5$ ve $rand_6$, 0 ile 1 arasında rastgele üretilen bir sayıdır.

Bu fazın ikinci aşamasında, iki akbabanın hareketi, yiyecek kaynağı üzerinde birkaç tür akbaba toplanır ve yiyecek bulmak için akbalar arasında saldırgan çekişmeler yaşanır. Eğer $|F|$ sayı 0,5'ten küçükse, fazın bu aşaması yürütülür. Bu aşamanın başlangıcında, 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı olan $rand_{p_3}$ üretilir. $rand_{p_3}$, p_3 parametresinden büyük veya eşitse, bu fazda, besin kaynağı üzerinde birkaç tür akbaba toplanmaktadır. Diğer durumda, akbalar arasında kuşatma savaşı gerçekleşir. Bu aşamanın matematiksel modellenmesi Eş. 5'de gösterilmiştir.

$$P(i+1) = \begin{cases} \text{Eş.7 eğer } p_3 \geq rand_{p_3} \\ \text{Eş.8 eğer } p_3 < rand_{p_3} \end{cases} \quad (5)$$

Dolayısıyla akbaların yiyecek kaynağı üzerinde toplanma hareketi Eş. 7 Eş. 6'ya bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$A_1 = \text{EnİyiAkbaba}_1(i) - \frac{\text{EnİyiAkbaba}_1(i) \times P(i)}{\text{EnİyiAkbaba}_1(i) - P(i)^2} \times F \quad (6)$$

$$A_2 = \text{EnİyiAkbaba}_2(i) - \frac{\text{EnİyiAkbaba}_2(i) \times P(i)}{\text{EnİyiAkbaba}_2(i) - P(i)^2} \times F$$

$$P(i+1) = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (7)$$

Burada, güncel iterasyonda $\text{EnİyiAkbaba}_1(i)$ birinci grubun en iyi akbabası, $\text{EnİyiAkbaba}_2(i)$ ikinci grubun en iyi akbabası, F akbaların açlık oranını, $P(i)$ akbabanın şimdiki konumunu ve $P(i+1)$ akbabanın bir sonraki iterasyondaki konumunu belirtir.

$|F| < 0,5$ olduğu durumda grupların lider akbabaları aç kalır ve gruptaki diğer akbabalarla başa çıkmak için yeterli enerjiye sahip olmaz. Bununla birlikte, diğer akbabalar da yiyecek arayışlarında saldırganlaşırlar. Lider akbabalar doğru farklı yönlerde hareket ederler. Eş. 8 bu hareketi modellemek için kullanılır.

$$P(i+1) = R(i) - |R(i) - P(i)| \times F \times LF(d) \quad (8)$$

Burada d problem boyutunu, $|R(i) - P(i)|$ akbabanın iki grubun en iyi akbabalarından birine olan mesafesini temsil eder. AVOA'nın etkinliği arttırmak için Levy uçuşuna (Levy Flight, LF) da yer verilmiştir. Bu uçuşun modellenmesi Eş. 9'daki gibidir.

$$LF(x) = 0.01 \times \frac{u \times \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}}, \sigma = \left(\frac{\Gamma(1 + \beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1 + \beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (9)$$

Burada u ve v 0 ve 1 arasında rastgele bir sayı ve β varsayılan değeri 1,5 olarak tanımlanan sabit bir sayıdır. AVOA algoritmasının sözde kodu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. AVOA sözde kodu

Algoritma 2: AVOA	
Adım 1.	Girdiler: N popülasyon büyüklüğü ve maksimum iterasyon sayısı T
Adım 2.	Çıktılar: Akbabanın konumu ve uygunluk değeri
Adım 3.	Başlangıç popülasyonunu $P_i (i = 1, 2, \dots, N)$ rastgele oluştur.
Adım 4.	döngü (durdurma kriteri sağlanıncaya kadar) yap
Adım 5.	Akbabaların uygunluk değerlerini hesapla
Adım 6.	$P_{EniyiAkbaba_1}$ 'i akbabanın konumu olarak ayarla (İlk gruptaki en iyi akbaba)
Adım 7.	$P_{EniyiAkbaba_2}$ 'i akbabanın konumu olarak ayarla (İkinci gruptaki en iyi akbaba)
Adım 8.	döngü (Her akbaba (P_i) için)
Adım 9.	$R(i)$ 'yi seç
Adım 10.	F 'i güncelle
Adım 11.	eğer ($ F \geq 1$) ise
Adım 12.	eğer ($P_1 \geq rand_{p1}$) ise
Adım 13.	Eş. 3'ü kullanarak akbabanın konumunu güncelle
Adım 14.	değilse
Adım 15.	Eş. 3'ü kullanarak (ikinci bölüm) akbabanın konumunu güncelle
Adım 16.	eğer ($ F < 1$) ise
Adım 17.	eğer ($ F \geq 0,5$) ise
Adım 18.	eğer ($P_1 \geq rand_{p2}$) ise
Adım 19.	Eş. 4'ü kullanarak akbabanın konumunu güncelle
Adım 20.	değilse
Adım 21.	Eş. 4'ü kullanarak (ikinci bölüm) akbabanın konumunu güncelle
Adım 22.	değilse
Adım 23.	eğer ($P_1 \geq rand_{p2}$)
Adım 24.	Eş. 5'i kullanarak akbabanın konumunu güncelle
Adım 25.	değilse
Adım 26.	Eş. 5'i kullanarak (ikinci bölüm) akbabanın konumunu güncelle
Adım 27.	Durdurma kriteri sağlanmıyorsa Adım 4' e git.
Adım 28.	Dön $P_{EniyiAkbaba_1}$

AVOA, 2021 yılında önerilen yeni bir algoritma olmasına rağmen literatürde parametre tanımlama [14-16], sistem yapılandırma [17] ve tasarımı [18] problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Bagal ve ark. Katı Oksit Yakıt Pili (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) modellerinde ampirik, gerçek gerilim ve akım profilleri arasındaki hatayı minimize etmek için Modifiye Edilmiş AVOA (Modified African Vulture Optimizer, MAVO) algoritmasını önerdiler [14]. Wang ve ark. ise aynı problemi AVOA'nın bir başka varyantını (Adaptive African Vulture Optimization, AAVO) önererek çözdüler [15]. Chen ve Zhang bir başka model olan Proton değişim membranlı yakıt hücresinin (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) parametreleri tanımlamak için AVOA'nın geliştirilmiş bir varyantını (Improved version of African Vulture Optimizer, IAVOA) önerdiler [16]. Her üç çalışmadaki deneysel sonuçlar algoritmaların yakınsamada ve doğrulukta oldukça başarılı sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Alanazi ve ark. fotovoltaiik sistem dizisinin çıkış gücünü yeniden yapılandırmak için AVOA'yı kullandılar [17]. Çalışmadaki sonuçlar çıkış gücünün başarıyla maksimize edildiğini ifade etmektedir. Wang ve ark. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde (Hybrid Renewable Energy System, HRES) maliyeti minimize edecek sistem elementlerini önerdikleri geliştirilmiş AVOA ile tasarlamayı amaçladılar [18]. Çalışmada algoritmanın etkinliği birçok çalışmayla kıyaslanarak ifade edilmiştir.

C. GELİŞTİRİLMİŞ GRİ KURT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyon Algoritması algoritmasının bir varyantı olduğu için öncelikle kısaca GWO açıklanarak, daha sonra I-GWO algoritması tanıtılmıştır.

C. 1. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

Gri kurt optimizasyon algoritması, 2014 yılında Mirjalili tarafından önerilen gri kurtların avlanma stratejisini ve sosyal liderliğini taklit eden bir metasezgiseldir [19]. Gri kurtlar doğal yaşamlarında kendi içerisinde alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) kurtları olmak üzere dört farklı grup hiyerarşisine sahiptir. Alfa kurtları bu sosyal hiyerarşide en üst basamaktaki en iyi kurtlardır. Sırasıyla diğer en iyi kurtlar beta, delta ve omegadır. GWO'nun avı çevreleme, avlama, avına saldırma ve av arama-keşif olmak üzere üç temel aşaması bulunmaktadır. Avlanma stratejilerinde alfa, beta ve delta kurtlarının avın yeri hakkında daha iyi bilgi sağladığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, ilk üç en iyi çözüm (alfa, beta, delta), GWO algoritmasında kurtların konumlarını güncellemek için kullanılır.

Algoritma, başlangıç popülasyonunun rastgele çözümler üretilmesi ile başlar. Aday çözümler iyilik değerlerine göre alfa, beta veya delta gruplarına dahil edilirler. Her bir iterasyonda aday çözümler avın olası konumlarını tahmin ederek ava olan mesafesini günceller. Çözümler öncesinde belirlenen koşullarla avdan uzaklaşma veya yaklaşma eğilimi gösterirler. Sonlandırma koşulu/koşullarının gerçekleşmesiyle algoritma sonlandırılır. Algoritmanın detayları için [19] incelenebilir.

C. 2. Geliştirilmiş Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

GWO algoritması optimal çözümü bulmak için α , β , δ ve ω kurtlarını arama uzayının farklı alanlarına yönlendirir. Her kurt için popülasyonun üç lider kurdunun yardımıyla yeni bir konum elde edilir. Bu durum, GWO'nun yavaş yakınsama göstermesine, popülasyonun çeşitliliğini çok erken kaybetmesine ve kurtların yerel optimuma takılmasına neden olmaktadır. Algoritmanın bu dezavantajlarını kaldırmak için Nadimi-Shahraki ve ark. Geliştirilmiş GWO (Improved GWO, I-GWO) varyantını önerdiler [20]. Varyant ile seçme ve güncelleme adımında yeni arama stratejisi içermektedir. I-GWO başlangıç, ava doğru hareket, seçme ve güncelleme olmak üzere üç temel fazdan oluşur.

C.2.1. Başlangıç Fazı

Bu fazda, N kurt, sınırları $[l_i, u_j]$ aralığı ile tanımlanmış bir uzayında Eşt. 10'a göre rastgele dağıtılır.

$$X_{ij} = l_j + \text{rand}_j[0,1] \times (u_j - l_j), i \in [1, N], j \in [1, D] \quad (10)$$

Algoritmada i . kurdun t . iterasyondaki konumu, D problemin boyutu olmak üzere $X_i(t) = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}\}$ vektörü olarak temsil edilir. Popülasyonu, N satırı ve D sütunu olan bir Pop matrisinde tutulur. $X_i(t)$ 'nin uygunluk değeri, uygunluk fonksiyonu $f(X_i(t))$ tarafından hesaplanır.

C.2.2. Hareket Fazı

I-GWO, boyut öğrenme tabanlı avcılık (Dimension Learning-based Hunting, DLH) adlı ek bir hareket stratejisi içerir. DLH'da bireysel kurt avının komşular tarafından öğrenildiği kabul edilir. Stratejinin temel işleyişi, kurt $X_i(t)$ 'nin yeni konumunun her boyutu bireysel kurdun farklı komşuları ve Pop 'tan rastgele seçilen bir kurt tarafından öğrenildiği Eşt. 13 ile hesaplanır. Daha sonra $X_{i-GWO}(t+1)$ 'nin yanı sıra strateji, $X_{i-DLH}(t+1)$ olarak adlandırılan $X_i(t)$ 'nin yeni konumu için başka bir aday üretir. Bunu yapmak için $X_i(t)$ 'nin mevcut konumu ile $X_{i-GWO}(t+1)$ aday konumu arasındaki Öklid mesafesi Eşt. 11'deki gibi hesaplanarak $R_i(t)$ yarıçapı elde edilir.

$$R_i(t) = \|X_i(t) - X_{i-GWO}(t+1)\| \quad (11)$$

Daha sonra, $N_i(t)$ ile gösterilen $X_i(t)$ 'nin komşuları $R_i(t)$ yarıçapına göre Eşt. 12 ile elde edilir. Burada D_i , $X_i(t)$ ve $X_j(t)$ arasındaki Öklid mesafesidir.

$$N_i(t) = \{X_j(t) \mid D_i(X_i(t), X_j(t)) \leq R_i(t), X_j(t) \in Pop\} \quad (12)$$

$X_i(t)$ 'nin komşularının elde edilmesinin ardından, çoklu komşu öğrenmesi Eş. 13 ile elde edilir. $X_{i-DLH,d}(t+1)$ 'nin hesaplanmasında kullanılan $X_{n,d}(t)$ $N_i(t)$ 'nin d . boyutunda rastgele seçilen komşusunu ve $X_{r,d}(t)$ Pop 'tan rastgele seçilen bir kurdu tanımlar.

$$X_{i-DLH,d}(t+1) = X_{i,d}(t) + \text{rand} \times (X_{n,d}(t) - X_{r,d}(t)) \quad (13)$$

C.2.3. Seçme ve Güncelleme Fazı

Bu fazda ilk olarak $X_{i-GWO}(t+1)$ ve $X_{i-DLH}(t+1)$ adaylarının uygunluk değerleri Eş. 14 ile karşılaştırılarak daha iyi aday seçilir.

$$X_i(t+1) = \begin{cases} X_{i-GWO}(t+1), & \text{eğer } f(X_{i-GWO}) < f(X_{i-DLH}) \\ X_{i-DLH}(t+1) & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (14)$$

$X_i(t+1)$ 'in yeni konumunu güncellemek için seçilen adayın uygunluk değeri $X_i(t)$ 'den küçükse $X_i(t)$ seçilen aday tarafından güncellenir. Aksi takdirde, $X_i(t)$ Pop 'ta değişmeden kalır. Algoritma bu işleyişi tüm bireyler için gerçekleştirdikten sonra, iterasyon 1 artırılır ve arama, maksimum iterasyon sayısına ulaşana kadar devam eder. I-GWO algoritmasının sözde kodu Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. I-GWO sözde kodu

Algoritma 3: Geliştirilmiş GWO (I-GWO)	
Adım 1.	Girişler: N , D , maks_iter
Adım 2.	Çıkış : Küresel optimum
Adım 3.	Başla
Adım 4.	Başlangıç popülasyonundaki N kurt arama uzayında rastgele dağıt ve uygunluk değeri hesapla
Adım 5.	döngü iter = 2, ..., maks_iter
Adım 6.	X_α , X_β ve X_δ 'yi bul
Adım 7.	döngü i = 1, ..., N
Adım 8.	$X_{i-GWO}(t+1)$ 'i hesapla
Adım 9.	$R_i(t)$ 'yi Eş. 11'e göre hesapla
Adım 10.	$X_i(t)$ 'nin komşularını R_i 'ye göre Eş. 12'yi kullanarak hesapla
Adım 11.	döngü d = 1, ..., D
Adım 12.	Eş. 13'e göre $X_{i-DLH,d}(t+1)$ 'i hesapla
Adım 13.	döngü bitir
Adım 14.	Eş. 14'e göre $X_{i-GWO}(t+1)$ ve $X_{i-DLH}(t+1)$ arasında aç gözlü seçim yap.
Adım 15.	Pop 'u güncelle
Adım 16.	döngü bitir
Adım 17.	döngü bitir
Adım 18.	Küresel optimumu döndür.
Adım 19.	bitir

Literatürde, Hua ve ark. GWO'nun bu varyantını temel alınarak PID kontrolör tasarımı yaptılar [21]. Çalışma neticesinde tasarlanan kontrolörün insan midesine ilaç salınımı için kullanılan robotların dar alanda hareket kabiliyetini artırarak hızını optimize edebildiği gözlemlenmiştir.

D. DENİZ AVCILARI ALGORİTMASI

Deniz Avcıları Algoritması (Marine Predators Algorithm, MPA), 2020 yılında Faramarzi ve ark. tarafından önerilen deniz avcılarının avlara saldırı davranışından ilham alarak geliştirdikleri popülasyon tabanlı bir sezgisel algoritmadır [22]. Avcılar, avlarını hedeflerken Brownian ve Levy olarak adlandırılan iki temel hareket kullanır. İki hareket arasında bir denge sağlamak için avcılar, avdan

mevcut konumlarına göre hız oranını hesaplar. İlk olarak, MPA, arama uzayına rastgele yayılan başlangıç çözümlerini Eş. 15'e göre üretir.

$$X_0 = X_{min} + B(X_{maks} - X_{min}) \quad (15)$$

Burada X_{min} ve X_{maks} arama uzayları için minimum ve maksimum sınırlardır. B , [0,1] aralığında rastgele üretilmiş bir sayıdır. Algoritma Elit (Elite) ve Av (Prey) matrisleri kavramlarını ortaya atar. Elit matris, en iyi avcıyı temsil eder ve avın konum verilerini kullanarak avın aranmasını ve algılanmasını içerir. Elit matrisi Eş. 16'daki gibi tanımlanır.

$$\text{Elit} = \begin{bmatrix} X_{1,1}^I & \cdots & X_{1,d}^I \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n,1}^I & \cdots & X_{n,d}^I \end{bmatrix} \quad (16)$$

Burada \vec{X}^I , n popülasyon büyüklüğü ve d problem boyutu olmak üzere n kez tekrarlanarak Elit matrisini oluşturmak için kullanılan en iyi avcı olarak tanımlanır. MPA'da popülasyon bireyleri hem avcılardan hem de avdan oluşmaktadır. Matrisin bu şekilde oluşturulmasının temel nedeni, avcının av ararken diğer avcılar için av da olabilmesidir. Diğer bir deyişle bireyler avcı ya da av olabilir. Her iterasyon sonunda en iyi avcı değişebileceğinden Elit matrisi güncellenir. Avcıların konumlarını güncellemek için kullanılan Av matrisi Eş. 17'deki gibi tanımlanır.

$$\text{Av} = \begin{bmatrix} X_{1,1} & \cdots & X_{1,d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n,1} & \cdots & X_{n,d} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Burada $X_{i,j}$ i . avın j . boyutunu temsil eder. MPA, aşağıda belirtilen av ve avcı hızına dayalı üç orana göre adımlarını gerçekleştirir:

1. Avcının avcıdan daha hızlı hareket ettiği durumda yüksek hız oranı
2. Hem avcı hem de av hemen hemen aynı hızda hareket ettiği durumda eşit hız oranı
3. Avcının avdan daha hızlı olduğu durumda düşük hız oranı

Bu adımlar aşağıda detaylandırılmaktadır.

D. 1. Birinci Adım

Bir avcının avdan daha hızlı hareket etmesi durumunda, mevcut iterasyon maksimum iterasyon sayısının üçte birinin altındayken Eş. 18'e göre konum güncellenir.

$$\text{eğer } t_{\text{current}} < \frac{1}{3} * t_{\text{maks}} \text{ ise } \overrightarrow{\text{AdımSayısı}}_i = \vec{R}_B \otimes (\overrightarrow{\text{Elit}}_i - \vec{R}_B \otimes \overrightarrow{\text{Av}}_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$\overrightarrow{\text{Av}}_i = \overrightarrow{\text{Av}}_i + P \cdot \vec{R} \otimes \overrightarrow{\text{AdımSayısı}}_i \quad (19)$$

Burada \otimes eleman bazında çarpmayı ifade eder. R_B , Brownian hareketini temsil eder ve bir rastgele sayı vektörü içerir. Avcının hareketinin simülasyonu $\vec{R}_B \otimes \overrightarrow{\text{Av}}_i$ tarafından tanımlanır. Ayrıca, P ve R , sırasıyla 0,5'e eşit sabit bir sayı ve [0, 1] arasında rastgele sayılardan oluşan bir vektördür. Bu adım, adım boyutunun veya hareketin hızının büyük olduğu durumlarda yüksek arama yeteneği için kullanılır.

D. 2. İkinci Adım

İkinci adımda hem aramanın hem de sömürmenin önemi eşit ağırlıktadır. Bu adımda avcı ve avın hızı eşit olduğunda arama, sömürüye dönüşme eğilimindedir. Böylece bireylerin yarısı arama, diğer yarısı sömürü için kullanılır. Av sömürü ve avcılar ve arama rollerine sahiptir. Her birey kendine özgü hareketi gerçekleştirir. Avcılar Lévy hareketini, avcılar Brownian hareketini benimserler. Bu adım için

denklemler aşağıdaki gibi tanımlanırken, iterasyon sayısı maksimum iterasyon sayısının üçte biri ile üçte ikisi arasındadır.

$$\text{eğer } \frac{1}{3} * t_{maks} < t_{güncel} < \frac{2}{3} * t_{maks} \text{ ise } \overrightarrow{AdımSayısı}_i = \vec{R}_L \otimes (\overrightarrow{Elit}_i - \vec{R}_L \otimes \overrightarrow{Av}_i) \quad (20)$$

$$i = 1, 2, \dots, n/2$$

$$\overrightarrow{Av}_i = \overrightarrow{Av}_i + P. \vec{R} \otimes \overrightarrow{AdımSayısı}_i \quad (21)$$

Burada R_L , Lévy hareketini temsil eder ve bir rasgele sayı vektörü içerir. Avın hareketinin matematiksel modellenmesi $\vec{R}_L \otimes \overrightarrow{Av}_i$ ile sunulmaktadır. Adım boyutu daha iyi sömürüye yol açan küçük adımlarla ilişkilendirilir. Popülasyonun diğer yarısı için aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\text{eğer } \frac{1}{3} * t_{maks} < t_{güncel} < \frac{2}{3} * t_{maks} \text{ ise } \overrightarrow{AdımSayısı}_i = \vec{R}_B \otimes (\vec{R}_B \otimes \overrightarrow{Elit}_i - \overrightarrow{Av}_i) \quad (22)$$

$$i = \frac{n}{2}, \dots, n.$$

$$\overrightarrow{Av}_i = \overrightarrow{Av}_i + P. \vec{R} \otimes \overrightarrow{AdımSayısı}_i \quad (23)$$

$$CF = \left(1 - \frac{\text{iter}}{\text{maks_iter}}\right)^{\left(2 \times \frac{\text{iter}}{\text{maks_iter}}\right)} \quad (24)$$

Burada CF , avcının hareketini kontrol etme faktörüdür. R_B ile çarpılan elit, avcının Brownian hareketini matematiksel modellemek için kullanılır ve av pozisyonu avcının hareketine göre güncellenir.

D. 3. Üçüncü Adım

Bu adımda avcının hızının avdan yüksek olduğu durumlarda kullanılır ve yüksek sömürü kabiliyetine karşılık gelir. İterasyon sayısı, maksimum iterasyon sayısının üçte ikisinden daha yüksek olduğunda, konumu güncelleme için en iyi yolu Lévy eşitliğidir. Bu aşamada aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\text{eğer } t_{güncel} > \frac{2}{3} * t_{maks} \text{ ise } \overrightarrow{AdımSayısı}_i = \vec{R}_L \otimes (\vec{R}_L \otimes \overrightarrow{Elit}_i - \overrightarrow{Av}_i) \quad (25)$$

$$i = 1, \dots, n.$$

$$\overrightarrow{Av}_i = \overrightarrow{Elit}_i + P. CF \otimes \overrightarrow{AdımSayısı}_i \quad (26)$$

Yukarıda belirtilen adımlara ek olarak, MPA, deniz avcılarını daha iyi modellemek için iki farklı çevresel etkiyi de kullanır. Bu etkilerden ilki balık toplama cihazları (Fish Aggregating Devices, FADs) veya girdap dönüşümü olarak adlandırılır ve Eş. 27'de bu dönüşüm modellenmiştir.

$$\overrightarrow{Av}_i = \begin{cases} \overrightarrow{Av}_i + CF [\vec{X}_{min} + \vec{R} \otimes (\vec{X}_{maks} - \vec{X}_{min})] \otimes \vec{U} & \text{eğer } r \leq \text{FADs} \\ \overrightarrow{Av}_i + [\text{FADs} (1 - r) + r] (\overrightarrow{\text{Prey}}_{r1} - \overrightarrow{\text{Prey}}_{r2}) & \text{eğer } r > \text{FADs} \end{cases} \quad (27)$$

Eş. 27'deki $FADs$, algoritma için olasılıksal bir etki olarak tanımlanır ve 0,2'ye eşittir. \vec{U} ikili bir vektördür. Bu ikili vektördeki her dizi, 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı üretmek için oluşturulur. Oluşturulan sayı 0,2'den küçükse, dizi 0 değerini alır, aksi takdirde 1 değerini alır. r , 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır. \vec{X}_{min} ve \vec{X}_{maks} sırasıyla boyutların alt ve üst sınırlarıdır. Son olarak, $r1$ ve $r2$, av matrisinin rastgele indislerini temsil eder.

Deniz hafızası adı verilen diğer çevresel tepki, avcının av aramada başarılı olduğu en iyi yerleri hatırlama kabiliyeti ile ilgilidir. Bu kabiliyet MPA'da bellek tasarrufu olarak kullanılır. Avın konumu güncelledikten ve FAD'lerin etkisini sağladıktan sonra, Elit'i yükseltmek için matris değerlendirilecektir. Mevcut iterasyonda, her çözümün uygunluk değeri, önceki iterasyondaki değeri ile karşılaştırılıp en iyisi seçilecektir. Bu aç gözlü seçimle, her iterasyon boyunca çözümün kalitesi artırılması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, avcılarının, avların bol olduğu bölgelerinin önceki

konumlarını başarılı bir arama ile hatırlamalarına yardımcı olmaktadır. MPA'nın sözde kodu Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. MPA sözde kodu

Algoritma 4: MPA

-
- Adım 1. Başlangıç $Adım, P, \overrightarrow{Av}_i$.
- Adım 2. **döngü** $t < t_{maks}$ **yap**
- Adım 3. Her bir \overrightarrow{Av}_i için $f(\overrightarrow{Av}_i)$ değerini hesapla.
- Adım 4. Elit matrisini oluştur.
- Adım 5. Hafızaya al.
- Adım 6. CF 'yi Eş. 24'e göre güncelle
- Adım 7. **döngü** each \overrightarrow{Av}_i **yap**
- Adım 8. **eğer** $(t_{current} < \frac{1}{3} * t_{max})$ **ise**
- Adım 9. \overrightarrow{Prey}_i 'yi Eş. 18 ve 19'a göre konumlandır.
- Adım 10. **değilse**
- Adım 11. **eğer** $(\frac{1}{3} * t_{max} < t_{current} < \frac{2}{3} * t_{max})$ **ise**
- Adım 12. **eğer** $(i < \frac{1}{2} * n)$ **ise**
- Adım 13. \overrightarrow{Av}_i 'yi Eş. 20 ve 21'e göre konumlandır.
- Adım 14. **değilse**
- Adım 15. \overrightarrow{Av}_i 'yi Eş. 22 ve 23'e göre konumlandır.
- Adım 16. **eğer bitir**
- Adım 17. **değilse**
- Adım 18. \overrightarrow{Av}_i 'yi Eş. 25 ve 26'ya göre konumlandır.
- Adım 19. **eğer bitir**
- Adım 20. **eğer bitir**
- Adım 21. Her bir \overrightarrow{Av}_i için $f(\overrightarrow{Av}_i)$ değerini hesapla.
- Adım 22. En iyi \overrightarrow{Av}_i 'nin konumunu ve uygunluk değerini güncelle
- Adım 23. En iyi \overrightarrow{Av}_i hafızaya al
- Adım 24. FAD etkisini Eş. 27'ye göre uygula
- Adım 25. **döngü bitir**
- Adım 26. $t_{güncel} ++$
- Adım 27. **döngü bitir**
-

MPA algoritmasının bir çok varyantı ile farklı optimizasyon problemleri çözülmüştür. Elaziz ve ark. quantum teorisini MPA'ya uyarlayarak resim segmentasyonu problemi için en uygun eşik seviyelerini bulmaya çalıştılar [23]. Xing ve He bu probleminin çok amaçlı versiyonu için güçlendirilmiş MPA'yı önerdiler [24]. Her iki algoritma literatürde bilinen metasezgisellere karşı başarılı sonuçlar elde etmiştir. Saqid ve ark. MPA algoritmasının nonlinear varyantı ile bir çok test probleminde ve NOMA-VLC-B5G sistemlerinde birden fazla kullanıcı için adil güç tahsisi problemini başarıyla çözdüler [25]. Hassan ve ark. MPA'nın bir diğer varyantını tek ve çok amaçlı birleşik ekonomik emisyon dağıtımını problemini çözmek için önerdiler [26]. Yazarlar, çok amaçlı problem için pareto yaklaşımı önerilen varyant ve bulanık yöntem ile kullanarak klasik algoritmalara karşı üstünlük sağlamıştır. Houssein ve ark. Deep-MPA olarak adlandırdıkları MPA'nın başka bir varyantını, klasik MPA'nın dezavantajlarının üstesinden gelmek için önerdiler [27]. Varyant ile bölgesel optimumlardan kaçınma, arama ve sömürme arasındaki dengenin sağlanması, yakınsama performansının artırılması gibi iyileşmeler gerçekleştirildi.

III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde algoritmaların karşılaştırılmasında kullanılan test fonksiyonları, parametreler yer verilmiştir. Sonrasında benzetim sonuçları ve sonuçların anlamlılığını değerlendiren istatistiksel test sonuçları yer almıştır.

A. TEST FONKSİYONLARI

Bu bölümde, algoritmalar birçok çalışmada kullanılan 23 farklı test fonksiyonu ile kıyaslanmıştır [28-30]. Fonksiyonlar üç temel gruba ayrılabilir: tek modlu, çok modlu, farklı boyutlu çok modlu. Her bir grup sırasıyla Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de sunulmuştur. Tablolarda verilen aralık fonksiyonların arama uzayının sınırlarını f_{min} optimum değerini temsil etmektedir.

Tablo 5. Tek modlu test fonksiyonları

Fonksiyon	Boyut	Aralık	f_{min}
$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	30, 50, 100	[-100,100]	0
$f_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $	30, 50, 100	[-10,10]	0
$f_3(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$	30, 50, 100	[-100,100]	0
$f_4(x) = \max\{ x_i , 1 \leq i \leq n\}$	30, 50, 100	[-100,100]	0
$f_5(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	30, 50, 100	[-30,30]	0
$f_6(x) = \sum_{i=1}^n ([x_i + 0.5])^2$	30, 50, 100	[-100,100]	0
$f_7(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + \text{random}(0,1)$	30, 50, 100	[-1.28,1.28]	0

Tablo 6. Çok modlu test fonksiyonları

Fonksiyon	Boyut	Aralık	f_{min}
$F_8(x) = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{ x_i })$	30, 50, 100	[-500,500]	-418.98
$F_9(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i) + 10]$	30, 50, 100	[-5.12,5.12]	0
$F_{10}(x) = -20\exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + e$	30, 50, 100	[-32,32]	0
$F_{11}(x) = \frac{1}{4000}\sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	30, 50, 100	[-600,600]	0
$F_{12}(x) = \frac{\pi}{n}\left\{10\sin(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2[1 + 10\sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2\right\}$ $+ \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4) y_i = 1 + \frac{x_i+1}{4}$	30, 50, 100	[-50,50]	0
$u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m & x_i > a \\ 0 & -a < x_i < a \\ k(-x_i - a)^m & x_i < -a \end{cases}$			

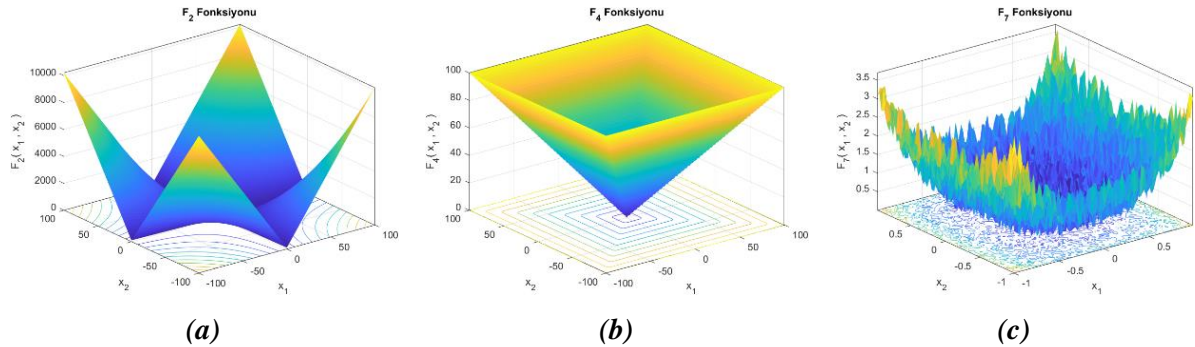
Tablo 6(devam). Çok modlu test fonksiyonları

$F_{13}(x) = 0.1 \left\{ \begin{array}{l} \sin^2(3\pi x_1) + \sum_{i=1}^n (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_i + 1)] + (x_n - 1)^2 [1 + \\ \sin^2(2\pi x_n)] + \sum_{i=1}^n u(x_i, 5, 100, 4) \end{array} \right\}$	30, 50, 100	[-50,50]	0
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	----------	---

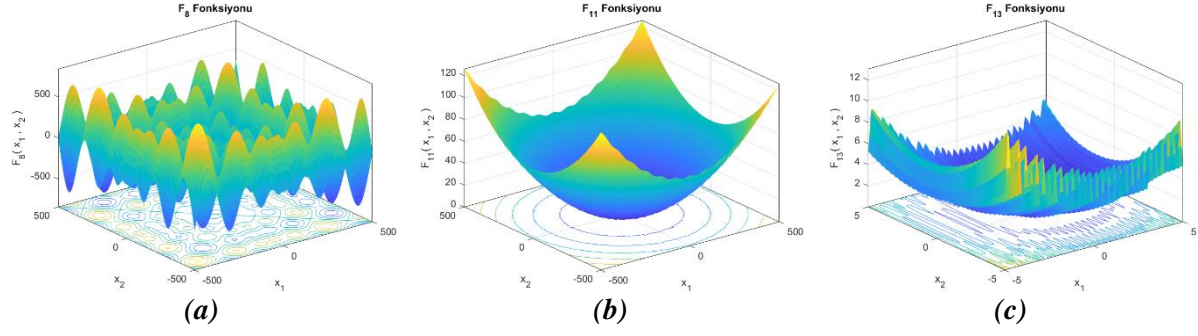
Tablo 7. Farklı boyutlu çok modlu test fonksiyonları

Fonksiyon	Boyut	Aralık	f_{min}
$F_{14}(x) = \left(\frac{1}{500} + \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{ij})^6} \right)^{-1}$	2	[-65,65]	1
$F_{15}(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_1(b_i^2 + b_i x_2)}{b_i^2 + b_i x_3 + x_4} \right]^2$	4	[-5,5]	0.0003
$F_{16}(x) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$	2	[-5,5]	-1.0316
$F_{17}(x_1, x_2) = \left(x_2 - \frac{5.1}{4\pi^2}x_1^2 + \frac{5}{\pi}x_1 - 6 \right)^2 + 10 \left(1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos x_1 + 10$	2	[-5,5]	0.398
$F_{18}(x_1, x_2) = [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)] \times [30 + (2x_1 - 3x_2)^2 \times (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)]$	2	[-2,2]	3
$F_{19}(x) = - \sum_{i=1}^4 c_i \exp \left(- \sum_{j=1}^3 a_{ij} (x_j - p_{ij})^2 \right)$	3	[1,3]	-3.86
$F_{20}(x) = - \sum_{i=1}^4 c_i \exp \left(- \sum_{j=1}^6 a_{ij} (x_j - p_{ij})^2 \right)$	6	[0,1]	-3.32
$F_{21}(x) = - \sum_{i=1}^5 [(X - a_i)(X - a_i)^T + c_i]^{-1}$	4	[0,10]	-10.1532
$F_{22}(x) = - \sum_{i=1}^7 [(X - a_i)(X - a_i)^T + c_i]^{-1}$	4	[0,10]	-10.4028
$F_{23}(x) = - \sum_{i=1}^{10} [(X - a_i)(X - a_i)^T + c_i]^{-1}$	4	[0,10]	-10.5363

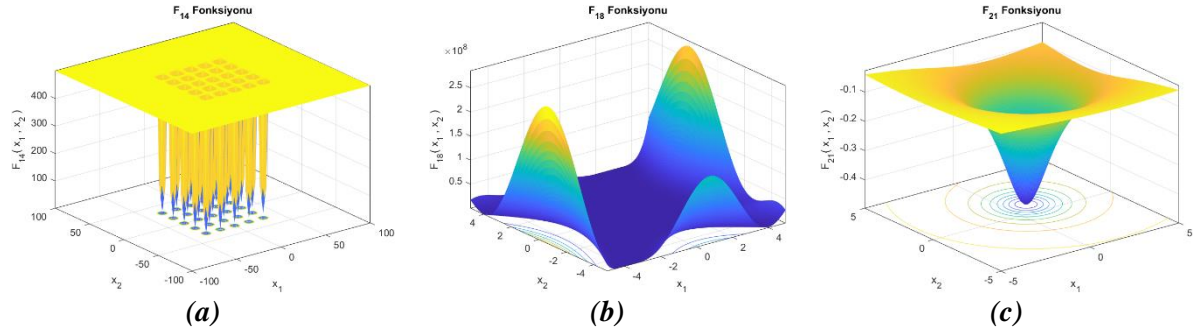
Tablo 7’de ifade edilen fonksiyonların birçoğunun boyutu eşitliklerinden de anlaşıldığı üzere değiştirilemeyeceğinden boyut değerleri sabit bırakılmıştır. Tablolardaki bazı fonksiyonların grafikleri Şekil 1 (F_2, F_4, F_7), Şekil 2 (F_8, F_{11}, F_{13}), ve Şekil 3 (F_{14}, F_{18}, F_{21})’de çizdirilmiştir.



Şekil 1. Bazı tek modlu fonksiyonlar



Şekil 2. Bazı çok modlu fonksiyonlar



Şekil 3. Bazı farklı modlu fonksiyonlar

B. PARAMETRELER

Çalışmada kullanılan parametreler Tablo 8’de sunulmuştur. p_1 , p_2 ve p_3 AVOA’da temel fazlarda arama ve sömürü aşamalarında stratejilerin nasıl seçilmesine dair kullanılan parametrelerdir. Burada L_1 en iyi akbabayı seçmek için olasılık parametresi, L_2 en iyi ikinci akbabayı seçmek için olasılık parametresidir. w ise arama ve sömürü fazlarını sonlandırılıp/ sonlandırılmayacağını belirleyen bir parametredir. I-GWO’da tanımlanan a başlangıçtaki değeri 2 olarak belirlenen ve iterasyonlar boyunca lineer azalan bir parametredir. MPA’da ise iki temel kontrol parametresi bulunmaktadır. $FADS$, Eşit. 27’de tanımlanan etki değeri; P , Eşit. 19’da ifade edilen sabittir. PSO için tanımlanan c_1 , c_2 , w_{min} ve w_{max} parametreleri hız ve konum değerleri için ağırlık katsayılarıdır. Benzer çalışmalarda iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü sırasıyla 500 ve 30 alındığı için bu çalışmada da aynı değerler kullanılmıştır [16, 22]. Adil bir karşılaştırma olması için bir iterasyonda algoritmaların çağırdığı uygunluk fonksiyonları karşılaştırılmıştır. P popülasyon büyüklüğü olmak üzere AVOA, I-GWO ve PSO’nun çağırdıkları uygunluk fonksiyonu sayısı eşit ve P iken, MPA’nın çağırdığı uygunluk fonksiyonu sayısı $2P$ ’dir. Bu nedenle tüm algoritmaların toplam uygunluk fonksiyonu çağırma sayısı $500P$ olması için sadece MPA’nın iterasyon sayısı 500 ve popülasyon büyüklüğü 15 alınmıştır. Bunun haricinde diğer tüm algoritmalarda iterasyon sayısı 500, popülasyon büyüklüğü 30 alınmıştır.

Tablo 8. Parametreler tek modlu test fonksiyonları benzetim sonuçları

Kontrol Parametreleri	Algoritmalar			
	AVOA	I-GWO	MPA	PSO
p_1	0,6	-	-	-
p_2	0,4	-	-	-
p_3	0,6	-	-	-
L_1	0,8	-	-	-
L_2	0,2	-	-	-

w	2,5	-	-	-
a	-	2	-	-
$FADs$	-	-	0,2	-
P	-	-	0,5	-
c_1	-	-	-	2
c_2	-	-	-	2
w_{min}	-	-	-	0,2
w_{max}	-	-	-	0,9
Popülasyon Büyüklüğü	30	30	15	30
Maksimum İterasyon Sayısı	500	500	500	500

C. BENZETİM SONUÇLARI

Çalışmada tüm algoritmalar 30 kez bağımsız koşturulmuştur. Algoritmalar MATLAB 2022b platformu kullanılarak yazılmıştır. Kullanılan bilgisayar, Core i7-8565U CPU, 1.8 Ghz hızı ve 8GB RAM'e sahiptir. Benzetim sonuçları sırasıyla tek modlu fonksiyonlar için Tablo 9'da, çok modlu fonksiyonlar için Tablo 10'da ve farklı boyutlu çok modlu fonksiyonlar için Tablo 11'de paylaşılmıştır. Her fonksiyon için koşmaların ortalama, standart sapma, en iyi ve en kötü sonuçları tablolarda verilmiştir. Ayrıca tablolarda ortalamalarda en iyi değere sahip algoritmalar kalınlaştırılmıştır.

Tablo 9'da görüldüğü üzere bütün tek modlu fonksiyonlar için AVOA diğer algoritmalarından daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bununla birlikte problemin boyutu arttıkça algoritmaların hata değeri de artmaktadır. F_1 ve F_2 fonksiyonları için PSO'nun hata değerleri hariç diğer algoritmalar minimum değere oldukça yakın sonuçlar üretmişlerdir. PSO sadece F_1 , F_6 ve F_7 fonksiyonlarında 30 boyutludaki hata değerleri sıfıra yakındır. Ancak diğer boyutlarda ve fonksiyonlarda doğru tahmin yapamadığını söylenebilir. I-GWO özellikle 100 boyutluda F_3 , F_5 ve F_6 değerlerinde diğer boyutlardaki başarısını yakalayamamıştır. MPA'nın ise en başarısız olduğu fonksiyon F_5 'dir. Bunun dışında MPA F_3 fonksiyonu için 100 boyutluda da I-GWO'dan ve PSO'dan daha başarılı sonuç üretse de optimum çözümü elde edememiştir. Tablodan tek modlu fonksiyonlar için başarı sıralamasının AVOA'nın en başarılı olduğu, I-GWO ve MPA'nın yakın başarılarla sahip olduğu ve PSO'nun sıralamanın sonunda olduğu söylenebilir.

Çok modlu fonksiyonlarda özellikle F_8 'in tahmininde algoritmaların optimum çözümü bulamadığı Tablo 10'dan çıkarılabilir. Tablo 9'daki başarı sıralamasında olduğu gibi AVOA algoritmalar arasında en başarılıdır. Burada özellikle F_9 ve F_{13} fonksiyonları için I-GWO'nun optimum çözümü üretmediği görülebilir. Benzer durum gene F_{13} fonksiyonu için MPA'da da geçerlidir. PSO genel olarak 50 ve 100 boyutta başarı sağlayamamıştır. Bu tablonun başarı sıralaması AVOA, MPA, I-GWO ve PSO olarak verilebilir.

Çalışmamızda Tablo 7'de gösterilen toplamda 9 farklı boyutlu fonksiyon için başarı kıyaslamasına Tablo 11'den incelenebilir. Buradaki her fonksiyonun optimum değerleri farklıdır. F_{14} fonksiyonunda ortalamada AVOA diğer algoritmalarından daha yüksek bir değer ile optimum sonucu elde edememiştir. F_{15} fonksiyonunda en başarılı algoritma tüm koşmalarda optimum değeri yakalayan MPA'dır. Bu fonksiyon için başarı sıralaması yüksekten düşüğe PSO, AVOA ve I-GWO'dur. F_{16} , F_{17} , F_{18} ve F_{19} fonksiyonları için tüm algoritmalar bütün koşmalarda optimum değeri üretebilmişlerdir. F_{20} 'de I-GWO ve MPA, F_{21} 'de AVOA ve MPA optimum değerleri üretebilmiştir. F_{22} ve F_{23} 'de PSO diğer algoritmaların gerisinde kalmıştır.

Algoritmaların yakınsamaları hakkında yorum yapılabilmesi için her bir gruptan ikişer fonksiyonun yakınsama grafikleri çizilmiştir. Tek modlu için F_3 ve F_5 çok modlu için F_8 ve F_{13} ; farklı boyutlu çok modlu için F_{15} ve F_{20} fonksiyonlarının yakınsama grafikleri çizilmiştir. Ortalamalarda farklı algoritmaların başarılı olması nedeniyle bahsedilen fonksiyonlar grafik çiziminde tercih edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da paylaşılmıştır.

Şekil 1 ve Şekil 2'deki her fonksiyon 30, 50 ve 100 boyutlarında çalıştırıldığından sırasıyla bu boyutlardaki yakınsamaları için 3 farklı grafik çizilmiştir. Şekil 4'deki tek modlu her iki fonksiyon için AVOA'nın yakınsama hızının diğer algoritmalarından çok daha fazla olduğu görülebilir. F_3 fonksiyonunda tüm boyutlarda AVOA hızlı yakınsarken 30 ve 50 boyutları için MPA ve I-GWO'nin yakınsama hızı; 100 boyutu için I-GWO ve PSO yakınsama hızı birbirine oldukça yakındır. F_5 fonksiyonunda I-GWO ve MPA ilk 100 iterasyona ulaşmadan bulabildikleri minimum amaç değerine ulaşarak diğer iterasyonlarda kendilerini geliştirememişlerdir. PSO 30 boyutu hariç tüm iterasyonlarda iyileşme sağlasa da diğer algoritmaların gerisinde kalmıştır.

Tablo 9. Tek modlu test fonksiyonları benzetim sonuçları

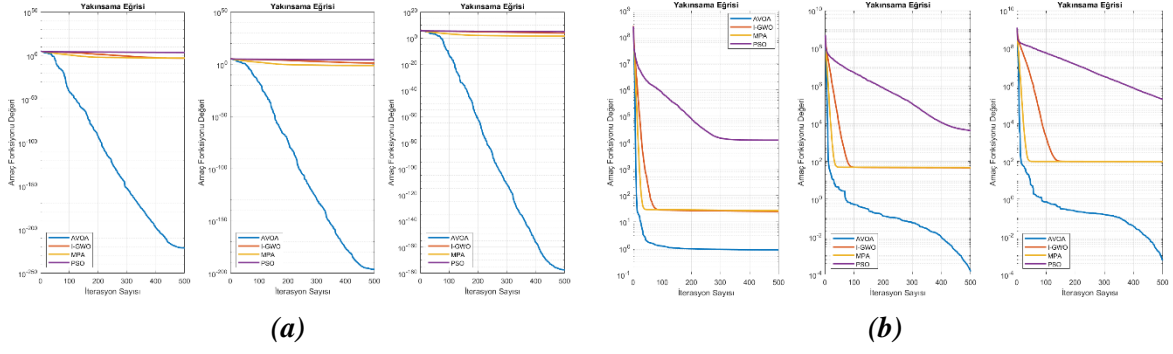
Fonksiyonlar	Algoritmalar	AVOA			I-GWO			MPA			PSO		
	Boyut	30	50	100	30	50	100	30	50	100	30	50	100
F_1	Ortalama	2,55E-293	1,69E-289	2,35E-289	3,45E-28	3,98E-20	2,57E-12	1,11E-23	9,04E-22	3,27E-20	4,76E-03	7,97E+00	3,17E+03
	Standart Sapma	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,61E-28	3,81E-20	2,25E-12	1,32E-23	2,02E-21	3,22E-20	4,94E-03	4,94E+00	6,20E+03
	En İyi	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,95E-30	1,19E-21	4,56E-13	5,01E-27	8,51E-24	6,58E-22	1,75E-04	1,90E+00	4,81E+02
	En Kötü	7,66E-292	5,07E-288	7,05E-288	3,88E-27	1,38E-19	1,03E-11	5,31E-23	1,10E-20	1,35E-19	1,94E-02	2,37E+01	2,09E+04
F_2	Ortalama	2,42E-144	5,58E-146	2,37E-141	6,31E-18	4,52E-13	1,34E-08	1,21E-13	1,26E-12	7,26E-12	2,36E+00	1,22E+01	6,35E+01
	Standart Sapma	1,32E-143	3,05E-145	9,02E-141	4,07E-18	2,34E-13	5,78E-09	1,44E-13	1,39E-12	5,71E-12	4,29E+00	1,42E+01	2,34E+01
	En İyi	1,59E-176	2,23E-175	1,51E-176	5,20E-19	1,26E-13	6,86E-09	1,42E-14	5,57E-14	3,77E-13	2,98E-03	6,31E-01	3,38E+01
	En Kötü	7,25E-143	1,67E-144	3,73E-140	1,91E-17	1,09E-12	3,05E-08	6,40E-13	6,43E-12	2,01E-11	1,00E+01	6,07E+01	1,22E+02
F_3	Ortalama	1,37E-221	6,69E-197	4,45E-178	5,54E-04	1,43E+01	6,61E+03	1,16E-03	5,33E-02	3,27E+01	2,85E+03	2,07E+04	1,01E+05
	Standart Sapma	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,88E-04	1,69E+01	2,97E+03	4,66E-03	6,43E-02	6,75E+01	2,75E+03	6,25E+03	1,83E+04
	En İyi	4,24E-283	8,51E-278	2,09E-270	1,05E-05	9,64E-01	1,53E+03	2,63E-09	5,31E-04	2,91E-01	5,72E+02	1,02E+04	6,49E+04
	En Kötü	4,12E-220	2,01E-195	1,33E-176	5,10E-03	6,80E+01	1,39E+04	2,57E-02	2,87E-01	3,30E+02	1,08E+04	3,73E+04	1,40E+05
F_4	Ortalama	3,41E-146	1,01E-144	5,39E-136	1,77E-05	1,46E-02	4,33E+00	2,95E-09	1,80E-08	1,39E-07	7,14E+00	1,88E+01	4,23E+01
	Standart Sapma	1,80E-145	5,27E-144	2,95E-135	1,85E-05	1,18E-02	2,27E+00	2,23E-09	1,25E-08	8,44E-08	1,50E+00	2,43E+00	3,66E+00
	En İyi	3,19E-178	6,78E-169	2,20E-171	3,03E-06	2,04E-03	8,55E-01	8,05E-10	4,51E-09	2,99E-08	3,64E+00	1,47E+01	3,56E+01
	En Kötü	9,84E-145	2,89E-143	1,62E-134	7,81E-05	5,94E-02	9,72E+00	1,10E-08	5,52E-08	3,19E-07	9,95E+00	2,52E+01	5,37E+01
F_5	Ortalama	8,60E-01	1,47E-04	5,63E-04	2,43E+01	4,55E+01	9,69E+01	2,63E+01	4,73E+01	9,77E+01	1,23E+04	4,33E+03	1,95E+05
	Standart Sapma	4,71E+00	2,53E-04	7,55E-04	3,56E-01	1,31E+00	1,45E+00	4,64E-01	6,74E-01	6,50E-01	3,10E+04	1,64E+04	7,23E+04
	En İyi	1,72E-06	7,33E-06	1,03E-05	2,37E+01	4,41E+01	9,45E+01	2,53E+01	4,61E+01	9,60E+01	2,35E+01	5,44E+02	5,50E+04
	En Kötü	2,58E+01	1,42E-03	3,09E-03	2,51E+01	4,86E+01	9,85E+01	2,74E+01	4,86E+01	9,84E+01	9,01E+04	9,10E+04	3,55E+05
F_6	Ortalama	4,32E-07	1,10E-05	3,46E-04	7,27E-05	1,37E+00	7,88E+00	1,31E-01	1,29E+00	7,64E+00	6,01E-03	6,56E+00	2,84E+03
	Standart Sapma	2,07E-07	6,83E-06	7,71E-04	2,20E-05	4,54E-01	9,21E-01	1,49E-01	3,93E-01	9,31E-01	7,27E-03	4,72E+00	4,02E+03
	En İyi	8,20E-08	1,47E-06	8,46E-06	3,42E-05	2,44E-01	6,36E+00	2,65E-07	4,09E-01	5,37E+00	4,21E-04	1,57E+00	3,72E+02
	En Kötü	8,80E-07	3,33E-05	4,34E-03	1,26E-04	2,02E+00	9,90E+00	5,06E-01	1,96E+00	9,42E+00	3,87E-02	2,21E+01	1,12E+04
F_7	Ortalama	1,75E-04	2,02E-04	1,67E-04	3,02E-03	5,79E-03	1,35E-02	1,57E-03	1,95E-03	2,45E-03	4,67E-02	5,37E-01	6,98E+00
	Standart Sapma	1,72E-04	2,40E-04	1,75E-04	1,38E-03	1,80E-03	4,26E-03	8,63E-04	1,15E-03	1,35E-03	1,95E-02	1,53E+00	9,02E+00
	En İyi	4,47E-07	1,43E-05	2,69E-06	1,17E-03	2,60E-03	5,25E-03	2,44E-04	3,15E-04	4,55E-04	1,31E-02	1,14E-01	9,06E-01
	En Kötü	7,28E-04	1,17E-03	8,70E-04	6,65E-03	9,74E-03	2,32E-02	4,14E-03	4,98E-03	5,77E-03	9,45E-02	8,20E+00	3,67E+01

Tablo 10. Çok modlu test fonksiyonları benzetim sonuçları

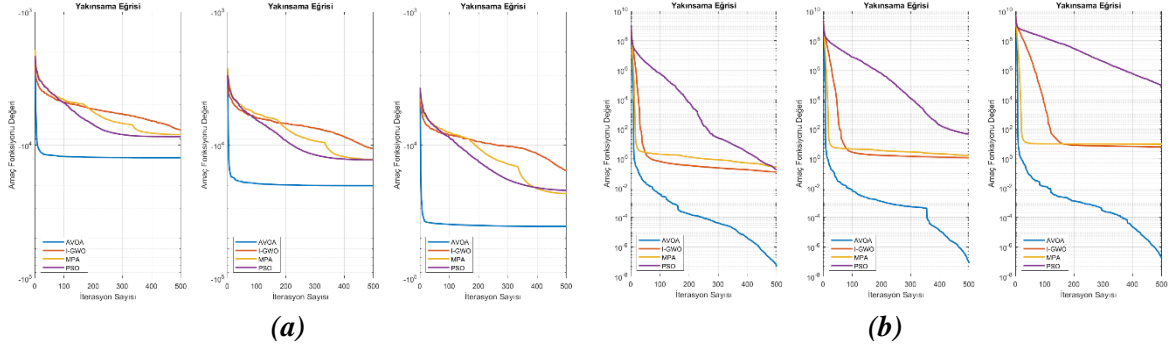
Fonksiyonlar	Algoritmalar	AVOA			I-GWO			MPA			PSO		
	Boyut	30	50	100	30	50	100	30	50	100	30	50	100
F_8	Ortalama	-1,24E+04	-2,02E+04	-4,08E+04	-7,68E+03	-1,07E+04	-1,55E+04	-8,34E+03	-1,28E+04	-2,31E+04	-8,63E+03	-1,29E+04	-2,19E+04
	Standart Sapma	2,74E+02	1,13E+03	1,98E+03	1,60E+03	3,23E+03	5,97E+03	4,85E+02	9,32E+02	1,15E+03	5,21E+02	1,03E+03	1,46E+03
	En İyi	-1,26E+04	-2,09E+04	-4,19E+04	-1,03E+04	-1,58E+04	-2,67E+04	-9,50E+03	-1,48E+04	-2,56E+04	-9,59E+03	-1,47E+04	-2,41E+04
	En Kötü	-1,15E+04	-1,71E+04	-3,42E+04	-5,32E+03	-6,53E+03	-9,41E+03	-6,96E+03	-1,14E+04	-2,08E+04	-7,69E+03	-1,10E+04	-1,81E+04
F_9	Ortalama	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,08E+01	5,08E+01	1,25E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,65E+01	1,35E+02	4,01E+02
	Standart Sapma	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,30E+01	1,72E+01	4,30E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,99E+01	2,99E+01	5,39E+01
	En İyi	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,03E+00	1,85E+01	4,12E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,30E+01	7,70E+01	2,83E+02
	En Kötü	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,44E+02	8,38E+01	2,12E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E+02	1,94E+02	4,94E+02
F_{10}	Ortalama	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	5,69E-14	3,38E-11	1,52E-07	1,13E-12	4,15E-12	1,70E-11	8,33E-01	2,83E+00	7,19E+00
	Standart Sapma	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,89E-15	1,86E-11	5,71E-08	9,31E-13	2,53E-12	1,29E-11	7,40E-01	1,91E+00	2,48E+00
	En İyi	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	3,95E-14	5,24E-12	7,31E-08	6,44E-14	4,66E-13	3,31E-12	6,92E-03	1,50E+00	4,68E+00
	En Kötü	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	7,51E-14	1,04E-10	2,93E-07	4,13E-12	1,14E-11	6,14E-11	2,12E+00	1,26E+01	1,20E+01
F_{11}	Ortalama	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,95E-03	2,59E-03	1,78E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,47E-02	4,03E+00	2,66E+01
	Standart Sapma	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,87E-03	5,64E-03	4,71E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,20E-02	1,64E+01	3,69E+01
	En İyi	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,88E-13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,86E-03	8,79E-01	4,71E+00
	En Kötü	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,98E-02	1,99E-02	1,68E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,22E-02	9,11E+01	1,05E+02
F_{12}	Ortalama	3,76E-08	1,63E-07	6,36E-07	4,39E-03	3,40E-02	2,03E-01	4,10E-03	2,57E-02	9,90E-02	1,74E-01	3,06E+00	1,35E+03
	Standart Sapma	4,91E-08	1,23E-07	5,64E-07	1,89E-02	2,43E-02	5,13E-02	3,92E-03	9,57E-03	2,05E-02	2,57E-01	1,10E+00	2,49E+03
	En İyi	7,65E-09	1,22E-08	5,11E-08	3,72E-06	1,06E-02	1,20E-01	2,82E-05	6,52E-03	6,07E-02	2,02E-05	1,16E+00	7,40E+01
	En Kötü	2,73E-07	6,85E-07	2,74E-06	1,04E-01	1,15E-01	3,39E-01	1,70E-02	4,11E-02	1,41E-01	9,58E-01	5,41E+00	1,32E+04
F_{13}	Ortalama	4,75E-08	8,25E-08	1,62E-07	1,22E-01	1,11E+00	6,07E+00	2,60E-01	1,59E+00	9,22E+00	1,72E-01	4,45E+01	9,25E+04
	Standart Sapma	4,22E-08	8,96E-08	3,27E-07	1,15E-01	2,90E-01	6,75E-01	2,67E-01	7,07E-01	7,42E-01	2,43E-01	1,78E+01	7,16E+04
	En İyi	3,84E-09	3,54E-09	8,27E-09	7,81E-05	5,78E-01	4,78E+00	9,78E-03	5,44E-01	5,76E+00	3,37E-04	1,30E+01	2,60E+04
	En Kötü	1,77E-07	3,68E-07	1,80E-06	3,60E-01	1,82E+00	7,55E+00	1,45E+00	3,58E+00	9,77E+00	9,04E-01	8,29E+01	3,65E+05

Tablo 11. Farklı boyutlu çok modlu test fonksiyonları benzetim sonuçları

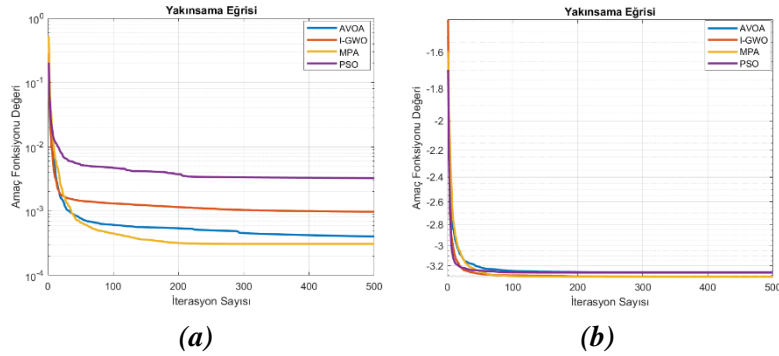
Fonksiyonlar	Algoritmalar	AVOA	I_GWO	MPA	PSO
F_{14}	Ortalama	1,36E+00	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
	Standart Sapma	7,59E-01	2,10E-16	1,27E-16	0,00E+00
	En İyi	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
	En Kötü	2,98E+00	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
F_{15}	Ortalama	4,04E-04	9,77E-04	3,07E-04	3,25E-03
	Standart Sapma	1,27E-04	3,66E-03	1,75E-15	6,89E-03
	En İyi	3,08E-04	3,07E-04	3,07E-04	3,08E-04
	En Kötü	7,41E-04	2,04E-02	3,07E-04	2,26E-02
F_{16}	Ortalama	-1,03E+00	-1,03E+00	-1,03E+00	-1,03E+00
	Standart Sapma	4,40E-16	6,58E-16	4,79E-16	6,52E-16
	En İyi	-1,03E+00	-1,03E+00	-1,03E+00	-1,03E+00
	En Kötü	-1,03E+00	-1,03E+00	-1,03E+00	-1,03E+00
F_{17}	Ortalama	3,98E-01	3,98E-01	3,98E-01	3,98E-01
	Standart Sapma	3,24E-16	0,00E+00	2,07E-14	0,00E+00
	En İyi	3,98E-01	3,98E-01	3,98E-01	3,98E-01
	En Kötü	3,98E-01	3,98E-01	3,98E-01	3,98E-01
F_{18}	Ortalama	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00
	Standart Sapma	5,44E-06	1,96E-15	2,19E-15	1,66E-15
	En İyi	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00
	En Kötü	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00
F_{19}	Ortalama	-3,86E+00	-3,86E+00	-3,86E+00	-3,86E+00
	Standart Sapma	1,11E-12	2,54E-15	2,43E-15	2,65E-15
	En İyi	-3,86E+00	-3,86E+00	-3,86E+00	-3,86E+00
	En Kötü	-3,86E+00	-3,86E+00	-3,86E+00	-3,86E+00
F_{20}	Ortalama	-3,27E+00	-3,32E+00	-3,32E+00	-3,27E+00
	Standart Sapma	6,04E-02	2,15E-02	2,17E-02	7,26E-02
	En İyi	-3,32E+00	-3,32E+00	-3,32E+00	-3,32E+00
	En Kötü	-3,20E+00	-3,20E+00	-3,20E+00	-3,14E+00
F_{21}	Ortalama	-1,02E+01	-9,92E+00	-1,02E+01	-6,40E+00
	Standart Sapma	3,44E-13	9,65E-01	3,61E-11	3,64E+00
	En İyi	-1,02E+01	-1,02E+01	-1,02E+01	-1,02E+01
	En Kötü	-1,02E+01	-5,22E+00	-1,02E+01	-2,63E+00
F_{22}	Ortalama	-1,04E+01	-1,04E+01	-1,04E+01	-8,27E+00
	Standart Sapma	6,91E-13	9,71E-05	1,34E-12	3,36E+00
	En İyi	-1,04E+01	-1,04E+01	-1,04E+01	-1,04E+01
	En Kötü	-1,04E+01	-1,04E+01	-1,04E+01	-2,75E+00
F_{23}	Ortalama	-1,05E+01	-1,05E+01	-1,05E+01	-8,15E+00
	Standart Sapma	4,16E-13	8,64E-09	1,46E-11	3,72E+00
	En İyi	-1,05E+01	-1,05E+01	-1,05E+01	-1,05E+01
	En Kötü	-1,05E+01	-1,05E+01	-1,05E+01	-2,42E+00



Şekil 4. Bazı tek modlu fonksiyonlar için yakınsama grafikleri ((a) F_3 , ((b) F_5)



Şekil 5. Bazı çok modlu fonksiyonlar için yakınsama grafikleri ((a) F_8 , ((b) F_{13})



Şekil 6. Bazı farklı modlu fonksiyonlar için yakınsama grafikleri ((a) F_{15} , ((b) F_{20})

Şekil 5’de F_8 fonksiyonunda AVOA neredeyse ilk 10 iterasyon sonrasında gelişim sağlayamamıştır. MPA süresiz bir yakınsama eğrisine sahiptir. Bu fonksiyon için PSO’da AVOA ile benzer olarak 30 ve 60 boyutları için 300 iterasyondan sonra iyileştirme sağlayamadığı yorumu yapılabilir. F_{13} ’de ise PSO tüm iterasyonlarda iyileştirme sağlamasına rağmen, 50 ve 100 boyutları için diğer algoritmaların gerisinde kalmıştır. Burada I-GWO ve MPA her boyut için farklı olmakla birlikte tüm iterasyonlarında iyileştirme sağlayamadılar. AVOA hem yakınsama hızı ve bulunduğu amaç fonksiyonu değeri açısından diğer algoritmalarından daha başarılıdır.

Şekil 6’da çalışılan fonksiyonlar kendi tanımlandığı tek bir boyut için çalıştırıldığından her fonksiyon için grafik sayısı tektir. F_{15} ’de algoritmaların başarı sıralaması yüksekten düşüğe doğru MPA, AVOA, I-GWO ve PSO’dur. Algoritmaların tamamı yaklaşık 100. iterasyondan sonra gelişim sağlayamamıştır. F_{20} fonksiyonu için de benzer bir durum söz konusudur. Burada algoritmalar 100. iterasyonun çok gerisinde bulabildikleri en iyi değerleri ulaşımlardır. I-GWO ve MPA; AVOA ve PSO’nun amaç fonksiyonu değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Bununla birlikte I-GWO ve MPA’nın daha başarılı olduğu grafikten çıkarılabilir.

D. İSTATİKSEL TEST SONUÇLARI

D. 1. Friedman Testi

Sıralamalı iki yönlü varyans analizi olarak da adlandırılan Friedman testi, parametrik olmayan bir istatistik testidir. Bu testin kullanmasının amacı, çalışmada deneylerini yapılan farklı algoritmaların sonuçlarının tek bir anakütleden mi geldiğini yoksa ayrı anakütlelerden mi geldiğini incelemektir. Diğer bir ifadeyle algoritmaların sonuçları arasında anlamlı fark olup olmadığını test etmektir. Friedman testini yapabilmek için deneylerde kullanılan toplam 23 fonksiyonun tüm koşullar için sonuçları birleştirildi. 4 farklı algoritma için her bir sütun bir algoritmanın sonucunu ifade etmek üzere toplamda $23 * 30 = 690$ satır, 4 sütun büyüklüğünde bir örneklem elde ettik. Friedman testi, sütun etkilerinin hepsinin aynı olduğu sıfır hipotezini, hepsinin aynı olmadığı alternatifine karşı test ederek p değeri hesaplar. Test sonucunda p değerini $5.09E-70$ olarak hesaplandı. Bu değer, sonuçların başarısının sadece rastgelelikten değil, algoritmanın farklı olmasından da kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle ikinci bir test olan Wilcoxon Tek Kuyruklu İşaretli Sıralar Testi'ni de gerçekleştirilmiş ve diğer alt bölümde sunulmuştur.

D. 2. Wilcoxon Tek Kuyruklu İşaretli Sıralar Testi

Benzetim sonuçları ve yakınsama grafikleri birlikte değerlendirildiğinde AVOA ve MPA'nın diğer algoritmalara nazaran daha başarılı olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu algoritmalarla diğerleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı 0,05 anlamlılık düzeyinde diğer boyutlarda benzer başarılarla sahip olduğundan F_1 ve F_{13} arasındaki tüm fonksiyonlar için 30 boyutlu değerleri kullanılarak test yapılmıştır. Wilcoxon tek kuyruklu işaretli sıralar testi yapılarak değerlendirilmiştir. Tüm koşulların ortalama değerleri üzerinden AVOA ve MPA için gerçekleştirilen istatistiksel test sonuçları Tablo 12'de paylaşılmıştır. Tabloda belirtilen h 'ın 1'e eşit olması H_0 hipotezinin reddedileceği anlamına gelir. Diğer bir deyişle algoritmanın ortalamalarının kıyaslanan algoritmanın ortalamalarından daha küçük olduğu anlamına gelir.

Tablo 12'deki istatistiksel test sonuçları değerlendirildiğinde AVOA'nın 16 fonksiyonda I-GWO'dan, 14 fonksiyonda MPA'dan ve 15 fonksiyonda PSO'dan daha düşük ortalama değerleri ile daha başarılı olduğu görülmektedir. MPA kıyaslamalarında ise 5 fonksiyonda AVOA'dan, 9 fonksiyonda I-GWO'dan, 12 fonksiyonda PSO'dan daha iyi sonuçlara sahiptir. F_9 , F_{11} , F_{16} ve F_{22} fonksiyonları için AVOA ve MPA algoritmaları birbirlerine üstünlük sağlayamamıştır.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada son yıllarda önerilmiş AVOA, I-GWO ve MPA'nın temel bir metasezgisel olan PSO ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Her bir metasezgisel ile ilgili açıklayıcı bilgiler okuyuculara sunulmuştur. Bildiğimiz kadarıyla literatürde bu metasezgiseller ilk kez kıyaslanmaktadır. Deneylerde, 23 farklı test fonksiyonu kullanılmıştır. Algoritmalar farklı performans kriterleri ile karşılaştırıldığında AVOA ve MPA'nın diğerlerine kıyasla daha üstün başarı gösterdiği anlaşılmıştır. Başarısının anlamlı olup olmadığı Wilcoxon işaretli sıralar testi yapılarak analiz edilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar birlikte yorumlandığında bu dört metasezgisel algoritmanın başarısı sırasıyla AVOA, MPA, I-GWO ve PSO sonucuna varılabilir.

Tablo 12. Wilcoxon istatiksels test sonuqlari

Fonksiyonlar	AVOA-I-GWO		AVOA-MPA		AVOA-PSO		MPA-AVOA		MPA-I-GWO		MPA-PSO	
	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	<i>h</i>
F_1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0	9,13E-07	1
F_2	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0	9,13E-07	1
F_3	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,01E-01	0	9,13E-07	1
F_4	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	9,13E-07	1	9,13E-07	1
F_5	1,01E-06	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0	2,74E-06	1
F_6	9,13E-07	1	1,01E-06	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0
F_7	9,13E-07	1	1,12E-06	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,67E-06	1	9,13E-07	1
F_8	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	2,79E-02	1	9,91E-01	0
F_9	9,13E-07	1	1,00E+00	0	9,13E-07	1	1,00E+00	0	9,13E-07	1	9,13E-07	1
F_{10}	8,33E-07	1	9,12E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0	9,13E-07	1
F_{11}	3,91E-03	1	1,00E+00	0	9,13E-07	1	1,00E+00	0	3,91E-03	1	9,13E-07	1
F_{12}	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	9,99E-01	0	8,25E-04	1
F_{13}	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	1,00E+00	0	9,98E-01	0	9,81E-01	0
F_{14}	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,95E-03	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0
F_{15}	1,00E+00	0	1,00E+00	0	6,21E-04	1	9,13E-07	1	9,13E-07	1	9,12E-07	1
F_{16}	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0
F_{17}	1,00E+00	0	3,91E-03	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0
F_{18}	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	9,13E-07	1	9,92E-01	0	1,00E+00	0
F_{19}	1,00E+00	0	1,00E+00	0	1,00E+00	0	9,59E-06	1	1,00E+00	0	1,00E+00	0
F_{20}	9,98E-01	0	1,00E+00	0	8,71E-01	0	3,45E-04	1	2,69E-01	0	4,92E-01	0
F_{21}	9,13E-07	1	7,05E-05	1	4,46E-03	1	1,00E+00	0	3,33E-06	1	4,49E-03	1
F_{22}	9,13E-07	1	3,41E-01	0	3,71E-01	0	6,67E-01	0	9,13E-07	1	3,33E-01	0
F_{23}	1,24E-06	1	8,96E-03	1	4,92E-01	0	9,92E-01	0	1,24E-06	1	3,88E-01	0

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Dokeroglu, E. Sevinc, T. Kucukyilmaz, and A. Cosar, "A survey on new generation metaheuristic algorithms," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 137, no. 5, 2019.
- [2] F. S. Gharehchopogh, H. Shayanfar, and H. Gholizadeh, "A comprehensive survey on symbiotic organisms search algorithms," *Artificial Intelligence Review*, vol. 53, no. 56, pp. 1–48, 2020.
- [3] K. Hussain, M. N. M. Salleh, S. Cheng, and Y. Shi, "Metaheuristic research: a comprehensive survey," *Artificial Intelligence Review*, vol. 52, no. 4, pp. 2191–2233, 2019.
- [4] V. Stojanovic, S. He, and B. Zhang, "State and parameter joint estimation of linear stochastic systems in presence of faults and non-Gaussian noises," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 30, no. 16, pp. 6683–6700, 2020.
- [5] B. Abdollahzadeh, and F. S. Gharehchopogh, "A multi-objective optimization algorithm for feature selection problems," *Engineering with Computers*, pp. 1–19, 2021.

- [6] F. S. Gharehchopogh, I. Maleki, and Z. A. Dizaji, "Chaotic vortex search algorithm: Metaheuristic algorithm for feature selection," *Evolutionary Intelligence*, pp. 1–32, 2021.
- [7] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 1995, pp. 1942–1948.
- [8] C. W. Cleghorn, and B. Stapelberg, "Particle swarm optimization: stability analysis using n-informers under arbitrary coefficient distributions," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 71, 2022.
- [9] P. Hu, J.S. Pan, S. C. Chu, and C. Sun, "Multi-surrogate assisted binary particle swarm optimization algorithm and its application for feature selection," *Applied Soft Computing*, vol. 121, 2022.
- [10] X. Chen, and K. Li, "Collective information-based particle swarm optimization for multi-fuel CHP economic dispatch problem," *Knowledge-Based Systems*, vol. 248, 2022.
- [11] P. B. Fernandes, R. C. L. Oliveira, and J. F. Neto, "Trajectory planning of autonomous mobile robots applying a particle swarm optimization algorithm with peaks of diversity," *Applied Soft Computing*, vol. 116, 2022.
- [12] F. Wang, X. Wang, and S. Sun, "A reinforcement learning level-based particle swarm optimization algorithm for large-scale optimization," *Information Sciences*, vol. 602, pp. 298-312, 2022.
- [13] B. Abdollahzadeh, F. S. Gharehchopogh, and S. Mirjalili, "African vultures optimization algorithm: A new nature-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 158, 2021.
- [14] H. A. Bagal, Y. N. Soltanabad, M. Dadjuo, K. Wakil, M. Zare, and A. S. Mohammed, "SOFC model parameter identification by means of Modified African Vulture Optimization algorithm," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 7251-7260, 2021.
- [15] Y. Wang, S. Li, H. Sun, C. Huang, and N. Youssefi, "The utilization of adaptive African vulture optimizer for optimal parameter identification of SOFC," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 551-560, 2022.
- [16] Y. Chen, and G. Zhang, "New parameters identification of Proton exchange membrane fuel cell stacks based on an improved version of African vulture optimization algorithm," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 3030-3040, 2022.
- [17] M. Alanazi, A. Fathy, D. Yousri, and H. Rezk, "Optimal reconfiguration of shaded PV based system using African vultures optimization approach," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 12, pp. 12159-12185, 2022.
- [18] Y. Wang, J. Wang, L. Yang, B. Ma, G. Sun, and N. Youssefi, "Optimal designing of a hybrid renewable energy system connected to an unreliable grid based on enhanced African vulture optimizer," *ISA Transactions*, 2022.
- [19] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey wolf optimizer," *Advances in Engineering Software*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [20] M. H. Nadimi-Shahraki, S. Taghian, and S. Mirjalili, "An improved grey wolf optimizer for solving engineering problems," *Expert Systems with Applications*, vol. 166, 2021.




- [21] D. Hua, X. Liu, S. Sun, Z. Li, Z. Li and W. Li, "Precise locomotion controller design for a novel magnetorheological fluid robot based on improved gray wolf optimization algorithm," *Smart Materials and Structures*, vol. 30, no. 2, 2021.
- [22] A. Faramarzi, M. Heidarinejad, S. Mirjalili, and A. H. Gandomi, "Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic," *Expert Systems with Applications*, vol. 152, 2020.
- [23] M. Abd Elaziz, D. Mohammadi, D. Oliva, and K. Salimifard, "Quantum marine predators algorithm for addressing multilevel image segmentation," *Applied Soft Computing*, vol. 110, 2021.
- [24] Z. Xing, and Y. He, "Many-objective multilevel thresholding image segmentation for infrared images of power equipment with boost marine predators algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 113, 2021.
- [25] A. S. Sadiq, A. A. Dehkordi, S. Mirjalili, and Q. V. Pham, "Nonlinear marine predator algorithm: A cost-effective optimizer for fair power allocation in NOMA-VLC-B5G networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 203, 2022.
- [26] M. H. Hassan, D. Yousri, S. Kamel, and C. Rahmann, "A modified marine predators algorithm for solving single-and multi-objective combined economic emission dispatch problems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 164, 2022.
- [27] E. H. Houssein, I. E. Ibrahim, M. Kharrich, and S. Kamel, "An improved marine predators algorithm for the optimal design of hybrid renewable energy systems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 110, 2022.
- [28] X. Yao, Y. Liu, and G. Lin, "Evolutionary programming made faster," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 2, pp. 82-102, 1999.
- [29] S. Saremi, S. Mirjalili, and A. Lewis, "Grasshopper optimisation algorithm: theory and application," *Advances in Engineering Software*, vol. 105, pp. 30-47, 2017.
- [30] F. Miarnaeimi, G. Azizyan, and M. Rashki, "Horse herd optimization algorithm: a nature-inspired algorithm for high-dimensional optimization problems," *Knowledge-Based Systems*, vol. 213, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yaprak Alanı Özelliklerine Farklı Dönemlerde Yapılan Yaprak Alma ve Salkım Seyreltme Uygulamalarının Etkileri

 İlknur KORKUTAL ^{a,*},  Elman BAHAR ^b,  Serhan AZSÖZ ^c

^a Bahçe Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE

^b Bahçe Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE

^c TÜRAM Tarım Lisesi, Gümüşyaka Merkez Mahallesi, 34580 Silivri-İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ikorkutal@nku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1177862

ÖZ

Bağda verim ve yaprak alanı arasında bir denge oluşturulmalıdır. Taç yönetimi uygulamaları içinde bulunan yaprak alma ve salkım seyreltme; bağda ürün yükü ve verim arasındaki dinamik ilişkiyi düzenlemede etkili bir araçtır. Bu uygulamalar ve yapılma zamanlarının yaprak alanı özelliklerine etkileri Tekirdağ ilinde bulunan 110R anacına aşılı Michele Palieri omcalarından oluşan bağda denenmiştir. Araştırma; ardisık iki vejetasyon periyodunda gerçekleştirilmiştir. Üç uygulama zamanı; Tane Tutumu, İri Koruk, Ben Düşme ile 4 farklı uygulama; Kontrol, salkım seyreltme, yaprak alma ve salkım seyreltme-yaprak alma yapılmıştır. Yaprak alanı özelliklerini ortaya koymak amacıyla: ortalama ana yaprak ve koltuk yaprak alanı, omca başına ana yaprak ve koltuk yaprak alanı, omca başına toplam yaprak alanı, bir kg üzüme düşen gerçek yaprak alanı, doğrudan güneş gören yaprak alanı, bir kg üzüme düşen güneş gören yaprak alanı belirlenmiştir. Salkım seyreltme uygulaması ortalama ana ve koltuk yaprak alanı, omca başına ana ve koltuk yaprak alanını artırmıştır. Ayrıca salkım seyreltme-yaprak alma uygulaması; bir kilogram üzüme düşen gerçek yaprak alanı, doğrudan güneş gören yaprak alanı, bir kilogram üzüme düşen güneş gören yaprak alanını artırmıştır. Sonuç olarak; Tekirdağ'da Michele Palieri üzüm çeşidinde kaliteli ürün ve dolayısıyla yüksek gelir elde edilebilmesi için İri Koruk veya Tane Tutumu dönemlerinde salkım seyreltme veya salkım seyreltme-yaprak alma uygulamaları önerilebilir bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yaprak alma, Salkım seyreltme, Sofralık üzüm, *Vitis vinifera L.*, Yaprak alanı özellikleri

The Effects of Leaf Removal and Cluster Thinning Applications at Different Periods on Leaf Area Properties

ABSTRACT

A balance must be established between yield and leaf area in the vineyard. Leaf removal and cluster thinning in canopy management applications; it is an effective tool in regulating the dynamic relationship between crop load and yield. The effects of these applications and the times were investigated in the vineyard consisting of Michele Palieri vines grafted on 110R rootstock in Tekirdag. Leaf removal and cluster thinning applications on vines were made at different growth stages and it was aimed to determine their effects on leaf area characteristics. The study was carried out in two consecutive vegetation periods. There were 3 application periods; Berry Set, Bunch Closure, Veraison and 4 different applications; Control, Cluster Thinning, Leaf Removal, Leaf Removal-Cluster Thinning in the study. Following measurements were done to determine the leaf area characteristics; mean main

and mean lateral shoot leaf area, main and lateral shoot leaf area per vine, total leaf area per vine, leaf area/per kg grape, sun exposed leaf area, sun exposed leaf area per kg grape. As a result of the experiment, Cluster Thinning application increased the mean main and lateral leaf area, and the main and lateral leaf area per vine. In addition, the Leaf Removal-Cluster Thinning application; leaf area per kilogram of grape, sun exposed leaf area, sun exposed leaf area per kg grape increased. In order to high quality and income in Michele Palieri cultivar; Cluster Thinning or Cluster Thinning and Leaf Removal application in Bunch Closure or Berry Set periods in Tekirdag province can be recommended.

Keywords: Leaf removal, Cluster thinning, Vitis vinifera L., Table grapes, Leaf area characteristics

I. GİRİŞ

Bağda ürün yükü ve verim arasındaki ilişki dinamik bir süreçtir [1] ve bağda verim ile yaprak alanı arasında bir denge oluşturulmalıdır [2, 3]. Bu amaçla yapılan uygulamalara taç yönetimi uygulamaları adı verilmektedir [4]. Çevre faktörlerinden iklim, üzüm kalitesini belirlemede büyük etki yapmaktadır. Ancak kaliteye üzüm çeşidi ve bağcılık uygulamalarının da etkide bulunduğu unutulmamalıdır. Salkım seyreltme ve yaprak alma kaliteyi artırmak amacıyla en çok uygulanan kültürel işlemlerdir [5].

Salkım bölgesinden yaprak alma; kışlık göz gelişimini destekleyerek, tane tutumundan sonra salkımın güneşlenmesini sağlamakta ve renkli üzüm çeşitlerinde renk oluşumu ile beraber kalitesini artırmaktadır [6]. Yaprak alma ile taç içindeki salkımların havalanması sağlanarak, yaprakların fotosentez kabiliyetlerinin artırılması ve dolayısıyla homojen olgunlaşma gerçekleştirilmektedir [7]. Bilindiği üzere bitki üzerindeki yaprakların fizyolojik yaşları farklıdır ve genç yapraklar yaşlı yapraklardan daha fazla fotosentez kapasitesine sahiptir [8]. Kliwer ve Dokoozlian [9] omca salkım yükünün, büyük ölçüde toplam yaprak alanı ve doğrudan güneşlenen yaprak alanı ile ilgili olduğunu belirlemişler ve bir kilogram üzümü olgunlaştırmak için 0.8-1.2 m²/kg arasında yaprak alanı gerektiğini vurgulamışlardır. Müşküle çeşidinde bulunan yaprakların %25'ini alma, kontrol ve %50'sini almaya oranla omca başına verimi artırmış [10]; Yuvarlak Çekirdeksiz çeşidinde yaprak alma oranının artmasıyla (%40 ve %60) omca başına verimin azaldığı Kader [11] tarafından bildirilmiştir. Çiçeklenme ve tane tutumunda dip gözlerden yaprak alan Beslic ve ark. [12] verim kaybı yaşamışlardır. Doral çeşidinde çiçeklenmede yaprak almanın, üzüm yükünü dengelemede; salkım seyreltmeye alternatif olarak kullanılabilceği belirtilmiştir [13]. Öte yandan Suklje ve ark. [14] toplam yaprak alanı ve verimin pozitif ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Salkım seyreltme ile salkım/çiçek oranı baskılanır [15] ve omcanın az salkım taşıması özümlemeyi iyileştirerek kalite artışı sağlar. Salkım seyreltme; omcanın üretim merkezi - tüketim merkezi dengesi üzerinde etkilidir [16]. Taç ve salkımlara daha fazla hava ve güneş ışığının girişi salkım seyreltme ile sağlanabilir [17]. Salkım seyreltmenin dönemi [18] ve oranı düzenlenebilir [19]. Narince çeşidinde yapılan salkım seyreltmenin verimde azalmaya neden olduğu, ancak kontrole göre salkım ağırlığının arttığı belirlenmiştir [20]. Ayrıca Syrah çeşidinde yaprak alma verimi etkilememiş; salkım seyreltme ise verimi azaltmıştır [21]. Benzer şekilde Pinot Noir üzüm çeşidinde farklı zamanlarda gerçekleştirilen salkım seyreltme verim azalışına sebep olmuş; öte yandan kaliteyi artırmıştır [22].

Yukarıda verilen literatür bilgilerinin ışığında omca verim ve kalitesinin yaprak alanı özelliklerinden etkilendiği görülmüştür. Ayrıca salkım seyreltmeyle gerçekleşen verim azalmasının yaprak alanı özelliklerini değiştirip değiştirmediği saptanmıştır. Asmaların erken veya geç gelişme döneminde yapılan asma taç yönetimi uygulamalarından etkilendiği bilinmektedir. Bu araştırmada; üç farklı dönemde gerçekleştirilen yaprak alma ve salkım seyreltme uygulamalarının yaprak alanı özelliklerine ne şekilde etki yaptığı detaylı olarak incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

Araştırma ardışık iki vejetasyon döneminde Michele Palieri çeşidinin 110R anacına aşılınmasıyla tesis edilmiş olan Tekirdağ ilindeki bağda yürütülmüştür. Michele Palieri üzüm çeşidi dünyada sofralık üzüm ticaretine konu olan; 1958 yılında İtalya'da melezlenmiş (Molinera X Alphonse Lavallee) bir üzüm çeşididir. Ortalama salkım ağırlığı 600-800 g olan çeşit, orta erkenci, mor siyah renkte ve oldukça iri tanelere (9-10 g) sahiptir.

On yaşındaki bağda 2.5 x 1.5m sıra arası ve üzeri mesafeyle dikilmiş omcalar kullanılmıştır. Bu omcalara büyük T şekli verilmiştir ve gövde yüksekliği 160 cm olarak düzenlenmiştir. Ayrıca T genişliği 170 cm'dir. Araştırmada kullanılan omcaların yenileme ve ürün dalı sayılarının eşit olmasına özen gösterilmiştir. Sıranın baş ve sonlarında kenar etkisini önlemek amacıyla deneme dışı omcalar bırakılmıştır. Sürgünler 110-115 cm olduğunda, yaklaşık 23 sürgün ve 33 salkım olacak şekilde eşitleme yapılmıştır.

Deneme tesisinde (ilk yıl) omcalara kış budaması yapılmış, aynı budama ikinci yıl da tekrarlanmıştır. Daha sonra gelişme döneminde standart olarak yapılan tüm kültürel işlemler deneme omcalarına da aynı şekilde yapılmıştır. Bu kültürel işlemler; sonbahar döneminde taban gübresi verilmesi, gelişme döneminde damla sulama sistemi ile temel gübreleme, ayrıca görülen besin noksanlıklarına yönelik yaprak gübrelemesidir. Sonbaharda yaprak dökümünden sonra ve ilkbaharda uyanmadan önce bordo bulamacı uygulanmıştır. Gelişme döneminde de salkım güvesi için insektisit; külleme ve mildiyö için de fungusitlerle ilaçlama yapılmıştır. Damla sulama sistemi ile su verilmemiş, omcalar su ihtiyacını gerçekleştiren yağışlarla karşılamıştır.

B. YÖNTEM

Tesadüf Blokları deneme deseni seçilmiş (3 tekerrür X her tekerrürde 2 omca X 3 dönem X 4 taç yönetimi uygulaması) ve toplam 72 omca ile deneme tesis edilmiştir.

Denemede yer alan üç dönem;

Tane Tutumu (EL 27): 06 Haziran 2018 ile 15 Haziran 2019

İri Koruk (EL 31): 26 Haziran 2018 ile 05 Temmuz 2019

Ben Düşme (EL 35): 25 Temmuz 2018 ile 03 Ağustos 2019 tarihlerindedir [23].

Taç yönetimi uygulamaları dört adettir;

Kontrol (U1): Uygulama yapılmamış omcalardır.

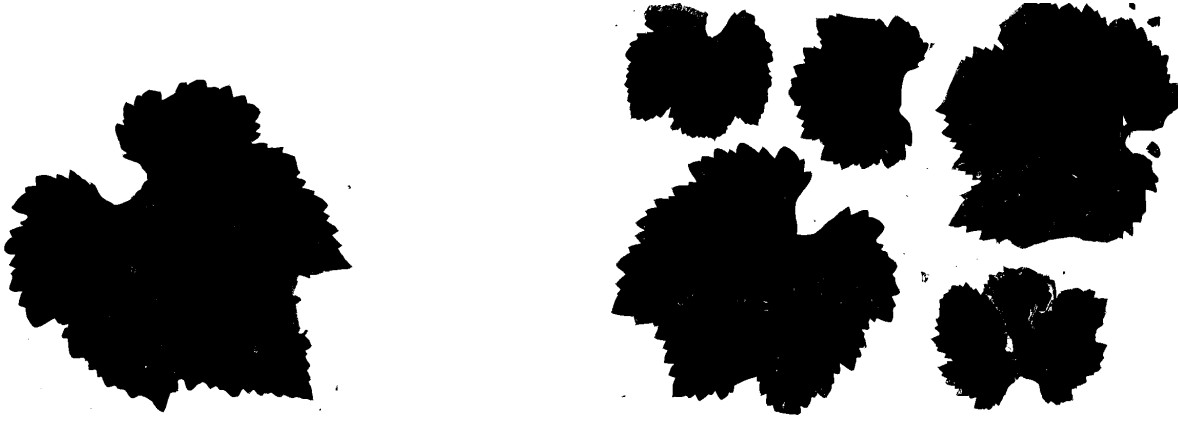
Salkım Seyreltme (U2): Omca üzerindeki salkımların yarısı belirtilen üç gelişme döneminde kesilmiş ve bağdan uzaklaştırılmıştır.

Yaprak Alma (U3): Sürgün üzerinde salkıma kadar olan yapraklar alınmış ve koltuk sürgünlerinde ise ilk üç-dört yaprak bırakılmıştır. Belirtilen gelişme dönemlerinde bu işlem gerçekleştirilmiştir.

Yaprak Alma-Salkım Seyreltme (U4): Yukarıda belirtildiği şekilde salkım seyreltme ve yaprak alma (üç gelişme döneminde) birlikte yapılmıştır.

B. 1. Araştırmada İncelenen Kriterler

Denemede 2018 ve 2019 vejetasyon periyotlarında meteorolojik veriler Tekirdağ Süleymanpaşa Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır. Yaprak özelliklerini belirlemek için hasattan sonra uygulama gruplarına göre 72 omcada bulunan 2 sürgündeki ana ve koltuk yaprakları toplanmış, bilgisayar yardımıyla siyah-beyaz olarak tarandıktan sonra (Şekil 1) Fläeche programı [24] ile yaprak alanları belirlenmiştir.



Şekil 1. Scanner ile taranmış ana ve koltuk yapraklar.

Bu şekilde ortalama ana yaprak alanı (cm²) ve ortalama koltuk yaprak alanı (cm²) kaydedilmiştir. Buradan omca başına ana yaprak alanı (m²/omca) ve omca başına koltuk yaprak alanı (m²/omca) belirlenmiştir [25, 26].

$$\begin{aligned} & \text{Omca başına toplam yaprak alanı (m}^2\text{/omca)} \\ & = \text{Omca başına ana yaprak alanı} + \text{Omca başına koltuk yaprak alanı (1)} \end{aligned}$$

toplanarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} & \text{Bir kilogram üzüm düşen gerçek yaprak alanı (cm}^2\text{/omca)} \\ & = \text{Omca başına toplam yaprak alanı} / \text{omca başına verim (2)} \end{aligned}$$

formülünden elde edilmiştir [26].

Doğrudan güneş gören yaprak alanı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$DGVA \text{ (m}^2\text{/da)} = (1000/E) \times (1 - t/D) \times (EA) \text{ (3)}$$

E=Sıra arası mesafesi (m), 1-t/D=Taçtaki boşluk mesafesi, EA=Bir metre sırada güneş gören yaprak alanını (m²/m) göstermektedir [27].

$$\begin{aligned} & \text{Bir kilogram üzüm düşen güneş gören yaprak alanı} \\ & = \text{Doğrudan güneş gören yaprak alanı (m}^2\text{/da)} / \text{dekara verim} \left(\frac{\text{kg}}{\text{da}} \right) \text{ (4)} \end{aligned}$$

formülünden elde edilmiştir [27]. Verim değerleri Korkutal ve ark. [28]'dan alınarak bazı hesaplamalarla gerçekleştirilmiştir.

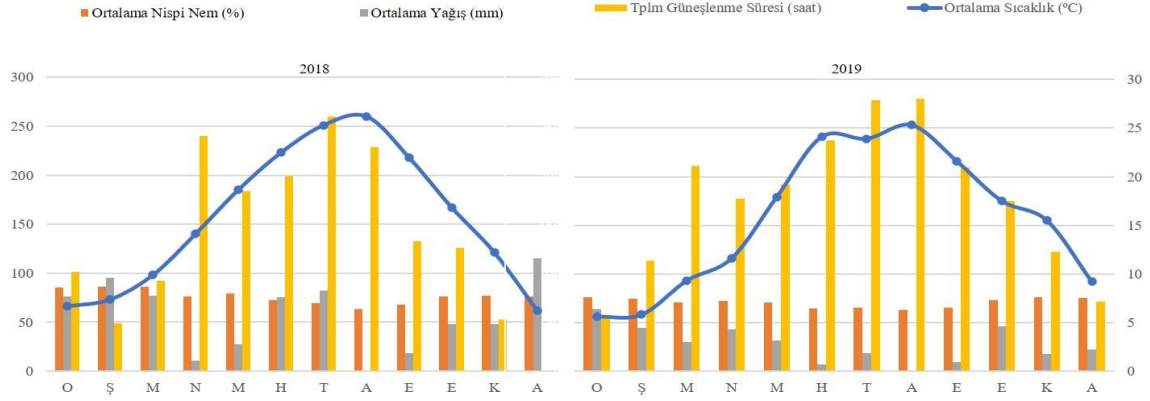
B. 2. İstatistik Analiz

Alınan verilerin değerlendirilmesinde istatistik programı olarak JMP 13.2 (JMP Statistical Discovery LLC, UK) kullanılmıştır. Yıllar, uygulamalar ve dönemler bakımından faktöriyel varyans analizi yapılmıştır. Bu gruplar arasında oluşan farklı grupları belirlemede LSD (Asgari Önemli Fark) kullanılmıştır. Bu değerlendirmeler her kriter için iki yılın verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistik anlamlılık düzeyi olarak %5 seçilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İklim verileri

Bağa ait sıcaklık, nispi nem, yağış ve güneşlenme verileri Tekirdağ Süleymanpaşa Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır (Şekil 2).

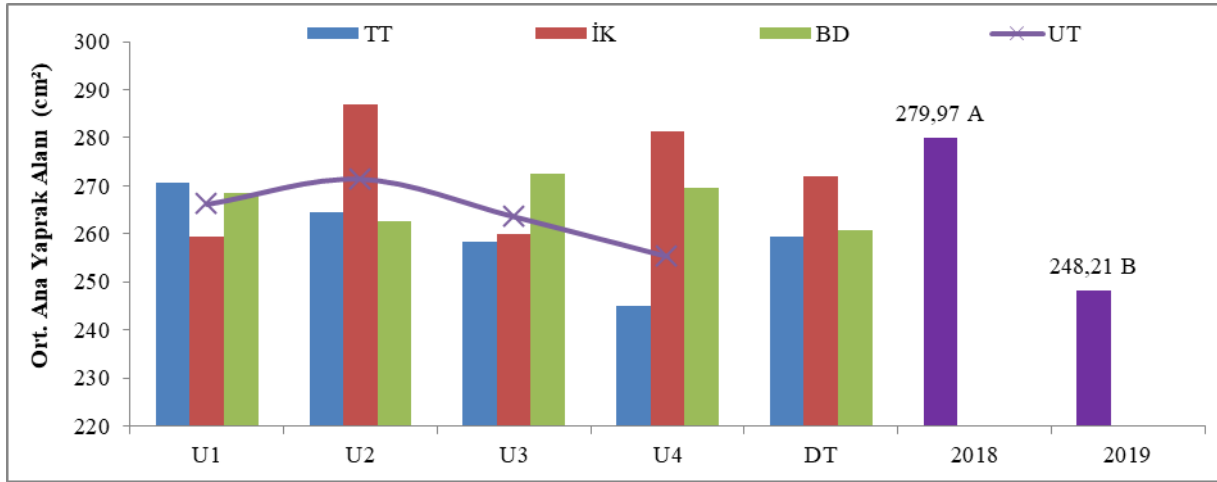


Şekil 2. Tekirdağ 2018 ve 2019 yıllarına ait iklim verileri.

Tekirdağ Süleymanpaşa merkez ilçede 2018 ve 2019 yıllarında en yüksek sıcaklık ortalaması ağustos ayına ait olmuştur (26°C ve 25.3°C). Sıcaklık açısından yıl ortalamaları incelendiğinde sırasıyla 15.53°C ve 15.61°C olduğu görülmüştür. 2018 yılı nispi nem değerleri %63.10 ile %86.10 arasında; 2019 yılı değerleri ise %62.70 ile %76.30 arasında değişmiştir. Yıllar bazında ortalama nispi nem değerleri sırasıyla %76.26 ve %70.49 olmuştur. 2018 yılı nispi nem değerleri 2019 yılından daha yüksek bulunmuştur. Yağış açısından incelendiğinde her iki yılda da ağustos ayında yağışın gerçekleşmediği belirlenmiştir. 2018 yılı daha yağışlı geçen yıl olmuştur. Vejetasyon dönemi güneşlenme süresi sırasıyla 1359.6 saat ve 1540.1 saat olarak kaydedilmiştir.

Ortalama Ana Yaprak Alanı (cm²)

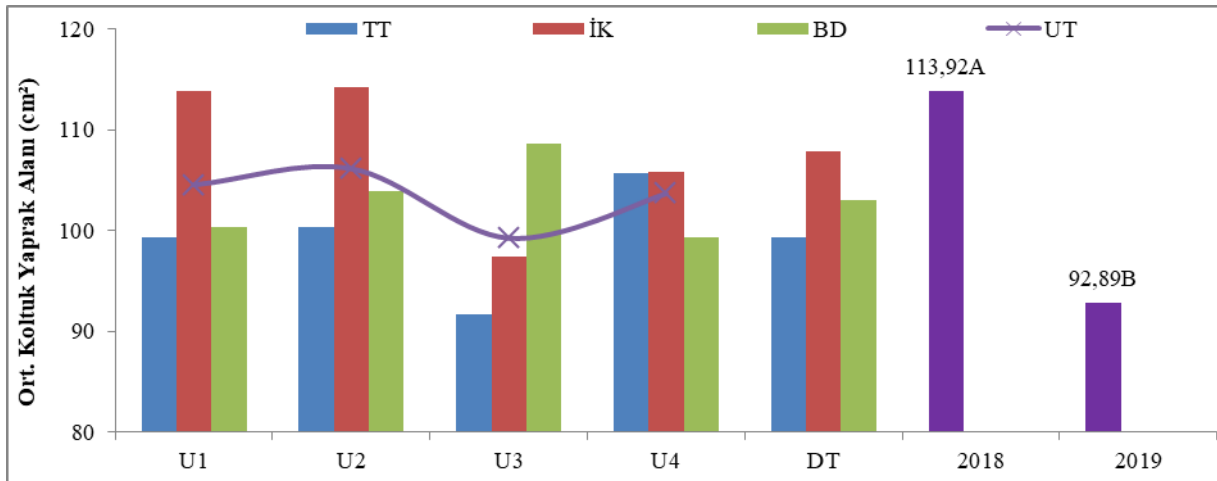
Veriler incelendiğinde Yıl Ana Etkisi (YT)'nin önemli; UT (Uygulama Ana Etkisi) ve DT (Dönem Ana Etkisi)'nin önemsiz olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). YT açısından incelendiğinde, yağışlı geçen 2018 yılının (279.97 cm²), 2019 yılından (248.21 cm²) düşük ortalama ana yaprak alanı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Merlot üzüm çeşidinde yaprak almanın ortalama ana yaprak alanını azalttığı, en yüksek yaprak alanı değerinin Kontrol'den alındığı Candar [29] tarafından belirlenmiştir. Bu çalışmada ise yaprak alma ve salkım seyreltme uygulamalarının ortalama ana yaprak alanına istatistik olarak önemli etkide bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu farkın çeşitten kaynaklandığı düşünülmüştür.



Şekil 3. Ortalama ana yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi.
YT LSD %5=15.77

Ortalama Koltuk Yaprak Alanı (cm²)

Veriler incelendiğinde Yıl Ana Etkisi istatistik olarak LSD %5 seviyesinde önemlidir. Ancak Dönem Ana Etkisi ve Uygulama Ana Etkisi istatistik olarak önemli değildir. Ortalama koltuk yaprak alanı yağışlı geçen 2018 yılında 113.92 cm² değeriyle 2019 yılından (92.89 cm²) daha yüksek olduğu bulgusu Candar [29] ile benzer bulunmuştur. Uygulama Ana Etkisi açısından büyük değerden küçüğe U2 (106.16 cm²), U1 (104.55 cm²), U4 (103.67 cm²) ve U3 (99.25 cm²) şeklinde sıralandığı, ancak bunun istatistik olarak önemli olmadığı kaydedilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Ortalama koltuk yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi.
YT LSD %5=8.11

Omca Başına Ana Yaprak Alanı (m²/omca)

Omca başına yaprak alanı bakımından Yıl Ana Etkisi ve Uygulama Ana Etkisi istatistik açıdan önemli; Dönem Ana Etkisi'nin önemsiz olduğu görülmüştür (Tablo 1). Yaprak ve salkım seyreltme uygulamalarının etkisi Yıl Ana Etkisi açısından incelendiğinde yağışlı geçen 2018 yılının 8.04 m²/omca değerini alarak omca başına ana yaprak alanı açısından 2019 yılının (7.14 m²/omca) önüne geçtiği belirlenmiştir. Bu bulgunun Candar [29] ile uyum içinde olduğu kaydedilmiştir. UT incelendiğinde ilk önem grubunda U2 uygulaması (8.16 m²/omca), ikinci önem grubunda U1 (7.56 m²/omca) ve U3 (7.64 m²/omca) yer alırken, son önem grubunda U4 (7.03 m²/omca) uygulaması yer

almıştır. Buradan hareketle Salkım Seyreltme (U2) uygulamasının omca başına ana yaprak alanını artırdığı görülmüştür.

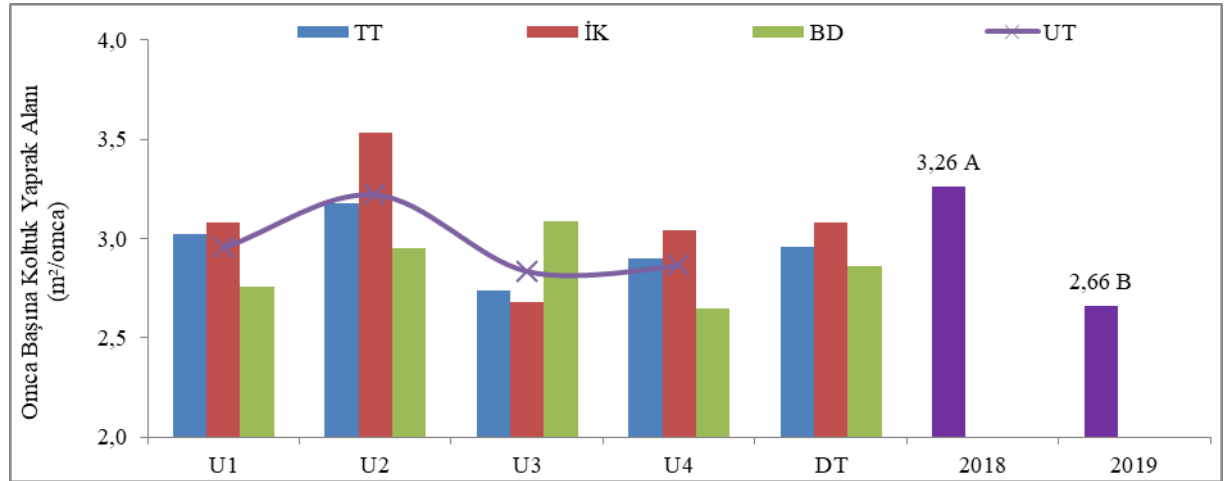
Tablo 1. Omca başına ana yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi ($m^2/omca$).

Dönem	Yıl	Uygulama				Ana Etki		
		U1	U2	U3	U4	DT	YT	
Tane Tutumu	2018	9.81	8.66	7.50	7.47			
	2019	6.67	8.14	8.86	5.81	7.87		
	Yıl Ort.	8.24	8.40	8.18	6.64			
İri Koruk	2018	7.69	8.43	6.94	8.39		8.04 A	7.14 B
	2019	6.43	9.12	7.42	7.64	7.76	(2018)	(2019)
	Yıl Ort.	7.06	8.77	7.18	8.01			
Ben Düşme	2018	7.45	8.29	8.43	7.46			
	2019	7.30	6.31	6.70	5.39	7.16		
	Yıl Ort.	7.37	7.30	7.57	6.42			
UT		7.56 ab	8.16 a	7.64 ab	7.03 b			

YT LSD %5=0.75; UT LSD %5=0.76

Omca Başına Koltuk Yaprak Alanı ($m^2/omca$)

Omca başına koltuk yaprak alanı incelenmiş ve Yıl Ana Etkisi önemli olarak kaydedilmiştir (Şekil 5). 2018 yılının ($3.26 m^2/omca$) omca başına koltuk yaprak alanını 2019 yılına ($2.66 m^2/omca$) oranla yükselttiği belirlenmiştir. Bu bulgu Candar [29] ile aynı yöndedir. Uygulama Ana Etkisi ve Dönem Ana Etkisi istatistik açıdan önemsiz olduğu kaydedilmiştir. DT açısından değerler; İri Koruk dönemi ($3.08 m^2/omca$), TT dönemi ($2.96 m^2/omca$) ve BD dönemi ($2.86 m^2/omca$) şeklinde yüksekten düşüğe sıralanmıştır.



Şekil 5. Omca başına koltuk yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi. YT LSD %5=0.46

Omca Başına Toplam Yaprak Alanı ($m^2/omca$)

Yıl Ana Etkisi ve Uygulama Ana Etkisi istatistik olarak LSD %5 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 2). 2018 yılı omca başına toplam yaprak alanı değeri, 2019 yılından büyük olmuştur. Bu da yıllara göre yaprak alanlarının değişkenlik gösterebileceğini Candar [29]'a benzer şekilde göstermiştir. UT incelendiğinde ilk önem grubunda Salkım Seyreltme ($11.38 m^2/omca$) uygulaması, ikinci önem grubunda Kontrol ($10.51 m^2/omca$) ile Yaprak Alma ($10.48 m^2/omca$) uygulamaları ve üçüncü önem grubunda Yaprak Alma-Salkım Seyreltme ($9.89 m^2/omca$) uygulamasının olduğu tespit edilmiştir.

Yaprak alma uygulamasının omca başına toplam yaprak alanını artırdığını saptayan Würz ve ark. [30] ile yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar çelişmektedir. Bu çalışmada en yüksek omca başına toplam yaprak alanı değeri U2'den elde edilmiştir. Araştırmacıların bulgusuyla oluşan bu farkın çeşit ve uygulama dönemi farklılığından (bezelye iriliği) kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. DT istatistiki olarak önemli değildir, ancak uygulama dönemleri büyükten küçüğe doğru İK (10.84 m²/omca), TT (10.82 m²/omca) ve BD (10.03 m²/omca) sıralamasına sahip olmuşlardır. Bu bulgu Smart ve Robinson [7]'nin en uygun yaprak alma zamanının ben düşme döneminden 3 hafta önce olduğu bulgusu ile (İK dönemi) benzerlik göstermiştir.

Tablo 2. Omca başına toplam yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi (m²/omca).

Dönemler	Yıl	Uygulama				Ana Etki	
		U1	U2	U3	U4	DT	YT
Tane Tutumu	2018	13.44	11.74	10.21	10.74		
	2019	9.08	11.42	11.63	8.33	10.82	
	Yıl Ort.	11.26	11.58	10.92	9.53		
İri Koruk	2018	11.43	11.91	9.57	12.11		
	2019	8.86	12.69	10.14	10.00	10.84	11.31 A (2018)
	Yıl Ort.	10.14	12.30	8.96	11.06		9.81 B (2019)
Ben Düşme	2018	10.55	11.56	11.87	10.59		
	2019	9.71	8.93	9.44	7.56	10.03	
	Yıl Ort.	10.13	10.25	10.65	9.07		
UT		10.51 ab	11.38 a	10.48 ab	9.89 b		

YT LSD %5=1.10; UT LSD %5=1.07

Bir Kilogram Üzümüne Düşen Gerçek Yaprak Alanı (m²/kg)

Bu kriter için Yıl Ana Etkisi ile Uygulama Ana Etkisi incelendiğinde istatistik olarak LSD %5 seviyesinde önemli olduğu kaydedilmiştir (Tablo 3). Bir kilogram üzümüne düşen gerçek yaprak alanı yıllar bazında incelendiğinde 2019 yılı (0.82 m²/kg) değeri, 2018 yılından (0.56 m²/kg) büyük bulunmuştur. UT bakımından ilk önem grubunda U4 (0.89 m²/kg), diğer grupta da U2 (0.66 m²/kg), U3 (0.62 m²/kg) ve U1 (0.60 m²/kg) uygulamalarının olduğu belirlenmiştir. Kliewer ve Dokoozlian [9]'a göre kg başına ortalama 0.8-1.2 m² yaprak alanı gerektiği bulgusuyla, bu çalışmada U4 uygulamasından alınan değerler paralel olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle; birlikte yapılacak olan yaprak alma ve salkım seyreltme uygulamalarının omcadaki üretim merkezi-tüketim merkezi dengesini kurmada etkili manipülasyonlar olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca 2019 yılı bir kilogram üzümüne düşen gerçek yaprak alanı verilerinin yapılan uygulamaların etkisini göstermesi bakımından önemli olduğu görülmüştür. Kışlık gözlerin verimi bir önceki yıl belirlendiğinden, aslında 2018 yılı verileri 2017 yılı manipülasyonlarından kaynaklanan sonuç verileri olmuştur. Üretim merkezi-tüketim merkezi dengesinin, yapılan uygulamalarla sağlanabileceğini göstermesi bakımından önemli bir veridir. Ayrıca Verdenal ve ark. [13] Doral üzüm çeşidinde yaprak almanın, ürün yükünü dengelemede salkım seyreltmeye alternatif olarak kullanılabileceği bulgusuyla da benzerlik saptanmıştır. Öte yandan DT istatistik olarak önemsiz bulunmuş; dönemler Tane Tutumu (0.74 m²/kg), İri Koruk (0.71 m²/kg) ve Ben Düşme (0.64 m²/kg) şeklinde sıralanmıştır.

Tablo 3. Bir kilogram üzüme düşen gerçek yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi (m²/kg).

Dönem	Yıl	Uygulama				Ana Etki		
		U1	U2	U3	U4	DT	YT	
Tane Tutumu	2018	0.79	0.67	0.66	0.54	0.74		
	2019	0.69	0.83	0.52	1.22			
	Yıl Ort.	0.74	0.75	0.59	0.88			
İri Koruk	2018	0.42	0.50	0.67	0.70	0.71	0.56 B	0.82 A
	2019	0.57	0.76	0.59	1.43		(2018)	(2019)
	Yıl Ort.	0.49	0.63	0.63	1.07			
Ben Düşme	2018	0.50	0.38	0.51	0.42	0.64		
	2019	0.66	0.84	0.79	1.00			
	Yıl Ort.	0.58	0.61	0.65	0.71			
UT		0.60 b	0.66 b	0.62 b	0.89 a			

YT LSD %5=0.12; UT LSD %5=0.14

Doğrudan Güneş Gören Yaprak Alanı (m²/da)

İncelenen Dönem Ana Etkisi, Uygulama Ana Etkisi ile Yıl Ana Etkisi'nin istatistik olarak önemsiz olduğu saptanmıştır (Tablo 4). DT bakımından uygulama dönemleri rakamsal olarak büyükten küçüğe; BD (940.00 m²/da), İK (924.20 m²/da) ve TT (914.39 m²/da) olarak sıralanmıştır. UT bakımından da değerlerin yakın olduğu; doğrudan güneş gören yaprak alanı değerlerinin 940.48 m²/da (U4) ile 889.86 m²/da (U2) arasında olduğu kaydedilmiştir. Asmanın fotosentez kapasitesinin yapılan yaprak alma ve salkım seyreltme işlemlerinden etkilenmediği saptanmıştır. Yıllar arasında da farkın olmadığı bulgusu Candar [29] ile paralel bulunmuştur.

Tablo 4. Doğrudan güneş gören yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi.

Dönem	Yıl	Uygulama				Ana Etki		
		U1	U2	U3	U4	DT	YT	
Tane Tutumu	2018	856.20	848.63	960.03	921.69	914.39		
	2019	998.56	892.50	898.51	938.96			
	Yıl Ort.	927.38	870.56	929.27	930.33			
İri Koruk	2018	892.98	851.32	969.36	880.94	924.20	902.61	949.77
	2019	939.04	881.74	981.40	996.81		(2018)	(2019)
	Yıl Ort.	916.01	866.53	975.38	924.20			
Ben Düşme	2018	929.62	881.73	912.92	925.91	940.00		
	2019	988.18	983.25	919.83	978.56			
	Yıl Ort.	958.90	832.49	916.38	940.00			
UT		934.10	889.86	940.34	940.48			

Ö.D. (Önemli Değil)

Bir Kilogram Üzüme Düşen Doğrudan Güneş Gören Yaprak Alanı (m²/kg)

Araştırmada Yıl Ana Etkisi ve Uygulama Ana Etkisi istatistik açıdan önemlidir (LSD %5) (Tablo 5). YT incelendiğinde 2019 yılı (0.47 m²/kg) değeriyle 2018 yılının (0.38 m²/kg) önüne geçmiştir. 2019 yılında üretim merkezi-tüketim merkezi dengesi yapılan taç yönetimi manipülasyonlarının etkisiyle düzene girmiştir. UT bakımından ilk önem grubunda U4 (0.63 m²/kg) uygulaması yer almıştır. İkinci önem grubunda U2 (0.43 m²/kg), üçüncü önem grubunda U3 (0.34 m²/kg) ve dördüncü önem grubunda ise U1 (0.32 m²/kg) olduğu tespit edilmiştir. Tüm uygulamaların bir kilogram üzüme düşen doğrudan güneş gören yaprak alanına Kontrol'den daha yüksek etkide bulunduğu görülmüştür. Buradan yola çıkıldığında bir kilogram üzüme düşen güneş gören yaprak alanı açısından tek başına veya kombine taç yönetimi uygulamalarının olumlu etkisi olduğu söylenebilir. DT açısından da

değerler 0.42-0.46 m²/kg arasında yer almıştır. Uygulama dönemleri bakımından fark olmadığı ancak U4 uygulamasının üretim merkezi-tüketim merkezi dengesinin sağlandığı uygulama olduğu belirlenmiştir. Araştırma bulguları Kingston ve Van Epenhuijsen [31]'in Italia üzüm çeşidinde optimum olgunlaşma için 7.2-9.5 cm²/g yaprak alanına gereksinim duyduğu bulgusuyla benzerlik içindedir.

Çizelge 5. Bir kilogram üzüme düşen güneş gören yaprak alanına farklı zamanlarda yaprak alma ve salkım seyreltmenin etkisi.

Dönem	Yıl	Uygulama				DT	Ana Etki	
		U1	U2	U3	U4		YT	YT
Tane Tutumu	2018	0.32	0.55	0.39	0.52	0.46		
	2019	0.41	0.41	0.24	0.81			
	Yıl Ort.	0.36	0.48	0.32	0.66			
İri Koruk	2018	0.20	0.45	0.40	0.57	0.42	0.38 B (2018)	0.47 A (2019)
	2019	0.35	0.33	0.32	0.77			
	Yıl Ort.	0.27	0.39	0.36	0.67			
Ben Düşme	2018	0.26	0.35	0.23	0.41	0.42		
	2019	0.36	0.52	0.47	0.72			
	Yıl Ort.	0.31	0.43	0.35	0.57			
UT		0.32 c	0.43 b	0.34 bc	0.63 a			

YT LSD %5=0.06; UT LSD %5=0.10

IV. SONUÇ

Yaprak alanı özellikleri bakımından, U2 (Salkım Seyreltme) uygulaması ortalama ana yaprak alanı, ortalama koltuk yaprak alanı, omca başına ana yaprak alanı, omca başına koltuk yaprak alanını artırmıştır. Öte yandan U4 (Yaprak Alma-Salkım Seyreltme) uygulaması; bir kilogram üzüme düşen gerçek yaprak alanı, doğrudan güneş gören yaprak alanı, bir kilogram üzüme düşen güneş gören yaprak alanlarını artırmıştır. Dönemler açısından da İri Koruk döneminin yaprak gelişiminde diğer dönemlere kıyasla olumlu etki yaptığı görülmüştür. Ancak omca başına ana yaprak alanı, bir kilogram üzüme düşen gerçek yaprak alanı ve bir kilogram üzüme düşen güneş gören yaprak alanları Tane Tutumu döneminde yapılan uygulamalarla artmıştır. Bilindiği üzere sofralık üzüm yetiştiriciliğinde verim ve kalite birlikte değerlendirilmektedir. Öte yandan üretim merkezi - tüketim merkezi dengesinin kurulması da omca gelişimi ve ürün verimliliğinde kesin bir gerekliliktir. Salkım seyreltme ile verim düşüklüğü görülmüş; ancak birinci sınıf salkım varlığı artacağı için üreticinin yüksek gelir elde etmesi mümkün olduğundan; U2 veya U4 uygulamalarının Tane Tutumu ve İri Koruk dönemlerinde yapılması önerilebilir bulunmuştur.

V. KAYNAKLAR

[1] A. Dobrei, A. Dobrei, E. Nistor, T. Cristea, M. Boldea, and F. Sala, "Optimization of grapevine yield by applying mathematical models to obtain quality wine products," *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM) AIP Conference Proceedings*, vol. 1738, pp. 350008-1–350008-4, 2015.

[2] H.C. Lu, Y. Wang, C.F. Cheng, W. Chen, S.D. Li, C.Q. Duan, and J. Wang, "Distal leaf removal made balanced source-sink vines, delayed ripening, and increased flavonol composition in Cabernet Sauvignon grapes and wines in the semi-arid Xinjiang," *Food Chemistry*, vol. 366, pp. 130582, 2022.

- [3] S. Senthilkumar, R.M. Vijayakumar, K. Soorianathasundaram, and D. Durga Devi, "Effect of pruning severity on vegetative, physiological, yield and quality attributes in grape (*Vitis vinifera* L.): A Review," *Current Agriculture Research Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 42-54, 2015.
- [4] S.K. Kurtural, and M.W. Fidelibus, "Mechanization of pruning, canopy management, and harvest in winegrape vineyards," *Catalyst: Discovery into Practice*, vol. 5, pp. 29-44, 2021.
- [5] D. Ivanisevic, M. Kalajdzic, M. Drenjancevic, V. Puskas, and N. Korac, "The impact of cluster thinning and leaf removal timing on the grape quality and concentration of monomeric anthocyanins in Cabernet-Sauvignon and Probus (*Vitis vinifera* L.) wines," *OENO One*, vol. 54, no. 1, pp. 63-74, 2020.
- [6] I. Dami, B. Bordelon, D.C. Ferree, M. Brown, M.A. Ellis, R.N. Williams, and D. Doohan, Midwest grape production guide, Bulletin 919. *Ohio State University Extension*, USA, 2005.
- [7] R.E. Smart, and M. Robinson, *Sunlight into Wine. A Handbook for Winegrape Canopy Management*, Winetitles, Adelaide, Australia, 2006, pp. 88.
- [8] M. Drenjancevic, V. Jukic, K. Zmaic, T. Kujundzic, and V. Rastija, "Effects of early leaf removal on grape yield, chemical characteristics, and antioxidant activity of grape variety Cabernet Sauvignon and wine from eastern Croatia," *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, vol. 67, no. 8, pp. 705-711, 2017.
- [9] W.M. Kliewer, and N. Dokoozlian, "Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and wine quality," *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 56, no. 2, pp. 170-181, 2005.
- [10] İ. Uslu, "Müşküle üzüm çeşidinde yaprak ve uç alma uygulamalarının verim ve kaliteye etkileri üzerinde araştırmalar," Uzmanlık tezi. Yalova, Türkiye, 1980.
- [11] S. Kader, "Yuvarlak Çekirdeksiz üzüm çeşidinde yaprak-üzüm ilişkileri üzerinde araştırma," Doktora tezi. Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, E. Ü. Zir. Fak. İzmir, Türkiye, 1990.
- [12] Z. Beslic, S. Todoc, N. Markovic, and Z. Przic, "Influence of early basal leaf removal on yield components and must quality on cv. Sauvignon Blanc," *Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, vol. 46, no. 1, pp. 31-35, 2016.
- [13] T. Verdenal, V. Zufferey, J.L. Spring, J. Rösti, A. Dienes-Nagy, F. Lorenzini, and O. Viret, "Intérêts et risques de l'effeuillage précoce du cépage *Vitis vinifera* Doral dans le canton de Vaud," *Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture*, vol. 48, no. 3, pp. 176-182, 2016.
- [14] K. Suklje, H. Basa Cesnik, L. Janes, V. Kmecl, A. Vanzo, A. Deloire, P. Sivilotti, and K. Lisjak, "The effect of leaf area to yield ratio on secondary metabolites in grapes and wines of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon Blanc," *OENO One*, vol. 47, no. 2, pp. 83-97, 2013.
- [15] A. Palliotti, and A. Cartechini, "Cluster thinning effects on yield and grape composition in different grapevine cultivars," *Acta Horticulturae*, vol. 512, pp. 111-120, 2000.
- [16] J. Martinez-Lüscher, and S.K. Kurtural, "Same season and carry-over effects of source-sink adjustments on grapevine yields and non-structural carbohydrates," *Frontiers in Plant Science*, vol. 12, pp. 695319, 2021.
- [17] M. Keller, *The Science of Grapevines Anatomy and Physiology*. Second edition, Elsevier Inc. UK, 2015, p. 509.

- [18] N.M.N.L. Pita, "Influência da monda de cachos nas características analíticas de uvas e vinhos da casta Syrah," Relatório de trabalho de fim de curso em Engenharia Agronómica. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Portugal, 2006.
- [19] S. Martins, "Monda de cachos na casta Touriga nacional - efeitos no rendimento e qualidade," Tese Mestrado em Viticultura Oenologia. Universidade Técnica de Lisboa, Universidade do Porto, Portugal, 2007.
- [20] T. Bekar, ve R. Cangı, "Narince üzüm çeşidinde verim ve şıra kompozisyonu üzerine salkım seyreltmenin etkileri," *Bahçe*, c. 47, s. Özel Sayı, ss. 605-612, 2018.
- [21] F. Ilgaz, ve M. Çelik, "Şiraz üzüm çeşidinde yaprak alma ve salkım seyreltme uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkileri," *Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Derg.*, c. 57, s. 2, ss. 239-247, 2020.
- [22] P.F.W. Mawdsley, C.S.D. Peterson, and L.F. Casassa, "Multi-year study of the effects of cluster thinning on vine performance, fruit and wine composition of Pinot noir (clone 115) in California's Edna Valley AVA (USA)," *Scientia Horticulturae*, vol. 256, pp. 108631, 2019.
- [23] D.H. Lorenz, K.W. Eichhorn, H. Bleiholder, R. Klose, U. Meier, and E. Weber, "Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*) codes and descriptions according to the extended BBCH scale," *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol. 1, pp. 100-110, 1995.
- [24] A. Kraft, Flächen berchnung einer sw-Grafik. Justus Liebig Üniv., Giessen, Deutschland. 1995.
- [25] L. Irimia, and C. Tardea, "The exposable leaf area and the leaf index, which characterize the grapevine training systems in the Avereşti Wine-Growing Centre, Huşi vineyard," *Agronomical Research in Moldavia Journal*, vol. 3, no. 127, pp. 41-46, 2006.
- [26] P. Sanchez-de-Miguel, P. Baeza, P. Junquera, and J.R. Lissarrague, Chapter: 3 Vegetative Development: Total Leaf Area and Surface Area Indexes. S. Delrot et al. (eds.) *Methodologies and Results in Grapevine Research*, Springer, Dordrecht, Switzerland, 2010, 448 p.
- [27] A. Carbonneau, "Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité." Thèse Université Bordeaux. Versailles, INRA, France, 1980.
- [28] İ. Korkutal, E. Bahar, ve S. Azsöz, "Michele Palieri üzüm çeşidinde farklı zamanlarda yapılan yaprak alma ve salkım seyreltme uygulamalarının salkım özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi." *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 26, s.2, ss. 376-386, 2021.
- [29] S. Candar, "Farklı taç mikroklimalarının Merlot üzüm çeşidine ait asmalarda fizyolojik faaliyetler ve kalite üzerine etkileri," Doktora tezi. Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, T.N.K.Ü. Zir. Fak. Tekirdağ, Türkiye, 2018.
- [30] D.A. Würz, R. Allebrandt, J.L. Marcon Filho, B.P.D. Bem, A.F. Brighenti, L. Rufato, and A.A. Kretschmar, "Leaf removal timing and its influence on wine grape performance Sauvignon Blanc in high altitude region." *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, vol. 17, no. 1, pp. 91-99, 2018.
- [31] C.M. Kingston, and C.W. Van Epenhuijsen, "Influence of leaf area on fruit development and quality of Italia glasshouse table grapes." *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 40, no. 2, pp. 130-134, 1989.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Afet Bölgesindeki Bazı Yerleşim Alanlarının Geoteknik Açından Değerlendirilmesi: Bartın-Amasra Örneği

 Fatih GÖKTEPE ^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın,
TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fgoktepe@bartin.edu.tr
DOI: 10.29130/dubited.1184869

Öz

Coğrafi konum olarak Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Bartın ilinde geçmiş yıllarda gerçekleşen deprem, sel, heyelan gibi afetlerden dolayı, bölge sosyal ve ekonomik anlamda hissedilir düzeyde etkilenmiştir. Tektonik olarak aktif bir bölge olan Batı Karadeniz Havzasının iklim koşulları, bitki örtüsü ve topoğrafik yapısı nedeniyle yaşanan bu tür afetlerin gelecekte alüvyal tabanlı Bartın ilini sıklık ve şiddet anlamında daha fazla etkilemesi muhtemeldir. Bu sebeple bölgede yapılacak mühendislik yapılarının sismik tasarım sürecinde ve şiddetli yağışlara bağlı meydana gelen su baskınlarının olumsuz etkilerini azaltmak için yapılacak çalışmalarda, elverişsiz zemin koşullarının iyi bilinmesi gerekir. Yapılan bu çalışmada Bartın şehir merkezi ve Amasra ilçesinde bulunan yoğun yerleşim alanlarındaki genel zemin yapısı, geoteknik deprem mühendisliği açısından önemli olan bazı dinamik parametreler kullanılarak analiz edilmiştir. Pilot inceleme alanlarında yapılmış zemin etüt raporlarından elde edilen verilerin analiz edildiği bu çalışmada, geoteknik açıdan problemli ve/veya yapı açısından daha duyarlı yerleşim sahalarının risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, bölgede en son gerçekleşen Haziran 2022 sel afeti sonrası oluşan bazı taşkın ve heyelan olayları, arazi koşullarında edinilen güncel resimler ve izlenimlere bağlı olarak yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında sunulan sonuç ve önerilerin, bölgede inşa edilecek mühendislik yapılarını tasarlayan mühendislerin yanı sıra bölgenin afet durumunu analiz eden araştırmacılara ve yerleşim noktalarının belirlenmesinde görev alan şehir planlayıcılarına yol gösterici olacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet bölgesi, Sel, Heyelan, Deprem, Bartın –Amasra, Geoteknik değerlendirme, Alüvyal çökeller

Geotechnical Evaluation of Some Settlement Areas in the Disaster Region: The Case of Bartın-Amasra

ABSTRACT

Bartın province, located in the Western Black Sea Region as a geographical location, has been affected socially and economically at a detectable level due to earthquake, flood, and landslide disasters in the past years. Such disasters connected with the climatic conditions, vegetation, and topographic structure of Western Black Sea Basin, a tectonically active region, are likely to affect the alluvial-based Bartın province more in terms of frequency and severity in the future. For this reason, unfavorable soil conditions should be well known in the seismic design process of engineering structures to be built in the region and in the studies to be carried out to reduce the adverse effects of floodings based on heavy rains. In this study, the general soil structure in the dense residential areas in Bartın city center and Amasra district were analyzed using some important dynamic parameters in geotechnical earthquake engineering. The risk assessment of the geotechnically problematic and/or more sensitive building areas was determined using the data obtained from the ground survey reports in the pilot study areas. In addition,

1897

some overflowing and landslide events that occurred after the last flooding in June 2022 in the region were interpreted depending on the updated pictures and impressions obtained from the field conditions. It was evaluated that the results and suggestions presented within the scope of the study will guide the engineers designing engineering structures to be built in the region, as well as the researchers analyzing the disaster situation of the region and the city planners involved in the determination of settlement points.

Keywords: Disaster area, Flooding, Landslide, Earthquake, Bartın –Amasra, Geotechnical evaluation, Alluvial deposits

I. GİRİŞ

Farklı mühendislik amaçlarına uygun olarak yapılan yapılar her ne kadar tasarım aşamasında ilgili yönetmeliklere uygun yapılmaya çalışılsa da, ülkemizde yaşanan deprem, sel, heyelan vb. afetlere bağlı olarak geçmişte önemli hasarlar ve can kayıpları meydana gelmiştir. Sismik salımlara bağlı oluşan yapısal hasarların veya heyelan türü kitlesel toprak hareketlerinin çoğunlukla alüvyon zemin koşullarında oluştuğu değerlendirilmesi gereken önemli bir husustur. Alüvyal çökellerin dışındaki daha sıkı ve taşıma gücü anlamında daha iyi zemin ortamında inşa edilen yapılar geçmişte yaşanan depremler sonrasında daha az hasar almışlardır [1]. Buradan hareketle mühendislik yapılarının tasarımında binanın konumlandığı zemin ortamının mekanik ve dinamik karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekliliği geçmiş depremlerde meydana gelen hasarlarla daha iyi anlaşılmıştır. Özellikle deprem, sel, heyelan vb. afetlerin oluşma riskinin yüksek olduğu vadi tabanlı bölgelerdeki yerleşim alanları açısından jeolojik zemin koşullarının iyi bilinmesi gerekliliği önemlidir.

Ülkemizin özellikle kıyı kesimlerindeki yoğun yağışlar ve dağlık alanlardaki hızla eriyen karlar başta Batı Karadeniz bölgesi olmak üzere Türkiye'nin farklı yerlerinde sel ve heyelan gibi afetlere sebep olmaktadır [2]. Her geçen yıl sıklık ve şiddeti artış gösteren bu tür afetler geçmiş zamanlarda olduğu gibi son yıllarda da Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Bartın ilini önemli oranda etkilemektedir. Hem bölge hemde ülkemiz ekonomisine ciddi zararlar veren hidrografik kökenli sel türü bu tür afetlerin oluşum mekanizmaları ve alınabilecek önlemlerle alakalı literatürde birçok çalışma yapılmıştır [3-5].

Tunay ve Ateşoğlu [6] yaptıkları çalışmada Bartın çayını oluşturan Kozcağız ve Ulus çaylarının taşkın sahalarındaki değişimlerini 1992 ve 2000 tarihli Landsat 5 TM uydu verilerini kullanarak analiz etmişlerdir. Araştırmada, uydu verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında analizi sonucu bölgede meydana gelen 1998 taşkımindan önceki ve sonraki taşkın sahalarının durumları sayısal ve görsel olarak analiz edilerek alınabilecek önlemlere vurgu yapılmıştır. Bartın ilindeki mevcut nehir taşkınlarının önemi ve bölgede meydana gelen 1998 sel taşkınının özellikle nehir yatağındaki yapılar üzerindeki yıkıcı hasarları Arman vd. [7] tarafından yapılan çalışmada özetlenmiştir. Küresel iklim değişikliğine bağlı ülkemizdeki iklim özelliklerinin değişimiyle Bartın Çayı havzasında oluşabilecek muhtemel gelişmelere Turoğlu [8] tarafından yapılan çalışmada değerlendirilerek, bölgenin iklim elemanlarındaki değişiklikler ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, son 15 yılda önemli oranda iklim özelliklerinin değiştiği tespit edilen bölgenin jeomorfolojik, litolojik, hidrografik ve arazi örtüsü özellikleri de düşünüldüğünde, gelecekte Bartın havzasındaki olası afetlerin ve diğer su problemlerinin artabileceği vurgulanarak alınabilecek önlemler özetlenmiştir. Gökyer ve Öztürk [9] CBS kullanarak Bartın ili çevresindeki heyelan riski olan bölgeleri belirlemişlerdir. Bölgede meydana gelen heyelanların kentsel gelişim üzerine etkilerini ve heyelan riskli alanlardaki arazi durumunu değerlendirdikleri çalışmalarında, jeolojik yapı, eğim, bakı ve bitki örtüsü gibi parametrelerin heyelan oluşumundaki önemine değinmişlerdir. Görbil [10] yaptığı tez çalışmasında Bartın ilindeki Gökırmak çayı üzerinde yapılan baraj sebebiyle su altında kalan eski yol yerine alternatif olarak belirlenen Kirazlı Köprü Varyant Yolunun geçtiği güzergâhtaki paleo heyelanlı bölgeleri belirleyerek oluşan kütle hareketlerinin durdurulmasına yönelik önlem ölçümlerine değinmiştir.

Bartın ve yakın çevresi dünyanın en önemli sağ yönlü doğrultu atımlı faylarından biri olan ve Türkiye'nin kuzeyi ile Karadeniz çevresindeki birçok sismik aktiviteye sebep olan Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'nın etkisi altındadır [11]. Karadeniz bölgesinin Türkiye kıyı şeridinde meydana gelen ve aletsel

olarak ölçülen en büyük deprem, 1968 yılında Bartın ilindeki Amasra ilçesinin 10 km kuzey açığında olmuştur [12]. Meydana gelen bu deprem orta büyüklükte ($M_s=6.6$) değerlendirilse de Bartın, Amasra ve çevre köylerde oldukça fazla sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmuştur [13]. Deprem merkez üssünde bulunan alüvyonel zemin çökellerinde çatlakların oluştuğu ve bölgede birçok heyelan olayının gerçekleştiği gözlemlenmiştir [14]. Buna ilaveten depremden hemen sonra Amasra Körfezi'nde küçük boyutlu tsunami hareketlerinin meydana geldiği Lander [15] tarafından yapılan araştırmada belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmayla Bartın ilindeki bazı yerleşim bölgelerinin zemin profili geoteknik açıdan değerlendirilmiştir. Bartın il merkezi ve Amasra ilçesinde seçilen pilot yerleşim alanlarındaki farklı lokasyonlarda daha önce yapılmış geoteknik etüd raporları toplanarak elde edilen mekanik ve dinamik zemin parametreleri yorumlanarak bölgenin genel zemin formasyonu incelenmiştir. Ayrıca, bölgede 1998 yılı Mayıs ayında gerçekleşen selden sonraki en büyük sel afeti olan Haziran 2022 yılındaki taşkınlardan ve bu taşkınlardan oluşturduğu heyelan tipi kütle hareketlerinden etkilenen alanlar arazi koşullarında elde edilen resimlerle açıklanmaya çalışılmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen verilerin analiz edilerek yorumlandığı bu çalışmayla, özellikle bölgedeki zemin açısından problemler ve/veya yapı açısından daha duyarlı yerleşim sahalarının geoteknik risk değerlendirilmesi düşünülmüştür. İnceleme sahasında yapılmış zemin etüd raporlarından toplanan verilere bağlı olarak elde edilen sonuçların pratikteki uygulanabilirliği irdelenerek yapılan bu çalışmanın literatürdeki boşluğa katkı sağlaması hedeflenmiştir.

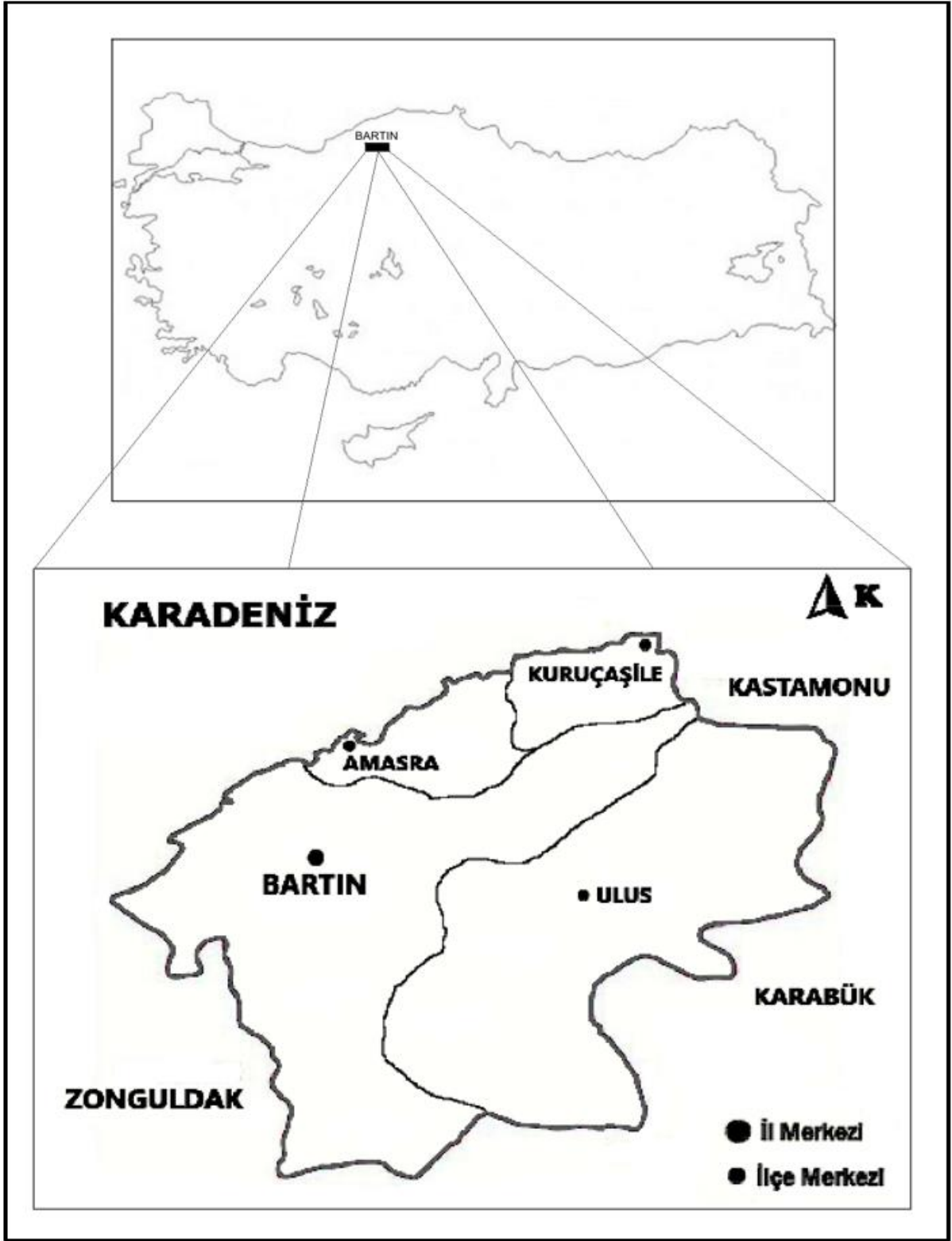
II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. İNCELEME BÖLGESİNİN TANITILMASI

Yapılan çalışma kapsamında geoteknik zemin yapısı belirlenmeye çalışılan Bartın ili coğrafi konum olarak Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, batıda Zonguldak, doğuda Kastamonu ve güneydoğusunda ise Karabük illeriyle çevrelenmiştir (Şekil 1). Yüksekliği 2000 metreyi geçmeyen kıyıya paralel dağlarla çevrili olan Bartın ilinin aynı zamanda sahil şeridinde olması, özellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde artan düzeylerde olmak üzere her mevsim bol yağış almasına sebep olmaktadır. Bölgenin zemin formasyonunun oluşumunda etkili olan en önemli akarsuyu Bartın ırmağı ve kollarının özellikle yağışların bol olduğu mevsimlerde debi çoğalmasına bağlı taşarak sellere sebep olduğu söylenebilir [16]. Yine yüksek olmayan dik dağ sıralarıyla çevrili Amasra ilçesi yüzölçümü bakımından Bartın ilinin ikinci büyük ilçesi olup özellikle turistik yapısı sebebiyle yoğun yerleşim alanlarına sahip bir sahil kentidir.

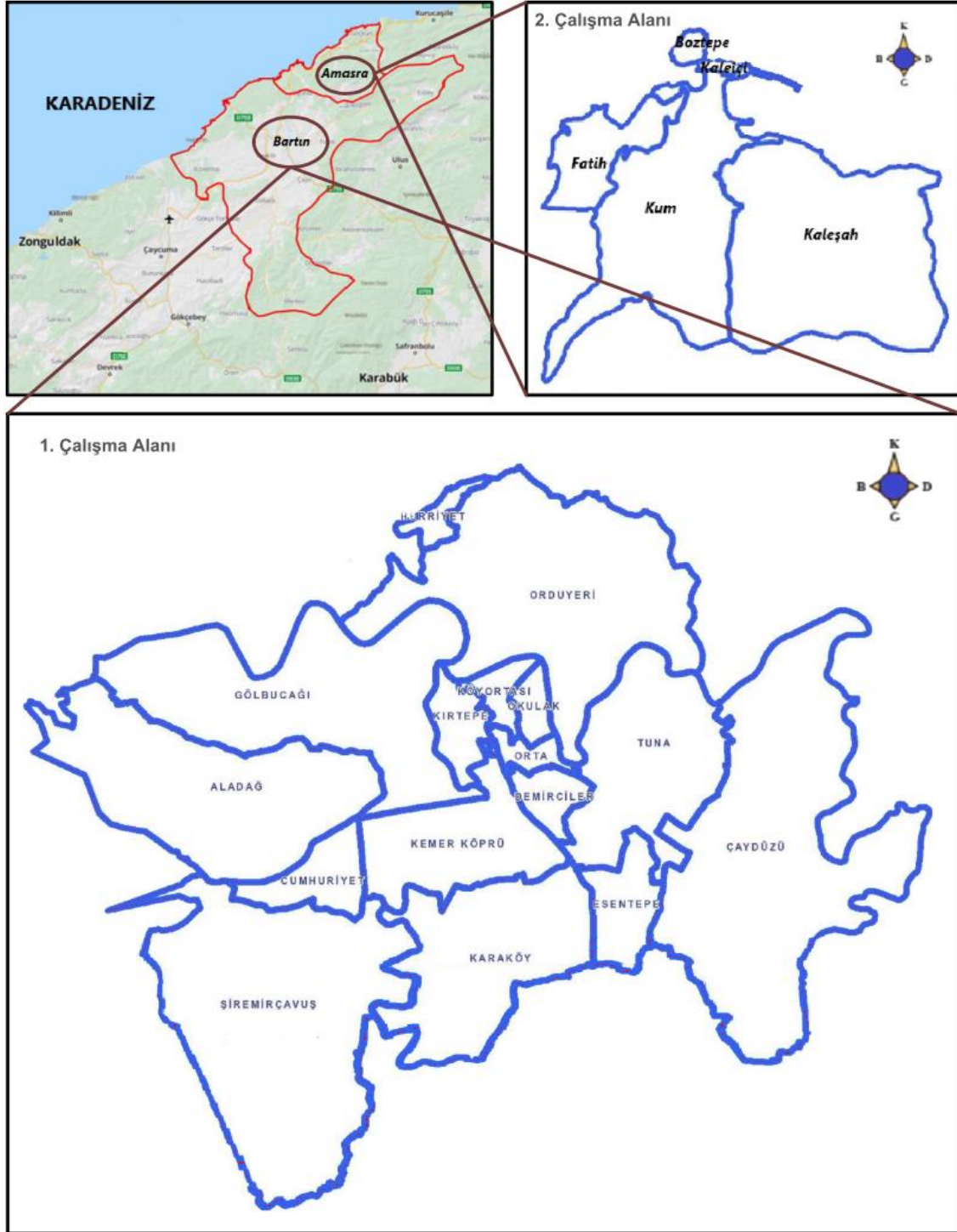
Farklı yerleşim alanlarında yapılan bu çalışma için, Şekil 2'de belirtilen Bartın ili merkezi (1. Çalışma Alanı) ve Amasra ilçesi (2. Çalışma Alanı) inceleme sahalarındaki değişik noktalarda yapılmış sondaj ve/veya araştırma çukuru çalışmalarına ait zemin etüd raporlarındaki sayısal veriler kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında Şekil 2'de konumları verilen Bartın ili merkezindeki Hürriyet, Orduyeri, Tuna, Kırtepe, Köyortası, Okulak, Orta, Demirciler, Esentepe, Çaydüzü, Karaköy, Kemer Köprü, Gölbucağı, Aladağ Cumhuriyet ve Şiremirçavuş olmak üzere toplam 16 mahalle pilot inceleme sahası olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Bartın ili ve çevre komşularını gösteren konum haritası

Buna ilaveten yine Bartın kent merkezinin kuzeydoğusundaki Amasra ilçesinde bulunan Kaleşah, Kaleiçi, Boztepe, Kum ve Fatih mahallerinde yapılan geoteknik raporlar analiz edilerek bölgenin genel zemin yapısı belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 2). Bartın ili merkezi ve Amasra ilçesinde temin edilen zemin etüd raporları doğrultusunda hazırlanan bu çalışma, bölgedeki pilot yerleşim alanlarını geoteknik anlamda değerlendiren bir araştırma makalesi özelliği taşımaktadır.



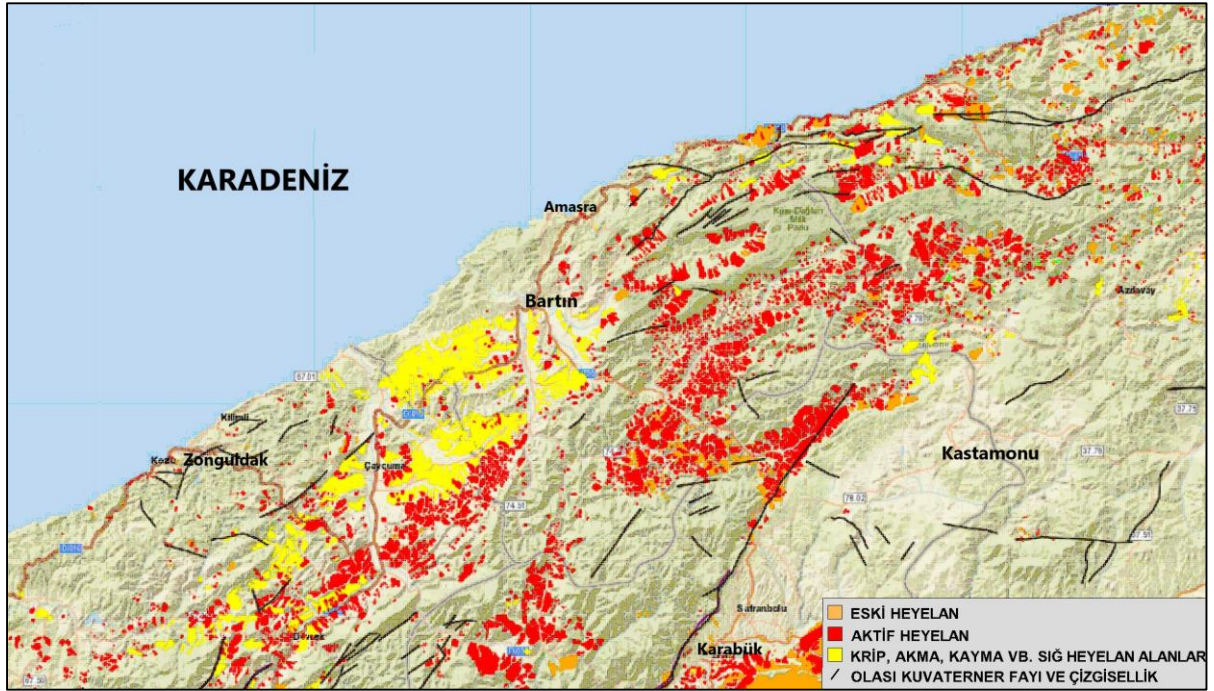
Şekil 2. Çalışma alanlarını gösteren yer bulduru haritası

B. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ VE AFET DURUMU

Jeolojik olarak Bartın bölgesinin temelini Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaşlı Ereğli formasyonu oluşturmaktadır [17]. Özellikle şehir merkezinden akan Bartın çayının getirdiği gevşek alüvyon tabakalarının bölgenin zemin yapısında etkili olduğu çalışma sahasında ırmak rejimine bağlı olarak sürekli taşınma ve aşınmaların gerçekleştiği anlaşılmaktadır [9]. Genel olarak Bartın merkezinde alttan üste doğru ayrılmış Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyal akarsu

çökelleri bulunmaktadır [18]. Birinci çalışma sahası olan Bartın kent merkezindeki genel zemin formasyonu üst seviyelerde ince kumtaşı ana bantlı tabakalarını içeren silttaşı-kiltaşı birimlerinden, daha alt seviyelerde ise ayrılmış zayıf-çok zayıf taşıma gücüne sahip ince kumtaşı ve çakıltası içeren silttaşı-kiltaşı birimlerin gözlenmektedir. Bölgede Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma formasyonunun ayrışması, taşınması ve çökmesi sonucu oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyal akarsu çökelleri ise genel olarak orta katı-katı siltli killerden meydana gelmektedir [19]. Diğer çalışma sahası olarak seçilen Amasra bölgesinde ise Paleozoyikten başlayıp, Alüvyona kadar uzanan birimler mevcut olup İnkum-Kurucaşile arasındaki alanlarda, özellikle sahil kesiminde çok sayıda listrik fay zonları mevcuttur. İkinci çalışma bölgesindeki bazı yerleşim alanları Apsiyen yaşlı Kilimli Formasyonundan oluşmakta olup mühendislik jelojisi anlamında kumlu kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltası birimlerinin ardalanmalarından oluştuğu söylenebilir [20]. Amasra ilçesinde yoğun yerleşimin olduğu diğer mahallelerde ise kum, silt ve kil örneklerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin varlığı dikkat çekmektedir [21].

Bölgenin genel jeolojik formasyonunda etkili olan kuvaterner alüvyon çökellerinin bulunduğu alanlar heyelan açısından riskli bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi [22] kullanılarak hazırlanan Şekil 3'deki resimden, bölgede meydana gelmiş kütleli toprak kaymaları ve krip, akma, kayma vb. sığ heyelan bölgeleriyle aktif heyelan alanlarının özellikle Ulus, Çaycuma ve Çakraz Formasyonunda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Çalışma sahasının depremselliği açısından, Karadeniz bölgesinde meydana gelen son yıllardaki depremlerin faylanma türü açısından 1968 Bartın depremiyle aynı ve/veya baskın ters faylanma bileşenlerine sahip olduğu söylenebilir [23]. Sismik faaliyetlerin çoğunlukla Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkili olduğu Karadeniz bölgesinde Kalafat [24] tarafından yapılan çalışmada, özellikle son 6 yılda meydana gelen depremlerin fay düzlemleri incelenerek Bartın ve Samsun açıkları ile, Kastamonu civarında ters fay bileşenli depremlerin oluştuğu ve bu fay geometrisinin de bölgede sıkışmalı bir gerilmeye sebep olduğu belirtilmiştir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalar ve Şekil 3'de verilen Bartın İli ve çevresindeki olası Kuvaterner fayları dikkate alındığında, bölgenin sismik anlamda depremselliğinin vurgulanması gereken bir husus olduğu açıktır. Yine jeolojik anlamda özellikle yer altı su seviyelerinin yüksek olduğu Kuvaterner alüvyon zemin koşullarında olası bir sismik salınım etkisiyle bölgede sıvılaştırma riskinin olduğu da söylenebilir.



Şekil 3. Çalışma sahasının genel afet durumunu gösteren harita [22]

Çalışmanın yapıldığı Bartın ili ve çevresi sel ve heyelan olaylarının çok sık yaşandığı bir afet bölgesidir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre bölgede 1970-1997 arasında toplam 19 taşkın meydana gelmiştir. Geçmişte birçok sel afetinin yaşandığı Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Bartın nehir havzasında meydana gelen en büyük taşkınlardan biri olan Mayıs 1998 sel afeti, Bartın ili ve ilçelerinde önemli derecede ekonomik ve sosyal problemlere neden olmuştur. Çalışma sahası bölgesinde yaşanan taşkınların nedenleri araştırıldığında, Bartın ilinden geçerek Karadeniz'e ulaşan akarsuların yukarı havzalarındaki zemin bölgelerinin su tutma kapasitelerinin düşük olması, bölgedeki ormanlık alanlara yapılan fiziksel müdahaleler ve nehir yataklarının ıslah çalışmalarının tam olarak yapılmayışı gibi ana unsurlar ortaya çıkmaktadır [25]. Son yıllarda Bartın ilindeki hızlı nüfus artışına bağlı olarak gerçekleşen kontrolsüz yapılaşma yine bölgedeki sel ve heyelan afetlerinin sebepleri arasında sayılabilir. Batı Karadeniz Havzası için hazırlanan taşkın yönetim planında, oluşturulacak sensör ağı yardımıyla eş zamanlı meteorolojik, hidrolojik ve hidrolik verilerin adaptasyonu sonucu geliştirilecek tahmin modelinin bölge için gerekliliği belirtilmiştir [26]. Mayıs 1998'den sonra Bartın ilinde meydana gelen en büyük sel-taşkın afeti Haziran 2022 tarihinde olmuştur. Batı Karadeniz Bölgesi'nde yaşanan bu su baskını Bartın iliyle birlikte Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak gibi birçok çevre illeri de olumsuz yönde etkilemiştir. AFAD oluşan bu afet sonrası Bartın iliyle birlikte diğer illerde sel-su baskını, heyelan ve kaya düşmesi afetlerinden etkilenen bölgelerin "Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi" olarak ilan edildiğini açıklamıştır. Aşırı yağışlara bağlı meydana gelen Haziran 2022 sel baskını sonrası 1. çalışma sahası olan Bartın şehir merkezindeki taşkın resimleri Şekil 4-6'da verilmiştir. Orduyeri köprüsünden çekilen resimde, oturma amaçlı kullanılan binaların, otobüs durağının ve yolların su altında kaldığı görülmekte olup taşkın seviyesinin daha önce bölgede gerçekleşen Mayıs 1998 sel afetine yanaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4a). Yine Gölbucağı mahallesindeki Yalı mevkiinde bulunan tarihi Bartın Limanı'nın ve yürüme yollarının sular altında kalmış olması yaşanan taşkın boyutunu anlatmaktadır (Şekil 4b).



(a)



(b)

Şekil 4. Haziran 2022 sel baskını sonrası Bartın şehir merkezindeki (a) Orduyeri köprüsünden sel-su baskını görüntüsü (b) Yalı mevkiindeki tarihi Bartın Limanı

Yine 200 yılı aşan tarihiyle Bartın ilindeki ilk taş köprü olma özelliğini taşıyan ve kesme taşlardan yapılan tarihi Kemer Köprü, Bartın Çayı'nın taşmasıyla sular altında kalmıştır. Şehrin en önemli geçiş noktası olan ve kent merkezindeki en önemli tarihi yapılardan biri olan Kemer Köprü ve çevresi gece saatlerine kadar devam eden aşırı yağışlar sonrası trafik geçişlerine kapatılmış ve yerel halkın önemli bir yolu olan kent merkezi 'ne geçişler bu güzergâhtan durdurulmuştur. Yaşanan su baskını sonrasındaki ertesi gün aynı lokasyondan elde edilen resimde görüldüğü üzere tarihi Kemer Köprü'nün etrafında bulanık minibüs durağının halen sular altında olması yaşanan afetin boyutunu göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Haziran 2022 sel baskını sonrası Bartın şehir merkezindeki ana geçiş güzergâhı olan tarihi Kemer Köprü mevkii

Yaşanan sel afeti bölgede farklı amaçlarla kullanılan hem kamu binalarını hemde konut amaçlı kullanılan yapıları olumsuz yönde etkilemiştir (Şekil 6a-c). Bölgede yaşanan şiddetli yağışlar sonrası Şekil 6a'da görüldüğü üzere Gölbucağı mahallesindeki Bartın Adliye Sarayı çevresi ile Şekil 6b'deki verildiği gibi Kemer Köprü mahallesindeki Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) İl Müdürlüğü binası ve çevresindeki birçok yapı yaşanan afetten etkilenmiştir. Aynı zamanda meydana gelen su baskını Şekil 6c'de bir örneği verilen resimdeki gibi kent merkezindeki birçok apartmanın girişini basarak bodrum

katların sular altında kalmasına sebep olmuştur. Buna ilaveten yaşanan sel afetine bağlı olarak taşan su kanalı Şekil 6d'de verilen resimde görüldüğü üzere fabrika binasını sular altında bırakarak önemli derecede ekonomik zararlara sebep olmuştur.



Şekil 6. Bartın ilinde meydana gelen Haziran 2022 sel baskını sonrası (a) Adliye Sarayı Binası çevresi (b) SGK Binası çevresi (c) Apartman girişi (d) Dere yatağındaki fabrika yapısı

Geçmiş yıllarda birçok kütleli toprak kaymasının sıklıkla yaşandığı bölgede Haziran 2022 sel afeti sırasında meydana gelen şiddetli yağışlar, daha çok alüvyon çökelleriyle kaplı Bartın şehir merkezindeki yerleşim noktalarında heyelana sebep olmuştur. Çalışmanın yapıldığı bölge olan 1. çalışma alanındaki Orduyeri mahallesinin Kaynarca mevkiinde bulunan bir istinat duvarı çökerek Şekil 7'de verilen resimdeki gibi binanın taşıyıcı sistemine zarar vermiştir.



Şekil 7. Haziran 2022 sel baskını sırasında Bartın şehir merkezinde yıkılan istinat duvarı ve binaya verdiği zarar

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yerinde yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonuçlarıyla kohezyonsuz kumlu, çakıllı zeminler için göreceli sıklıkla, kohezyonlu killi, siltli zeminlerde ise kıvam durumu, drenajsız kayma dayanımı, sıkışabilirlik, drenajsız deformasyon modülü vb. gibi parametreler arasında birçok korelasyon literatürde tanımlanmıştır [27-29]. Ayrıca, sığ veya derin temellere sahip üst yapı tasarımında ve binaların sismik davranışında önemli değişkenler olan zemin taşıma gücü kapasitesi, sıvılaşma ve oturma analizleri, yatak katsayısı hesaplamaları ile deformasyon modülleri gibi geoteknik kavramların belirlenmesinde arazi ölçümlerine bağlı elde edilen düzeltilmiş Standart Penetrasyon Deneyi darbe sayısı (SPT-N) kullanılmaktadır [30-33].

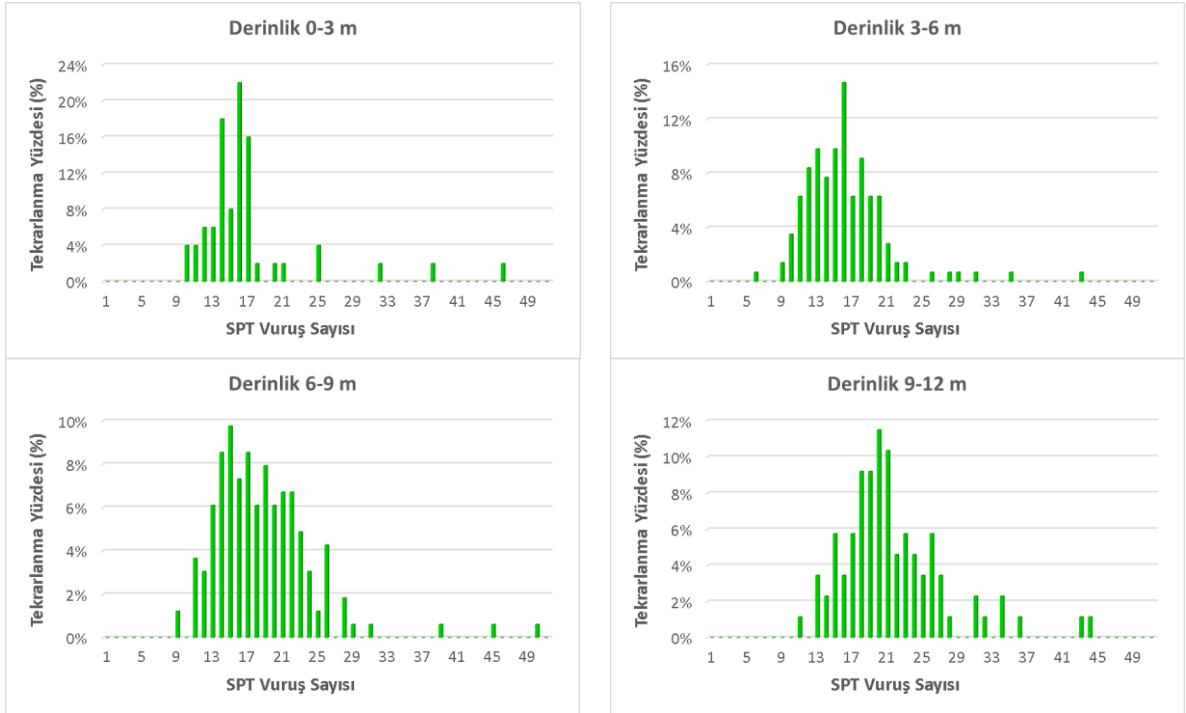
Yapıların sismik tasarımında kullanılan yönetmeliklerde zemin ortamının tanımlanmasındaki ana unsur kayma dalgası hızıdır. Jeolojik zemin katmanları için uygulanan yerinde jeofizik sismik kırılma deneylerinin yapılamadığı durumlarda kayma dalgası hızı, düzeltilmiş SPT-N değeri gibi penetrasyon direncine bağlı olarak literatürdeki ampirik korelasyonlar kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde arazi koşullarında yapılan bazı dinamik deney sonuçlarına bağlı olarak geliştirilen korelasyonlar kullanılarak tahmin edilen kayma dalgası hızı hesabında temel unsurun düzeltilmiş SPT-N değeri olduğu gerçeği vurgulanması gereken bir husustur [34-36].

Derin alüvyon çökellerinin geniş yayılım gösterdiği Bartın ilinin geoteknik açıdan zemin özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla bölgede hem kamu hemde özel şirketler tarafından birçok zemin etüt çalışması yaptırılmıştır. Zemin etüt çalışmaları incelenen alanın jeolojik ve geoteknik özelliklerinin saptanması amacıyla yapılan arazi ölçümleri, laboratuvar deneyleri ve büro çalışmalarını kapsamaktadır.

Yapılan bu çalışma için bölgede sondaj ve geoteknik araştırma hizmeti sunan yetkililerin Bartın şehir merkezi ve Amasra ilçelerinde bulunan yoğun yerleşim alanlarındaki toplam 21 mahallede yapmış oldukları yaklaşık 188 sondaj kuyusuna ait sayısal veriler kullanılmıştır. Açılan sondaj kuyularında her 1.5m'de yerinde yapılan SPT ile zemin ortamının penetrasyon direncini gösteren düzeltilmiş darbe sayısı (SPT-N) ilgili sondaj loglarında verilmiştir. Genel anlamda zemin katmanlarının dinamik kesme dirençlerini belirlemeye yönelik olarak yapılan SPT deneyi ile elde edilen düzeltilmiş N darbe sayısı, daneli zeminlerde rölatif sıklıkla kendini tutabilen zeminlerde ise kohezyon ve içsel sürtünme açısına

bağlı değişen kayma mukavemeti parametresiyle ilişkilidir. Bundan dolayı SPT deneyi sonuçlarıyla jeolojik zemin katmanlarının taşıma gücü arasında gerçekçi bağıntılar kurmak mümkün olmaktadır.

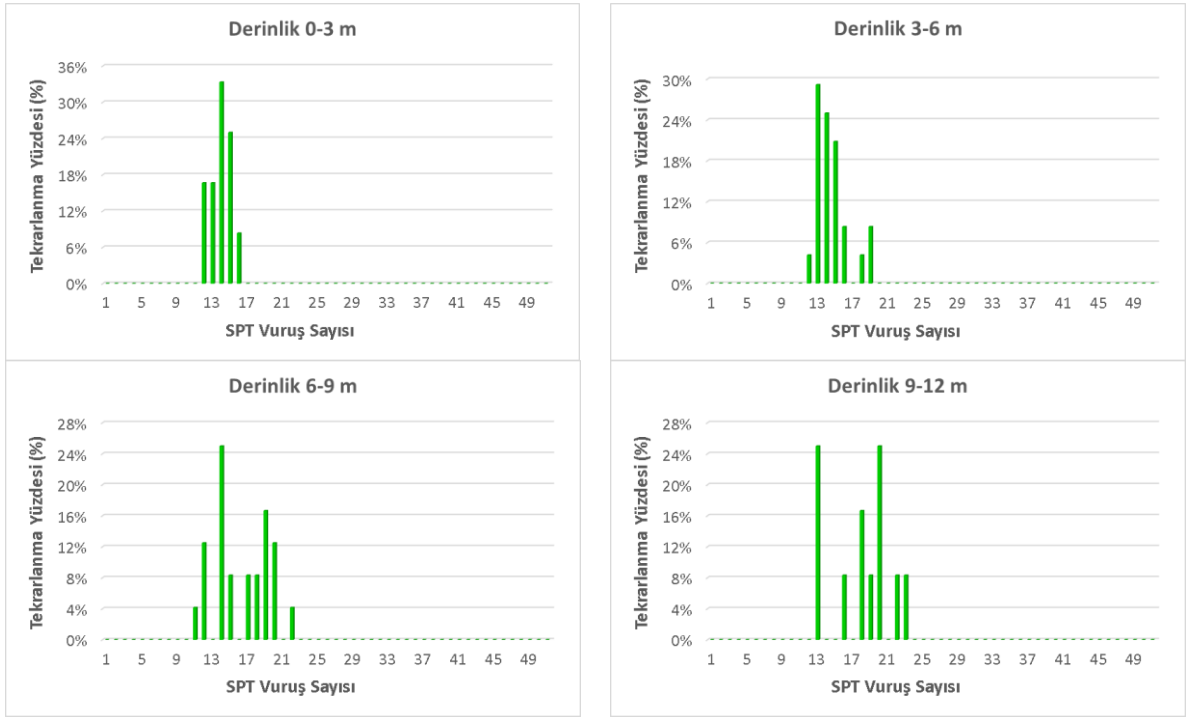
Bartın şehir merkezinde pilot çalışma alanı olarak seçilen toplam 16 mahallede yapılan zemin etüd raporları incelenerek, bölgede açılan sondaj kuyularının farklı derinliklerindeki (0-3m, 3-6m, 6-9m, 9-12m) düzeltilmiş SPT-N değerlerinin tekrarlanma miktarları Şekil 8’de verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, genel olarak Bartın kent merkezinin zemin yüzeyinden itibaren ilk 6m’lik derinliğinde ağırlıklı düzeltilmiş SPT-N sayıları 10-16 arasında değişmektedir. 6m’den sonraki 3m’lik kısımda bu değerler 12-22 arasında değişirken, çalışma kapsamında dikkate alınan diğer bir sondaj derinliği olan 9-12m’lik katmanda düzeltilmiş SPT-N değerleri 16-23 aralığında tekrarlanmaktadır. Düzeltilmiş SPT-N sayılarının genel anlamda Bartın şehir merkezinde zemin yüzeyinden itibaren ilk 6m’lik kısımda 11-16 aralığında değiştiği, bu katmandan sonraki daha derin jeolojik zemin koşullarında arttığı söylenebilir (Şekil 8).



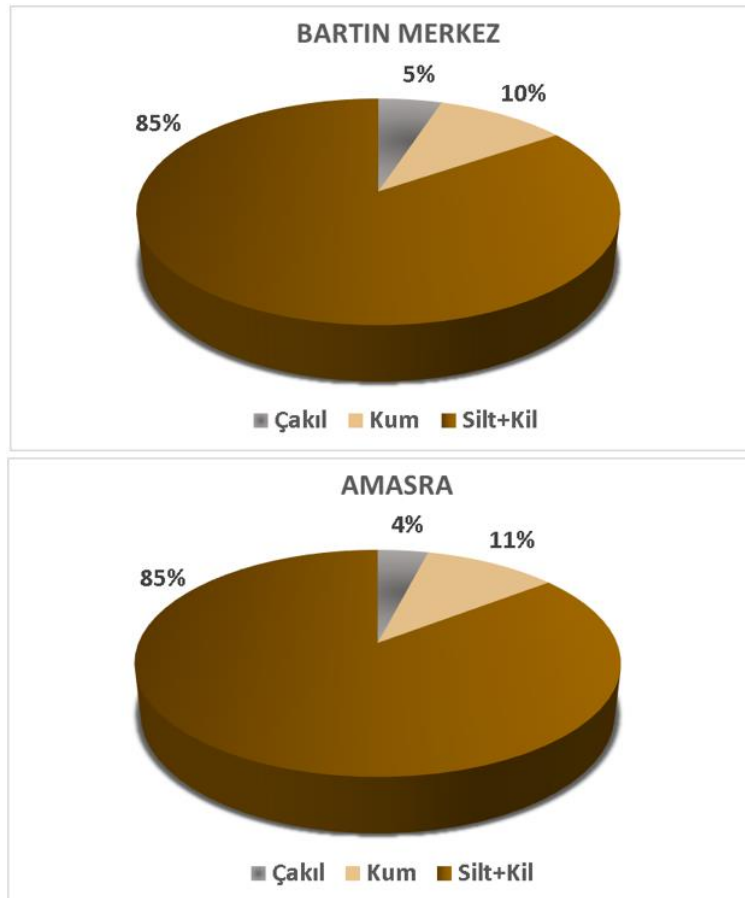
Şekil 8. Bartın ili şehir merkezindeki yerleşim bölgelerine ait düzeltilmiş SPT-N değerinin farklı derinliklere bağlı tekrarlanma miktarı

Çalışma kapsamındaki ikinci inceleme sahası olan Amasra ilçesinde bulunan yerleşim alanlarındaki mahallelerde elde edilen sondaj loglarına göre, bölgenin yüzeysel zemin katmanlarını ifade eden ilk 6m’lik derinlikte düzeltilmiş SPT-N değerleri genel olarak 11-15 aralığında tekrarlanmıştır. İlçedeki daha derin jeolojik zemin ortamlarında elde edilen bu sonucun 6-9 m için 11-19 bandında, 9-12m içinse 12-22 aralığında olduğu söylenebilir. İkinci çalışma sahasındaki analiz sonuçları, zemin yüzeyinden itibaren özellikle 6m’lik derinlikten sonraki katmanlarda tekrarlanma yüzdesi olarak düzeltilmiş SPT-N sayısının daha geniş bir dağılımla artış gösterdiğini göstermektedir (Şekil 9).

Çalışmanın son kısmında 1. ve 2. inceleme sahalarındaki genel zemin formasyonunu ifade eden malzeme dağılım yüzdeleri elde edilerek Şekil 10’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, her iki bölgedeki ağırlıklı zemin ortamının % 85 oranında alüvyonel çökeller olan silt ve kil topraklarından oluştuğu anlaşılmaktadır. Yine her iki bölgede sıvılaşma riski açısından problemliler olarak değerlendirilen kum zeminlerin yüzdelerinin kohezyonsuz çakıllı zeminlerden daha fazla olduğu söylenebilir (Şekil 10).



Şekil 9. Amasra ilçesindeki yerleşim bölgelerine ait düzeltilmiş SPT-N değerinin farklı derinliklere bağlı tekrarlanma miktarı



Şekil 10. Bartın ili kent merkezi ve Amasra ilçesindeki yerleşim alanlarının genel zemin formasyonunun malzeme dağılım yüzdeleri

Yapılan çalışma kapsamında incelenen Bartın şehir merkezindeki mahallere ait zemin etüd raporlarına göre, yüzeyden itibaren 15m'lik derinliğe kadar çoğunlukla az kum, silt ve kil örneklerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin varlığı dikkat çekmektedir. Bartın kent merkezi için Şekil 10'da verilen grafik bu durumu doğrulamaktadır. Yine birinci inceleme sahasındaki plastik kıvamdaki ince daneli zeminlerin çoğunlukla şişme ve oturma potansiyeli yüksek killi birimlerden oluştuğu incelenen etüd raporlarındaki dikkati çeken diğer bir durumdur. Bölgede yapılan zemin araştırmalarında yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu mahallerde bulunan alüvyonel çökeller için sıvılaşma riskini de vurgu yapılmıştır. İkinci çalışma sahası olan Amasra ilçesindeki yerleşim alanlarının genel zemin yapısı ise temelde iki jeolojik formasyondan oluşmaktadır. Bunlardan ilki Apsiyen yaşlı Kilimli Formasyonu (kıltaşı, kumtaşı, şeyl) diğeri ise Kuvaterner yaşlı Alüvyon (kum, silt, kil) birimler olarak özetlenebilir [16, 19, 21]. Bölgede özellikle alüvyal çökellerdeki yerleşim bölgelerinde zeminlerin geoteknik özellikleri açısından denizel kökenli kum zeminlerde oturma ve sıvılaşma problemlerinin oluşabileceği söylenebilir. Bölgede yapılan zemin araştırmaları, her iki çalışma sahasında yer altı su seviyesinin yaklaşık olarak yüzeyden itibaren 3m aşağıda olduğu özellikle kış mevsimlerinde Bartın kent merkezinde su seviyesinin 1.2m'ye düştüğünü göstermektedir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişen küresel iklim koşullarının ülkemizdeki yansımalarına bağlı olarak kıyı kesimlerde olası yağışların artabileceği gerçeği, Karadeniz bölgesinde bir sahil kenti olan Bartın ilinde taşkın ve heyelan açısından irdelenmesi gereken bir husustur. Aynı zamanda bölgedeki fay sisteminin gerilme içeriğinin, Batı Karadeniz Havzasında muhtemel sismik salınımlara sebep olabileceği yadsınamaz bir gerçektir. Bu sebeplerden dolayı bilimsel araştırmalar açısından bakir bir bölge olarak nitelendirilebilecek ve yer aldığı jeolojik koşullar açısından doğal zemin laboratuvarı sayılabilecek Bartın ili çalışma sahası olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında Bartın kent merkezi ve Amasra ilçesindeki yoğun yerleşim alanları pilot inceleme sahası olarak seçilmiştir. Afetler açısından riskli olarak değerlendirilebilecek araştırma sahalarında daha önce yapılmış birçok jeolojik etüd raporları incelenerek bölgenin genel zemin karakteristiği belirlenmeye çalışılmıştır. Geoteknik deprem mühendisliği anlamında önemli olan saha ölçümlerini yansıtan bu araştırma için, her iki çalışma bölgesindeki 21 mahallede açılan toplam 188 sondaj kuyusuna ait mekanik ve dinamik zemin parametreleri kullanılmıştır. Buna ilaveten bölgede en son gerçekleşen su baskını sonrası Bartın şehir merkezindeki taşkın ve heyelan olaylarının boyutu belirlenmeye çalışılmıştır.

Birinci ve ikinci çalışma alanları olan Bartın kent merkezi ile Amasra ilçesindeki yerleşim bölgelerinde, sondaj loglarından elde edilen düzeltilmiş SPT-N sayılarının tekrarlanma yüzdeleri genel olarak derinliğe bağlı artmaktadır. Burada değinilmesi gereken önemli bir husus her iki bölgede zemin yüzeyinden itibaren ilk 6m'deki düzeltilmiş SPT-N değerleriyle 12m'ye kadar daha derin jeolojik katmanlardaki yakın değerlerde tekrarlanma oranının varlığı ve ani yükseliş göstermeyişi inceleme sahasındaki zemin yapısının kıvam ve/veya rölatif sıklık anlamında yumuşak ve/veya gevşek şeklinde yorumlanabilir. Yine elde edilen analiz sonuçlarından her iki çalışma sahasındaki yoğun yerleşimin olduğu mahallelerde özellikle kum, silt ve kil numunelerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin varlığı dikkat çekmektedir. Bölgede yapılan zemin araştırmalarına göre, her iki bölgede yüksek oturma potansiyeline sahip ince daneli zeminlerin varlığına vurgu yapılmış ve özellikle Bartın şehir merkezindeki killerin yapısal özelliklerine bağlı olarak ani oturma davranışı sergileyebileceği söylenebilir.

Bölgenin tektonik anlamda aktif bir deprem bölgesi olduğu ve her iki inceleme sahasında yer altı su seviyesinin yüzeye yakın seyretmesi düşünüldüğünde, inceleme alanlarındaki olası bir fay yırtılması sonucu oluşabilecek sismik salınımlar sonucu alüvyon düzlüklerin sıvılaşma riski muhtemeldir. Burada özellikle yerleşim alanı Karadeniz kıyısında olan Amasra ilçesinin zemin yapısında etkili olan denizel kökenli kumlar olası sıvılaşma riskini daha da artırmaktadır. Kuzey Anadolu Fay kuşağının etkisi altındaki bölgede daha önce Amasra açıklarında meydana gelen ve can kayıplarının yaşandığı 1968

Bartın depreminin yapısal anlamda birçok binayı etkilediği ve Amasra körfezinde küçük boyutlu tsunami hareketleri oluşturduğu unutulmamalıdır. Bölgenin depremselliği açısından önemli olan diğer bir husus özellikle vadi tabanlı olarak değerlendirilebileceğimiz Bartın şehir merkezindeki alüvyal çökellerin varlığına bağlı olası Basen etkisidir. Ana kaya ile serbest zemin titreşimleri arasındaki büyüme oranları sonucu oluşabilecek alüvyon zemin büyütmesinden dolayı bölgedeki mevcut birçok yapı risk altındadır. Buradan hareketle özellikle bölgede yapılacak mühendislik yapılarının tasarım aşamasında veya mevcut binaların sismik değerlendirmesinde rezonans etkisi açısından yapı-zemin sisteminin periyodu, seçilecek temel derinliği, temel tipi, yapı narınlığı, zemin büyütmesi, sıvılaşma, zemin ortamının şişme ve oturma potansiyeli vb. parametrelerin önemli olduğu gerçeği vurgulanması gereken önemli bir husustur.

Araştırma sahasında meydana gelen Haziran 2022 sel afeti sonrası "Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi" olarak ilan edilen Bartın ilinde su baskınlarına bağlı şehir merkezinde oluşan bazı taşkın ve heyelan vakaları yapılan bu çalışmada güncel resimlerle anlatılmıştır. Yaşanan taşkın sonrası arazi koşullarında edinilen izlenimlere göre, özellikle nehir yatakları ve su kanalları çevresindeki mühendislik yapılarıyla bina, işyeri, tarım alanları ve altyapı sistemlerinin önemli oranda etkilendiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bölgede yaşanan taşkın özellikle yerleşim alanı olarak kullanılan bazı mahallelerde heyelan olayına da yol açmıştır. Yaşanan sosyal ve ekonomik olumsuzluklar sonrası, bölgede yapılması gereken dere ıslah çalışmalarının önemi ve nehir yataklarının ve/veya su kanallarının yakın çevresinin yapılaşmaya hiçbir surette açılmaması gerekliliği birkez daha anlaşılmıştır. Afet bölgesi olarak nitelendirilebilecek Batı Karadeniz Havzasında meteorolojik, hidrolojik ve hidrolik verilerin adaptasyonu ile yapılması planlanan taşkın erken uyarı sisteminin bölgede oluşabilecek selleri veya su baskınlarını doğru tahmin etmesi halinde olası hasarlar minimize edilebilir. Ayrıca, oluşturulacak deneysel modelden yağış eşiklerinin temin edilmesi durumunda verilerin Heyelan Erken Uyarı Sistemine aktarılması, çalışma sahasındaki heyelan vakalarına bağlı olası hasarların azaltılmasında etkili bir yöntem olacağı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, tektonik anlamda aktif bir deprem bölgesi olan ve son yıllarda artan şiddetli yağışlarla potansiyel anlamda afet bölgesi olarak değerlendirilebilecek Bartın ilinin bazı yerleşim alanlarındaki lokasyonlarda yapılan bu çalışmanın, hem bölgenin afet durumunu belirlemeye çalışan araştırmacılara hem inceleme sahasında sismik üstyapı tasarımı yapan mühendislere hem de bölgedeki yerleşim noktalarının tespit edilmesinde görev alan şehir planlayıcılarına yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan zemin etüt raporlarının ve sondaj verilerinin teminini sağlayan Jeoloji Mühendisleri Necmettin Berberoğlu ve Sezen Mankadak Özçelik'e teşekkür ederim. Ayrıca, öğrencilikleri sırasında inceleme sahasındaki zemin etüt raporlarına ait verilerin toparlanmasına yardımları olan ve şu an mezun durumdaki eski öğrencilerimiz İnşaat Mühendisleri Ali Mantar, Aylin Kiret, Ayşenur Yüksel, Feride Ercan, Halil Tolga Yıldırım, Kerem Uzun, Merve Bozkurt, Muhammet Aydın ve Müge Şahin'e teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z. Gündüz ve H. Arman, "Zemin Davranışına Uygun Yapı Tasarımı İlkeleri ve Uygulanabilirliği," *Deprem Sempozyumu*, İzmit, Türkiye, 2005, ss. 1237-1243.
- [2] I. Yüksel, H. Arman, F. Göktepe and G. Çeribaşı, "Flood management to prevent flooding damages in western Black Sea region in Turkey," *International Journal of Physical Sciences*, vol. 6, no. 29, pp. 6759-6766, 2011.
- [3] Ü. Şorman, P. Gülkan, H. Önder, M. Yanmaz, V. Doğanoglu, C. Erkay, E. Karaesmen ve D. Yıldız, "Batı ve Doğu Karadeniz Bölgeleri Sel afetleri Araştırma Raporu," Türkiye Mühendisler Birliği, Türkiye, Rap. 1141, 1998.

- [4] H. Turoğlu, "Bartın'da meydana gelen sel ve taşkınlarla ait zarar azaltma ve önleme önerileri," *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V)*, İstanbul, Türkiye, 2005, ss.104-110.
- [5] H. Turoğlu ve H. Özdemir, *Bartın'da sel ve taşkınlar: Sebepler, Etkiler, Önleme ve Zarar Azaltma Önerileri*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Çantay Yayınları, 2005.
- [6] M. Tunay ve A. Ateşoğlu, "Bartın ili taşkın sahalarındaki değişimin uzaktan algılama verileriyle incelenmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. A, s. 2, ss. 60-72, 2004.
- [7] H. Arman, I. Yüksel, L. Saltabaş, F. Göktepe and M. Sandalcı, "Overview of flooding damages and its destructions: a case study of Zonguldak-Bartın basin in Turkey," *Natural Science*, vol. 2, no. 4, pp. 409-417, 2010.
- [8] H. Turoğlu, "İklim değişikliği ve Bartın Çayı havza yönetimi muhtemel sorunları," *Coğrafi Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 1-22, 2014.
- [9] E. Gökyer ve M. Öztürk, "Bartın İli Kentsel Alanı ve Yakın Çevresi Arazi Kullanımlarının Heyelan Risk Değerlendirmesi," *Ulusal Heyelan Sempozyumu Tebliđler*, Ankara, Türkiye, 2016, ss. 241-254.
- [10] B. Görbil, "Stability assessment of the landslide in Bartın Kirazlı bridge dam diversion km: 18+325-18+ 421 segment," M.S. thesis, Department of Geological Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2019.
- [11] Ö. Alptekin, J.L. Nabelek and M.N. Toksöz, "Source mechanism of the Bartın earthquake of September 3, 1968 in north-western Turkey: Evidence for active thrust faulting at the southern Black Sea margin," *Tectonophysics*, vol. 122, no. 1-2, pp. 73-88, 1986.
- [12] İ. Kuşçu, J.Parke, R. White, D. Mc Kenzie, G. Anderson, T. Minshull, N. Görür ve A. Şengör, "Amasra açıklarında (Güneybatı Karadeniz) aktif kütle kayması ve bunun bölgesel tektonik hareketlerle ilişkisi," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, c. 128, ss. 27-47, 2004.
- [13] H. Wedding, "3 Eylül 1968 De Vukua Gelen Bartın-Amasra Yersarsıntısı," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, c. 71, ss. 135-141, 1968.
- [14] İ. Ketin ve Ş. Abdüsselamođlu, "Bartın depreminin etkileri," *Türkiye Jeoloji Bülteni*, c. 12, s. 1-2, ss. 66-76, 1969.
- [15] J.F. Lander, "Seismological Notes-September and October 1968," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 59, no. 2, pp. 1023-1030, 1969.
- [16] S. Mankadak Özçelik, "Bartın İli-Merkez İlçe Tuna Mahallesi Zemin Etüt Raporu," Ayaz Mühendislik, Türkiye, 2017.
- [17] O. Tüysüz, A. Aksay ve E. Yiğitbaş, *Batı Karadeniz Litostratigrafi Birimleri, Stratigrafi Komitesi, Litostratigrafi Birimleri Serisi-1*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2004.
- [18] M. Tokay, "Filyos Çayı Ağzı-Amasra-Bartın-Kozcağız-Çaycuma Bölgesinin jeolojisi," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, c. 46, ss. 58-74, 1955.
- [19] N. Berberoğlu, "Bartın İli-Merkez İlçesi Gölbucağı Mahallesi-Bucak Mevkii Zemin Etüt Raporu," Necmettin Berberoğlu Mühendislik, Türkiye, 2017.



- [20] S. Saner, I. Taner, Z. Aksoy, M. Siyako ve K. Bürkan, “Karabük-Safranbolu Bölgesinin Jeolojisi,” Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Türkiye, Rap. 1322, 1979.
- [21] N. Berberoğlu, “Bartın İli-Amasra İlçesi Kum Mahallesi Zemin Etüt Raporu,” Necmettin Berberoğlu Mühendislik, Türkiye, 2017.
- [22] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2022, 12 Ağustos). *Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- [23] D. Kalafat ve N.M. Toksöz, “Karadeniz’in yakın dönem depremselliğine ve sismotektoniğine genel bir bakış,” *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Toplantısı (ATAG 19)*, Sakarya, Türkiye, 2015, ss. 71.
- [24] D. Kalafat, “An Overview of the Seismicity and Tectonics of the Black Sea,” in *Moment Tensor Solutions: A Useful Tool for Seismotectonics*, 1st ed., Cham, Switzerland: Springer, 2018, pp. 573-588.
- [25] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2022, 22 Temmuz). *Bartın İlinin Afet Tehlike ve Riskleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://bartin.afad.gov.tr/ilimizin-afet-tehlike-ve-riskleri>
- [26] Akar-Su Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., “Batı Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı Yönetici Özeti,” T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Türkiye, 2019.
- [27] K. Terzaghi and R.B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., New York, USA: John Wiley & Sons, 1967.
- [28] A.W. Skempton, “Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation,” *Géotechnique*, vol. 36, no. 3, pp. 425-447, 1986.
- [29] M.A. Stroud, “The standard penetration test in insensitive clays and soft rock,” in *Proceedings of European Symposium on Penetration Resistance*, Stockholm, Sweden, 1974, pp. 367-375.
- [30] H.B. Seed and I.M. Idriss, “Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential,” *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 97, no. 9, pp. 1249-1273, 1971.
- [31] R.B. Peck, W.E. Hanson and T.H. Thornburn, *Foundation Engineering*, 2nd ed., New York, USA: John Wiley & Sons, 1974.
- [32] G.G. Meyerhof, “Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations,” *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, vol. 102, no. 3, pp. 197-228, 1976.
- [33] N. Yoshida ed., *Remedial Measures Against Soil Liquefaction: from Investigation and Design to Implementation*, 1st ed., Rotterdam, Netherlands: CRC Press / Balkema, 1998.
- [34] H. Yıldız, “İstanbul’da Sondaj Kuyularında PS Logging Yöntemi ile Ölçülen Kayma Dalgası Hızının SPT-N İle Değişimi,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [35] N. Yoshida, *Seismic Ground Response Analysis*, 1st ed., New York, USA: Springer, 2015.
- [36] B.M. Das and Z. Luo, *Principles of Soil Dynamics*, 3rd ed., New York, Boston, USA: Cengage Learning India Private Limited, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı İklim Özelliklerine Sahip Fotovoltaik Panel ve Enerji Depolama Entegreli Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Teknik, Ekonomik ve Çevresel Optimizasyonu

 Alpaslan DEMİRCİ^{a,*},  Zafer ÖZTÜRK^b

^a Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Elektronik Fak., Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

^b Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fak., Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

* Sorumlu Yazar e-mail: ademirci@yildiz.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1248158

Öz

Dünya’da artan nüfus, teknolojinin hızla gelişimi ve modern yaşam şeklinin toplumu daha fazla tüketime yönlendirmesi enerjiye olan talebi artırmaktadır. Talep edilen enerjinin yaygın olarak konvansiyonel kaynaklardan karşılanması küresel ısınma başta olmak üzere birçok çevresel ve ekonomik problem oluşturmaktadır. Dahası enerji tüketim araçlarının verimliliklerinin düşük olması ve daha çok konvansiyonel kaynaklara bağımlılığı bu durumu daha da kötüleştirmektedir. Dolayısı ile özellikle fosil kaynaklı enerji tüketiminin yaklaşık %20’sine sahip içten yanmalı araçların elektrikli hale getirilmesi ve bunların enerji taleplerinin yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile karşılanması çok önemlidir. Bu çalışmada elektrikli araç (EA) şarj istasyonlarının solar fotovoltaik panel (FV) ve enerji depolama sistemleri (EDS) ile entegrasyon potansiyeli araştırılmış ve teknik, ekonomik ve çevresel etkileri optimize edilmiştir. Ek olarak önerilen modelin farklı iklimsel özelliklere sahip coğrafi bölgelerdeki etkileri yapılan hassasiyet analizleri ile tespit edilmiştir. Sonuçlar birim enerji maliyetlerinin iklimsel farklılıklara bağlı olarak %21’e kadar artış gösterdiğini ve en iyi sonucun 0,046 \$/kWh ile İzmir ilinde elde edildiğini göstermiştir. Kullanılmayan yenilenebilir enerji oranını azaltmak ve temiz enerji tüketimini artırmak amacıyla kullanılan EDS’ler, solar radyasyon potansiyeli düşük olan şehirlerde amortisman sürecinin proje ömrüne yaklaşmasına sebep olmuştur. Diğer taraftan FV’li hibrit modellerde amortisman süreci 7,88 yıla kadar düşmüştür. Sonuçlar FV-EDS entegreli EA şarj istasyonlarının buldukları bölge iklim özelliklerine bağlı olarak farklı teknik, ekonomik ve çevresel etkilere sahip olabileceğini göstermiştir. Bu durumlar dikkate alınarak altyapı ve yatırımcı teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç şarj istasyonları, Fotovoltaik panel, Hibrit güç sistemleri, Optimizasyon, Sıfır karbon hedefi

Technical, Economic and Environmental Optimization of Electric Vehicle Charging Stations Integrated Photovoltaic Panel and Energy Storage with Different Climatic Characteristics

ABSTRACT

The increasing population in the world, the rapid development of technology, and the modern lifestyle leading society to more consumption increase the energy demand. Meeting the demand for energy widely from conventional sources creates many environmental and economic problems, especially global warming. Moreover,

1913

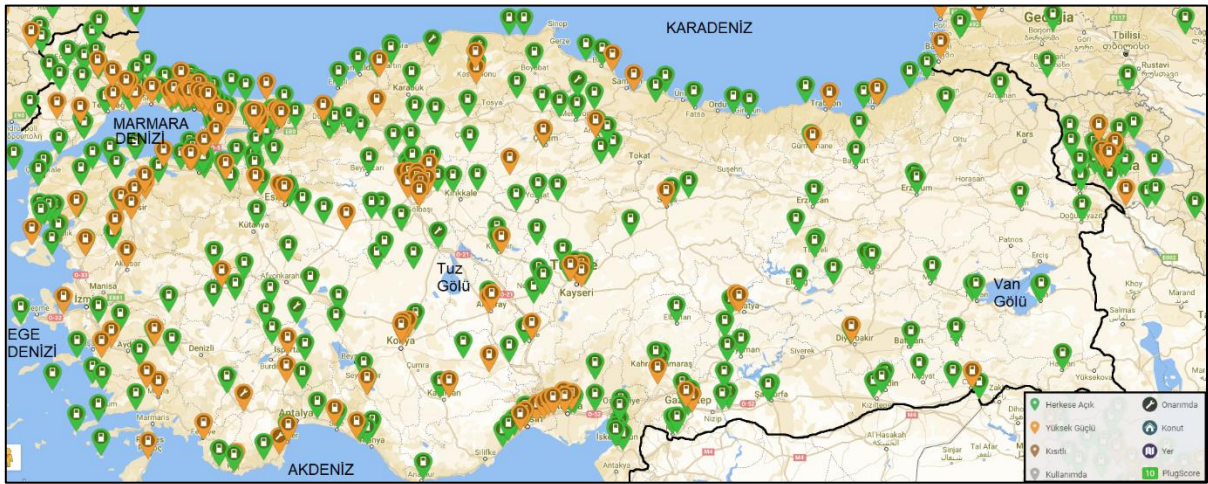
energy consumption devices' low efficiency and dependence on traditional resources further complicate the situation. Therefore, it is essential to electrify internal combustion vehicles, which have approximately 20% of fossil-based energy consumption, and to meet their energy demands with renewable energy systems (RES). In this study, the integration potential of electric vehicle (EV) charge stations with solar photovoltaic panels (PV) and energy storage systems (ESS) was investigated, and their technical, economic, and environmental effects were optimized. In addition, the effects of the proposed model in geographical regions with different climatic characteristics were determined by sensitivity analysis. The results showed that unit energy costs increased up to 21% due to climatic differences, and the best result was obtained in the province of Izmir with \$0.046/kWh. ESSs used to reduce the clipped energy and increase clean energy consumption have caused the depreciation process to approach project life in cities with low solar radiation potential. On the other hand, the amortization period in hybrid models with PV decreased to 7.88 years. The results showed that PV-ESS-integrated EV charge stations might have different technical, economic, and environmental effects depending on the region's climatic characteristics. Developing infrastructure and investor incentive mechanisms is necessary by considering these situations.

Keywords: *Electric vehicle charging station, Hybrid power system, Optimization, Photovoltaic panel, Zero carbon targets.*

I. GİRİŞ

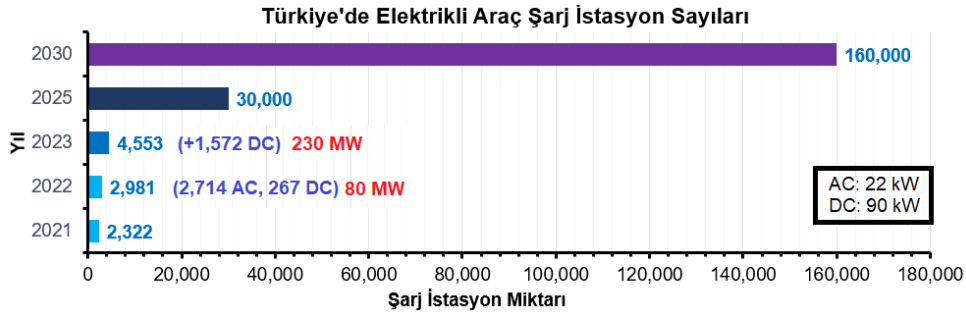
Dünya’da artan nüfus ve toplumların modernleşmesi enerjiye olan gereksinimi ciddi oranda artırmaktadır. Günümüzde enerji kaynaklarının yarısından fazlasını fosil kaynaklar oluşturmaktadır [1]. Bu durum hem çevre açısından olumsuz etkiler oluşturmakta hem de sürdürülebilir enerji yönetimi ile ilgili ciddi kaygılara neden olmaktadır. Dahası, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9 milyara çıkacağı, enerji tüketiminin ise %50'lere kadar artacağı ve küresel ısınmanın ciddi boyutlara ulaşacağı düşünülmektedir [2]. Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak, sera gazı emisyonlarını ve çevre kirliliğini düşürmek amacıyla birçok ülke yıllar boyunca gerekli tedbirler almıştır [3]. İlk olarak 1992'deki Rio Konferansı'nda Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Sözleşmesi ve 1997'deki Kyoto Protokolü ile küresel ısınmayı sınırlamak ve sera gazı emisyonlarının azaltılması adına birtakım kararlar alınmıştır [4]. 21. Taraflar Konferansı (2015) küresel iklim değişikliği müzakerelerine katılan ülkeler sera gazı emisyon azaltım taahhüdünde bulunmuştur [5]. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında iklim değişikliğini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak adına 2015 yılında Paris Antlaşması, 191 ülke tarafından imzalanmıştır. Bu antlaşma ile katılımcı ülkeler sıcaklık artışını 1,5-2⁰C'nin altında sınırlamayı hedeflemiştir [6]. Türkiye, Paris Antlaşması'nı 2016 tarihinde imzalamış ve net sıfır emisyon hedeflerini benimseyerek enerji başta olmak üzere sanayi, ulaştırma, bina, tarım, atık ve doğal varlıkların kullanımı konularında yeni eylem planlarının hazırlanmasını kararlaştırmıştır [7]. Dünya’da enerji tüketiminin %75'i konut ve sanayi gibi mekânsal alanlarda ve geri kalan %25'i ise ulaşımda kullanılmaktadır [8]. Diğer taraftan, CO₂ salınımının %74'ü mekânsal alanlarda ve geri kalan %26'sı ise ulaşımda (büyük çoğunluğu karayolu taşımacılığında) yaşanmaktadır [9]. Yüksek yakıt fiyatları, hızla tükenen petrol kaynakları, artan hava kirliliği ve sera gazındaki artış, enerji sektöründe alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır [10]. Karbon salınımını azaltmak, YEK'lere yönelmek ve çevreyle bütünleşik bir ortam yaratmak için EA'lar ön plana çıkmıştır [11], [12]. Yapılan araştırmalar EA'ların tercih edilmesinde; sürüş menzili ve performansı, şarj süresi, satın alma maliyeti, bakım-onarım maliyeti, şarj istasyon altyapısı ve marka çeşitliliği gibi faktörlerin etkili olduğunu ortaya koymuştur [13]. 2000 yılından sonra özellikle batarya teknolojilerindeki gelişmeler EA pazarının önünü açmış ve satışlar ciddi oranda ivme kazanmıştır. Dünya'nın en büyük EA pazarının ilk üç sırasını Çin, ABD ve Avrupa ülkeleri oluşturmaktadır [14], [15], [16]. 2020 yılı başında Dünya’da yaklaşık olarak üretilen 7,2 milyon adet EA sayısının 2050 yılına gelindiğinde 100 milyonun üzerine çıkması beklenmektedir. Diğer taraftan EA'ların artışıyla beraber talep edilen enerjinin YEK'lerden karşılanması sıfır karbon hedeflerine ulaşılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle kurulacak EA şarj istasyonlarının YEK'lerle bütünleşik olması kaçınılmazdır [17]. EA'ların, fosil yakıtlı motorlu araçlara göre daha çevreci bir enerji kaynağına sahip olsa da birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Bunlara yetersiz batarya kapasitesi, uzun şarj süreleri, altyapının yetersizliği, koruyucu ekipmanlara gereksinimleri, daha pahalı ve kısa menzile sahip olması örnek verilebilir. Şarj süreleri, eksik altyapı sorunları ve menzil problemlerinin çözümüne katkı sağlayacak önemli bir hususda EA şarj

istasyonlarının ülke içerisinde yaygınlaştırılmasıdır. Düzensiz yerleştirilen veya uygun olmayan alanlara kurulan EA şarj istasyonları, EA kullanıcılarını ve buna etken olacak trafik ağlarını olumsuz etkileyeceğinden şarj istasyonlarının yer seçimi oldukça önemlidir [18]. Bu nedenle EA şarj istasyonlarının diğer yakıt istasyonlarına nazaran daha esnek alanlarda ve şebekeye yakın kurulması önemlidir. Buna göre uygun alanların tespit edilmesi ve buna uygun şarj tiplerinin (DC, AC) yerleştirilmesi gerekmektedir. 2014/94/EU direktifinde şarj noktaları standart (<22 kW) ve hızlı (>22 kW) olmak üzere iki tiplidir. Bunun dışında şarj gücüne göre şarj noktaları AC şarj noktaları (AC<7,4 kW, 7,4≤AC≤ 22 kW, AC>22 kW) ve DC şarj noktaları (DC<50 kW, 50≤DC<150 kW, 150≤ DC≤350 kW, DC>350 kW) olmak üzere iki sınıfa ayrılır [19]. Çin, AB, ABD ve diğer bütün ülkeler dikkate alındığında EA şarj istasyon sayısı en çok Çin’de bulunmaktadır. 2015 yılında toplam EA şarj istasyon sayısının %32,1’ine sahip olan Çin, 2021 yılında bu oranı %64,6’ya kadar artırmıştır [20]. AB ülkeleri de 2015 yılında en yüksek kurulum oranına sahipken 2021 yılında ikinci sırada yerini almıştır. Türkiye’deki EA sayıları son yıllarda ciddi oranda artmasına rağmen özellikle birçok gelişmiş Avrupa ülkesinin gerisindedir [21]. EA pazarının yaygınlaşması için devlet destekli adımlar atılmaktadır. Özellikle Türkiye’nin yeni yerli marka (TOGG) bir araç üretimi hedefi ile yola çıkması bu desteklerin artarak devam etme sürecini hızlandırmıştır. Diğer taraftan oluşturulan yatırım teşvik paketleri ile EA şarj istasyon kurulumu, batarya üretimi, araştırma-geliştirme (AR-GE) ve üretim faaliyetlerinin artırılması hedeflenmektedir [22]. Türkiye’de EA’ların yaygınlaşmasının önünde birçok zorluklar olmasına rağmen fırsatlarda bulunmaktadır. Örneğin, benzin fiyatlarının çok yüksek olmasına rağmen elektrik enerjisini satın alma maliyetlerinin görece daha düşük olması EA’ların yaygınlaşması açısından ciddi bir ekonomik avantaj sunmaktadır.



Şekil 1. Türkiye’deki EA şarj istasyon lokasyonları (2023)

Şekil 1’de 2023 yılına göre Türkiye’de yer alan EA şarj istasyon dağılımları görülmektedir [23]. 2022 yılında 2981 adet (2714 AC, 267 DC) olan EA şarj istasyon sayısının 2023’te T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın kısa vadeli bir destek planlaması ile 4553’e çıkarılması hedeflenmektedir. Yapılan planlamalara göre 2025 yılında toplam 30 bin adet, 2030 yılında ise 160 bin adet EA şarj istasyonu kurulumu öngörülmektedir (Şekil 2) [24], [25]. Diğer taraftan nüfusun homojen olmayan dağılımı ve şehirlerarasındaki heterojen gelişmişlik düzeyleri EA’ların bölgesel yaygınlaşma hızını ve dolayısı ile altyapı ve yönetsel planlamaları zorlaştırmaktadır. Bu durum EA şarj istasyonlarının optimal konum ve boyutlandırmasını zorlaştırmakta ve özellikle nüfusun yoğun olduğu gelişmiş sanayi şehirlerinde teknik, ekonomik ve çevresel birçok yeni kısıt ortaya çıkarmaktadır. Oluşan bu kısıtların bertaraf edilmesi için olası alternatif çözümlerden biri de EA şarj istasyonların YEK’ler ile entegrasyonudur.



Şekil 2. Türkiye'de yıllara göre EA şarj istasyon sayılarındaki artış

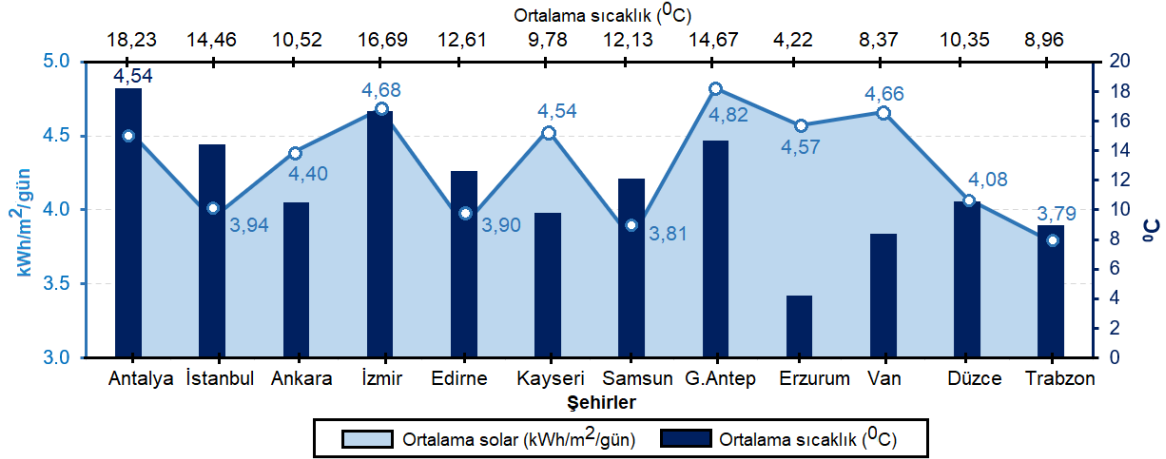
Literatürde EA şarj istasyonlarının optimal konumlandırılması, boyutlandırılması ve YEK'ler ile desteklenme potansiyeli birçok çalışmada araştırılmıştır. Üniversite kampüsünde yer alan EA şarj istasyonlu alışveriş merkezinin şebekeye bağımlılığını azaltmak için dizel jeneratörlü, FV'li ve rüzgâr türbinli hibrit güç sisteminin (HGS) teknik ve ekonomik etkileri iki farklı meta sezgisel algoritma kullanılarak optimize edilmiştir. Optimal senaryolarda yenilenebilir enerji oranını %87'lere kadar çıktığı görülmüştür [26]. Üç farklı bölgede FV'li EA şarj istasyonlarının optimal konfigürasyonları solar radyasyon ve elektrik tarife fiyatları dikkate alınarak analiz edilmiştir [27]. Hollanda'da pik talepleri karşılamak amacıyla FV-EDS'li EA şarj istasyonları, teknik ve ekonomik açıdan analiz edilmiş ve etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar %100 EA'lı penetrasyonda maksimum potansiyel belirlenmiş ve dört farklı mevsim üzerinden RF'ler karşılaştırılmıştır. Kış aylarında %12,6-75,8 arasında RF elde edilirken yaz aylarında bu değer %70,6-91,6 arasında olduğu belirlenmiştir [28]. İspanya'da yapılan çalışmada EA'ların varış zamanını ve şarj durumlarını dikkate alan hızlı şarj özellikli istasyon tasarımı genetik algoritma ile analiz edilmiş ve Monte Carlo yöntemi kullanılarak EA talebine uygun YEK'li HGS optimizasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, YEK'li EV şarj istasyonlarının kârlı olabileceğini ancak yenilenebilir enerji kesintilerini dengelemek için bir şebeke bağlantısına veya bir depolama sistemine ihtiyaç duyulacağı vurgulanmıştır [29]. Bir başka çalışmada Kanada'daki bir bölgede EA şarj istasyon çevresel emisyonlarını dikkate alan ve yaşam döngü maliyetlerini minimize eden optimal HGS tasarımı yapılmış ve farklı senaryolar altında başa-baş mesafeleri değerlendirilmiştir. Şebekeli sistemin şebekesiz sisteme göre birim enerji maliyetini (COE-cost of energy) %11,84 azaltmıştır [30]. FV güç üretime sahip HGS'li EA otoparkının pik fiyatlandırmada şebekeden çektiği güç değerini minimize etmek amacıyla EA'ların optimum şekilde yönetildiği bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmanın yüksek pik fiyat dönemlerinde şebekeden çekilen gücü azalttığı ve EA otopark sahiplerinin kârını da arttırdığı görülmüştür [31]. Türkiye'de yapılan bir çalışmada FV'li HGS'yi içeren bir EA şarj istasyonunun toplam elektrik maliyetini minimize edilmesi amacıyla şarj yönetim modeli önerilmiştir [32]. Heterojen nüfus dağılımı, bölgesel altyapı, gelişmişlik düzeyi ve idari planlama EA şarj istasyonlarının planlı konum ve boyutlandırılmasını ve YEK'li enerji yönetimini zorlaştırmaktadır. EA sahipleri için altyapıyı uygun hale getirmek ve yatırımcılara yol gösterebilmek amacıyla farklı bölgelerdeki EA şarj istasyon altyapılarının detaylı analiz gerekliliği belirtilmiştir [33]. Bu çalışmada, EA şarj istasyonlarını YEK ile entegre ederek belirtilen bu zorlukların üstesinden gelebilmek için FV tabanlı HGS'lerin teknik, ekonomik ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca farklı iklim bölgeleri için EDS'nin HGS üzerindeki etkileri dikkate alınarak optimal boyutlandırma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde konu ile ilgili literatür taraması açıklanmıştır. Bunun dışında Bölüm 2'de metodoloji ve yöntem, Bölüm 3'te hibrit güç sisteminin modellenmesi, Bölüm 4'te oluşturulan HGS'nin optimizasyon sonuçları ve Bölüm 5'te ise genel sonuçlar açıklanmıştır.

II. METODOLOJİ VE YÖNTEM

A. BÖLGELERİN SOLAR RADYASYON VE SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

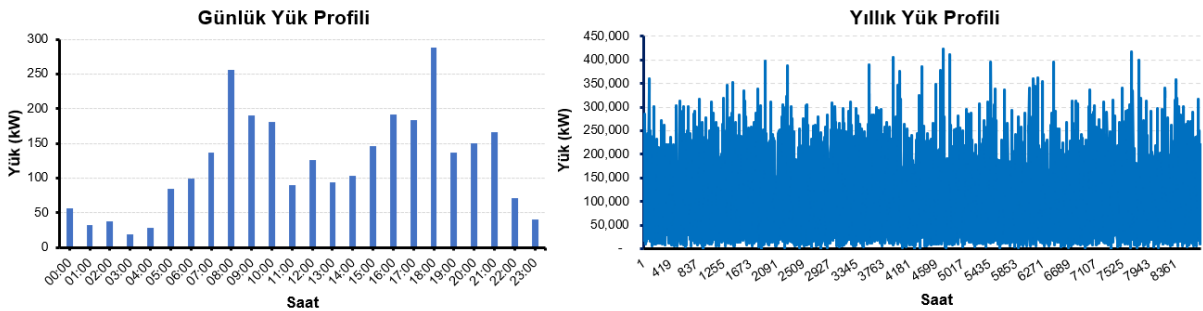
Türkiye'nin farklı bölgelerini temsil eden 12 ilin yıllık ortalama sıcaklık ve solar radyasyon verileri Şekil 3'te görülmektedir [34], [35]. Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum itibarıyla ortalama sıcaklık ve radyasyon değerleri sırasıyla 4,22-18,23°C ve 3,79-4,82 kWh/m²/gün aralığında değişmektedir.



Şekil 3. Yıllık ortalama sıcaklık ve solar radyasyon (GHI) verileri

B. EA ŞARJ İSTASYONU YÜK PROFİLİ

Yük profili, EA şarj istasyonu ve bu istasyonun temel elektrik yükü olmak üzere iki farklı profil üzerinden oluşturulmuştur. HOMER Grid [36] isteğe bağlı EA şarj modeli ile kullanıcı şarj talepleri dikkate alınarak yavaş ve hızlı şarj istasyonları tanımlanmıştır. EA şarj istasyonu için temel yük profili olarak 50 kWh/gün ve 6,84 kW/pik değerleri baz alınmıştır. EA şarj istasyonu yük profili ortalama 2.513 kWh/gün olmaktadır. Yük profillerinin günlük ve yıllık gösterimleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu yük profilinin, belirlenen tüm bölgelerde aynı şekilde kullanılması öngörülmüştür.



Şekil 4. EA şarj istasyonu yük profili

EA şarj istasyonundaki şarj hızlarına ve güç durumlarına bağlı olarak EA'lar belirli zamanlarda şarj olurlar. Sistem boyutlandırma bu parametreler dikkate alınarak güç kapasitesi belirlenir. EA'ları şarj etmek için gereken sürenin formülü Eşitlik (1)'de ve t zamanında toplam EA güç değeri Eşitlik (2)'de verilmiştir [37].

$$\tau_{e,j} = \left\lceil st_{e,j} + \frac{ER_e}{P_{EV(max)}} \right\rceil \quad (1)$$

$$P_{EV}^t = \sum_{j=1}^{N_{EV}} P_{EV(j,t)} \quad \forall t; \quad P_{EV(j,t)} = \begin{cases} P_{EV(max)} & t \in \tau_{e,j} \\ 0 & t \notin \tau_{e,j} \end{cases} \quad (2)$$

Her iki eşitlikte verilenlere göre $\tau_{e,j}$ her bir e özellikli j 'ninci EA şarj edilmesi için gereken süre (saat), $st_{e,j}$ her bir EA şarj başlama zamanını (saat), ER_e EA'ların ihtiyaç duyduğu ortalama enerji (kWh), $P_{EV(max)}$ maksimum şarj gücü (kW), P_{EV}^t t zamanındaki toplam EA yükü (kW), $P_{EV(j,t)}$ t zamanında her bir EA'nın şarj gücü (kW) ve N_{EV} aynı model EA sayısıdır. Bu çalışmada kullanılan EA şarj istasyonların teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan EA şarj istasyonların teknik özellikleri

EA Tipi	Maksimum Şarj Gücü	Ortalama Şarj Süresi	EA Şarj Sayısı
Güçlü EA	100 kW AC	20 dakika	2 adet
Küçük EA	22 kW AC	20 dakika	8 adet

Tablo 2'de çalışmada kullanılan üç zamanlı tarife birim enerji maliyetleri görülmektedir [38], [39].

Tablo 2. Şebeke enerji tarifeleri ve maliyetleri

Tarif Türü	Şebeke Alış Tarifesi			Şebeke Satış Tarifesi
	Gündüz Tarifesi	Puant Tarifesi	Gece Tarifesi	
Saat aralığı	06:00-17:00	17:00-22:00	22:00-06:00	24 saat
Maliyetler	0,100 \$/kWh	0,160 \$/kWh	0,056 \$/kWh	0,051 \$/kWh

C. FOTOVOLTAİK PANEL

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemli bileşenlerden birisi de güneş solar enerjisi ile elektrik üretimini sağlayan fotovoltaik paneller (FV) olup bu paneller EA şarj istasyonları için ana bileşendir. Bu panellerin performansları küresel olarak güneş radyasyon değerine, panel üzerinde oluşan sıcaklık değerine ve paneldeki verim değerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Eşitlik (3)'te FV dizisinin ürettiği güç miktarı ve Eşitlik (4)'te FV dizisinin hücre sıcaklığı görülmektedir [40].

$$P_{PV}(t) = Y_{PV} \cdot f_{PV} \cdot \left(\frac{G_T(t)}{G_{T,STC}} \right) \cdot [1 + \alpha_P \cdot (T_C(t) - T_{C,STC})] \quad (3)$$

$$T_C(t) = T_a(t) + \frac{G_T(t)}{800} \cdot (T_{NOCT} - 20) \quad (4)$$

Her iki eşitlikte verilenlere göre $P_{PV}(t)$ FV dizisinin t anında ürettiği güç değeri (kW), Y_{PV} FV dizisinin 25°C sıcaklığı altındaki anma güç kapasitesi (kW), f_{PV} FV panelin değer kaybı faktörü (%), $G_T(t)$ t anında FV dizisindeki güneş radyasyonunun etkisi (kW/m²), $G_{T,STC}$ FV dizisinin 25°C sıcaklığı altındaki güneş radyasyonunun etkisi (1 kW/m²), α_P FV dizisinde üretilen gücün sıcaklık katsayısı (0,1 %/°C), $T_C(t)$ t anında FV hücre sıcaklığı (°C), $T_{C,STC}$ FV dizisinin 25°C sıcaklığı altındaki hücre sıcaklığı (°C), $T_a(t)$ t anında ortam sıcaklığı (°C) ve T_{NOCT} FV dizisinin normal çalışma sıcaklığı (°C) şeklindedir. Bu çalışmada 600 kW'lık güce, %80 verimliliğe ve 20 yıl ömre sahip FV panel tercih edilmiştir.

D. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Üretilen enerjinin verimli olarak değerlendirilmesinde ve fazla enerjinin ise depolanmasında enerji depolama sistemleri (EDS)'ler EA şarj istasyonları için oldukça önemlidir. EDS'in çıkış enerjisi, şarj ya da deşarj olma durumuna göre değişmektedir. EDS'in t anında oluşturduğu enerji miktarı Eşitlik (5)'te görülmektedir [41].

$$E_{ESS}(t) = \begin{cases} E_{ESS}(t-1) + \eta_{\text{şarj}} \cdot P_{ESS}(t) \cdot \Delta t & ; P_{ESS}(t) > 0 \\ E_{ESS}(t-1) + \frac{P_{ESS}(t)}{\eta_{\text{deşarj}}} \cdot \Delta t & ; P_{ESS}(t) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlikteki verilere göre $E_{ESS}(t)$ şarj veya deşarj durumuna göre EDS'nin t anındaki enerji miktarı (kWh), $E_{ESS}(t-1)$ EDS'nin bir önceki durumdaki enerji miktarı (kWh), $P_{ESS}(t)$ EDS'nin t anındaki güç çıkış değeri (kW), $\eta_{\text{şarj}}$ DC'deki şarj durumundaki EDS verimliliği (%), $\eta_{\text{deşarj}}$ DC'deki deşarj durumundaki EDS verimliliği (%) ve Δt zaman değişimi (saat) şeklindedir. EA şarj istasyonlarında elektrokimyasal Lityum-iyon özellikli EDS'ler tercih edilmektedir. Bu çalışmada 3,7 V nominal voltajlı, 1,02 kWh nominal kapasiteli, 276 Ah kapasiteli, 15 yıl ömürlü, %40 minimum şarj durumu, %20 değiştirme bozulma limitli, 60 °C maksimum çalışma sıcaklıklı, 270 A maksimum şarj akımlı ve 810 A maksimum deşarj akımlı Lityum-İyon (ASM) özellikli EDS tercih edilmiştir.

E. KONVERTÖRLER

HGS'de AC ile DC sistemler arasındaki enerji alışverişi sağlamak amacıyla konvertörler kullanılır. Bir konvertör, invertör ve doğrultucudan meydana gelir. Konvertör gücünün uygun boyutta seçilmesi, HGS modellemesi açısından oldukça önemlidir. İntertör çıkış güç ifadesi Eşitlik (6)'da ve doğrultucunun çıkış güç ifadesi ise Eşitlik (7)'de gösterilmiştir [42].

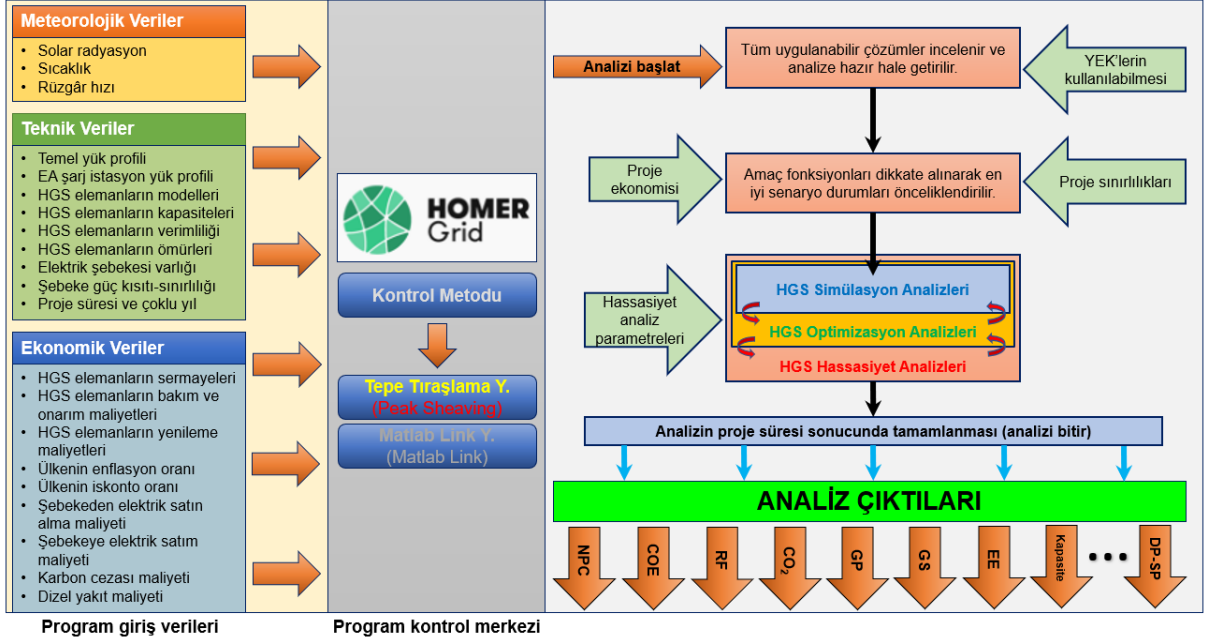
$$P_{inv}(t) = \eta_{inv} \cdot P_{DC}(t) \quad (6)$$

$$P_{rec}(t) = \eta_{rec} \cdot P_{AC}(t) \quad (7)$$

Her iki eşitlikteki verilere göre $P_{inv}(t)$ t anındaki invertör çıkış gücü (kW), η_{inv} invertör verimliliği (%), $P_{DC}(t)$ t anındaki DC bara güç değeri (kW), $P_{rec}(t)$ t anındaki doğrultucu çıkış gücü (kW), η_{rec} doğrultucu verimliliği (%) ve $P_{AC}(t)$ t anındaki AC bara güç değeri (kW) şeklindedir. Bu çalışmada 15 yıl ömürlü, $\eta_{inv} = \%98$ ve $\eta_{rec} = \%95$ verimli bir konvertör tercih edilmiştir.

F. KULLANILAN YAZILIM

Hibrit güç sistemlerinin modellenmesinde, simülasyonunda ve kapsamlı analizinde HOMER Grid yazılımı kullanılmıştır. Şekil 5'te HOMER Grid yazılımının kontrol yapısı görülmektedir [43]. HOMER Grid, dağıtılmış ve şebekeye bağlı sistemler içerisinde YEK'leri etkili ve uygun güçte belirlenmesinin yanında elektrik maliyetlerini en etkili yoldan nasıl düşürebileceğini araştıran ve analiz eden bir optimizasyon aracıdır. Şebeke maliyetlerini, ülkelerin ekonomik parametrelerini (enflasyon ve iskonto oranları), bölgelerin meteorolojik verilerini (güneş, rüzgâr vb.) ve kurulacak sistemin yatırım maliyetlerini dikkate alarak teknik, ekonomik ve çevresel etkileri derinlemesine analiz eder. Ayrıca yazılımın optimizasyon ve hassasiyet analiz algoritmaları, birçok olası sistem konfigürasyonunun değerlendirilmesini oldukça kolaylaştırır. Optimizasyon analizinde "Tepe Yük Tıraşlama" kontrol metodu kullanılarak HGS bileşenleri boyutlandırılmıştır. Bu metot ile şebekeden satın alınan pik güç değeri kısıtlanır ve enerji maliyetleri azaltılarak en düşük maliyetli hibrit güç sistemi yönetimi sağlanır [36].



Şekil 5. HOMER Grid yazılımının kontrol yapısı

G. TEKNİK VE EKONOMİK PARAMETRELER

Şimdiki Toplam Net Maliyet (NPC-Net Present Cost): HGS'nin proje ömrü boyunca kazanılan tüm gelirlerin bugünkü değerinden, proje ömrü boyunca tüm maliyetlerin bugünkü değerinin çıkarılmasıyla elde edilir. HOMER Grid yazılımı enflasyon ve iskonto oranlarını dikkate alarak toplam net şimdiki maliyeti proje ömrü sonuna göre hesaplar. Sistemin toplam net şimdiki maliyet formülü Eşitlik (8)'de ve yıllık reel faiz oranı ifadesi ise Eşitlik (9)'da verilmiştir [44]. Eşitliklerde verilenlere göre NPC proje ömrü sonundaki şimdiki net toplam maliyet (\$), $C_{ann,tot}$ sistemin yıllık toplam maliyeti (\$/yıl), i yıllık reel faiz oranı (%), N proje ömrü (yıl), f beklenen enflasyon oranı (%) ve i' nominal faiz oranı (%) şeklindedir. Bu çalışmada proje ömrü 20 yıl, enflasyon oranı (IR -inflation rate) %23,31 ve iskonto oranı (DR -discount rate) %14 alınmıştır [45].

$$NPC = C_{ann,tot} \cdot \frac{i \cdot (1 + i) - 1}{i \cdot (1 + i)^N} \quad (8)$$

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (9)$$

Eşitlik (10)'da HGS amaç fonksiyon denklemini görülmektedir.

$$f = \min\{NPC\} \quad (10)$$

Birim Enerji Maliyeti (COE): HGS tarafından üretilen faydalı enerjinin kWh başına ortalama maliyeti şeklinde tanımlanır. Birim enerji maliyet ifadesi Eşitlik (11)'de verilmiştir [46]. Eşitlikteki verilenlere göre COE sistemin birim enerji maliyeti (\$/kWh) ve E_{load} hizmet verilen toplam elektrik yük miktarı (kWh/yıl) şeklindedir.

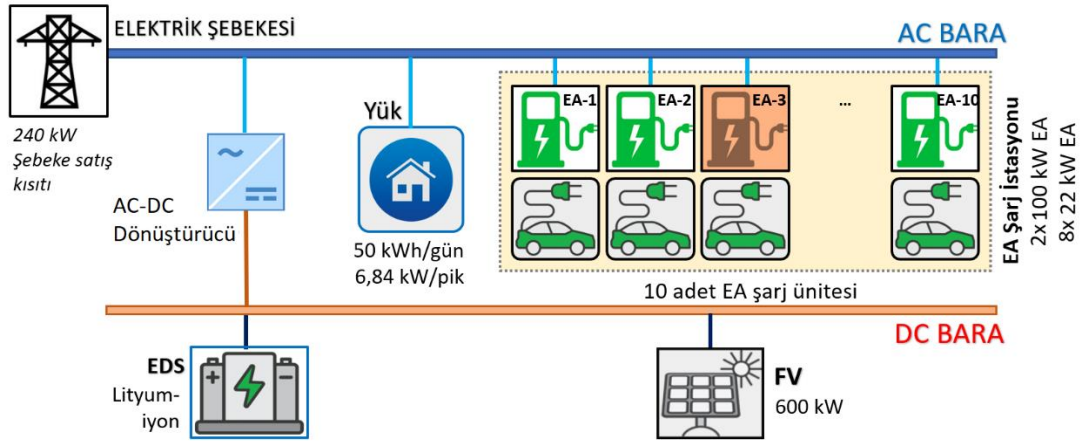
$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{load}} \quad (11)$$

Yenilenebilir Enerji Oranı (RF-Renewable Fraction): Yüke aktarılan toplam yıllık YEK enerjisinin oranını gösterir. Eşitlik (12)'te RF oranı görülmektedir [44]. Eşitlikte verilenlere göre RF yenilenebilir

enerji oranı (%), E_{no_ren} konvansiyonel enerji kaynağından (dizel vb.) üretilen ve/veya şebekeden alınan enerji miktarı (kWh/yıl) ve E_{load} yükün enerji ihtiyacı (kWh/yıl) şeklindedir.

$$RF = 1 - \frac{E_{no_ren}}{E_{load}} \quad (12)$$

III. HİBRİT GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ



Şekil 6. Hibrit güç sistemi modellenmesi

Hibrit güç sistemi modeli Şekil 6'da görülmektedir. EA şarj istasyonunda 10 adet EA şarj ünitesi tanımlanmış olup, bunlardan 8 tanesi maksimum 22 kW'lık şarj güçlü, 2 tanesi ise maksimum 100 kW'lık hızlı şarjlı olarak tercih edilmiştir. Sistem modellenirken şebeke kapasite kısıtları dikkate alınarak FV kurulu gücünün maksimum %40'ına kadar enerji satışına izin verilmiştir. HGS bileşenlerinin her birinin yatırım, değiştirme ve bakım-onarım (O&M) maliyetleri Tablo 3'te verilmiştir [47].

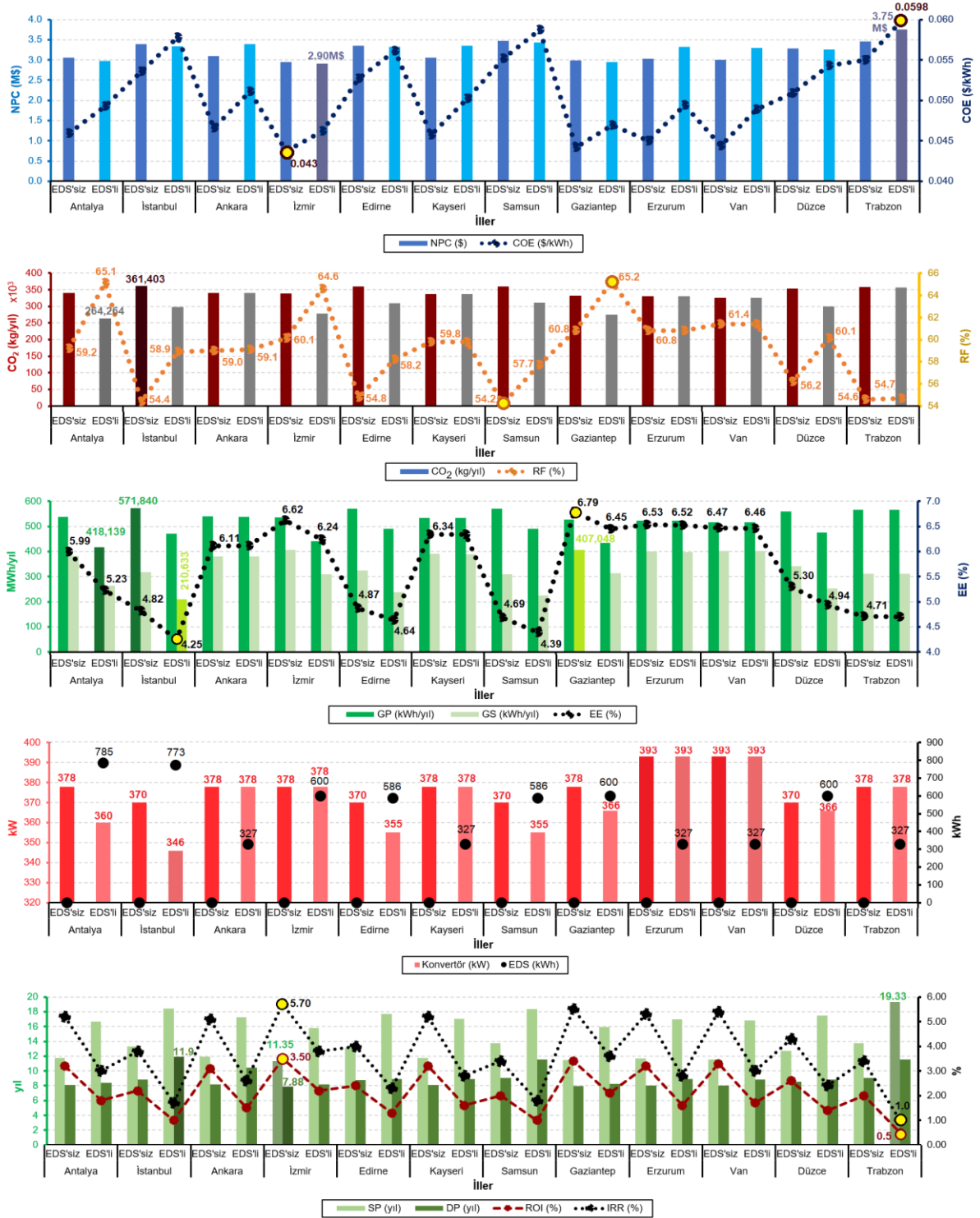
Tablo 3. HGS elemanlarının maliyetleri

Maliyetler	FV	EDS	Konvertör
Sermaye maliyeti	1000 \$/kW	300 \$/kWh	300 \$/kW
Yenileme maliyeti	900 \$/kW	250 \$/kWh	300 \$/kW
Bakım-onarım maliyeti	10 \$/yıl/kW	2 \$/yıl/kWh	0,02 \$/yıl/kW

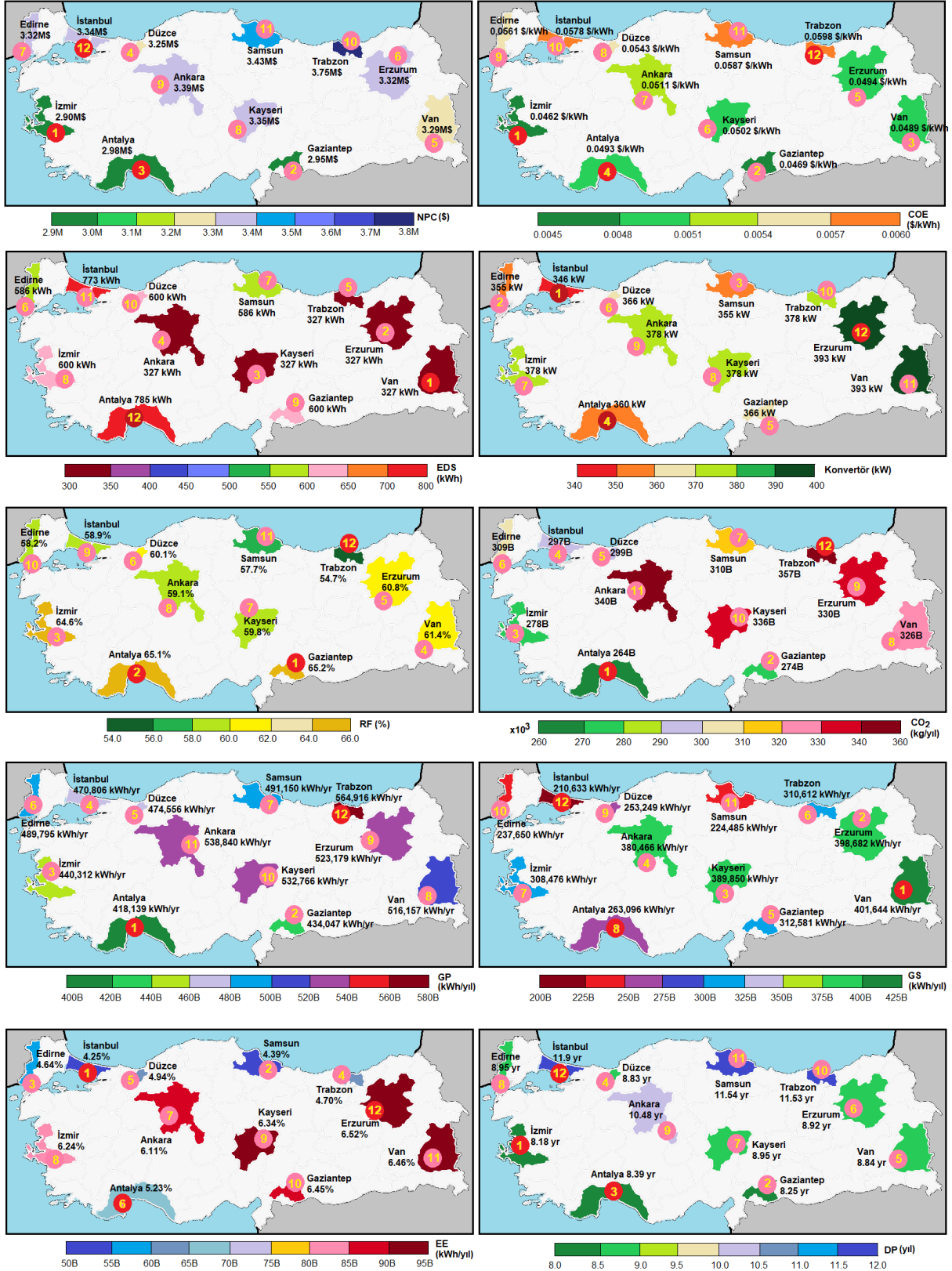
IV. OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum itibariyle ortalama sıcaklık ve radyasyon değerleri Şekil 3'te görüldüğü gibi sırasıyla 4,22-18,23°C ve 3,79-4,82 kWh/m²/gün aralığında değişir. Elde edilen optimal HGS sonuçları ve EDS entegrasyonunun önerilen HGS'ye etkileri Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. Bu bölümde farklı coğrafi bölgelerdeki 12 ilde kurulabilecek EA şarj istasyon FV-EDS potansiyeli araştırılmıştır. Her bir HGS senaryosu için optimal AC/DC dönüştürücü (konverter) kapasiteleri Şekil 7'de görülmektedir. Optimizasyon sonuçları, optimal DC/AC oranının 1,52-1,73 arasında değerler aldığı göstermiştir. Yalnız FV'li senaryolarda iklimsel değişimlere bağlı olarak COE ve RF sırasıyla

21% ve %12'ye kadar artış göstermiştir. En iyi RF %61.4 ile Van'da elde edilmiştir. Bu durumun önemli sebeplerinden biride Van'ın İzmir ile yaklaşık aynı solar radyasyona sahip olmakla birlikte günlük ortalama sıcaklık değerinin İzmir'in sıcaklığının yarısı kadar olmasıdır. Diğer taraftan optimum NPC İzmir'de gerçekleşmiştir. İklimsel özelliklere bağlı olarak EDS'siz senaryolarda SP 11-14 yıl arasında gerçekleşmiştir. EDS'li senaryolarda ise özellikle solar radyasyon potansiyelleri düşük olan şehirlerde SP'lerin proje ömrüne yaklaştığı görülmüştür.



Şekil 7. EA şarj istasyonlarının teknik, ekonomik ve çevresel analiz sonuçları



Şekil 8. EA şarj istasyonlarının analiz sonuçlarının kategorik sıralaması

Tablo 4 ve Tablo 5'te analiz sonuçlarının en iyi ve en kötü performans gösteren şehirleri sınıflandırılarak verilmiştir. Ayrıca tablolarda incelenen bölgeler için her bir değişkenin alt-üst sınırlarının nasıl değiştiği görülmektedir.

Tablo 4. Teknik, ekonomik ve çevresel performans karşılaştırması (EDS'siz)

Parametreler	En İyi Senaryo	En Kötü Senaryo	Durumlar
Şimdiki toplam net maliyet – NPC (\$)	İzmir (2.954.412 \$)	Samsun (3.467.190 \$)	2,95M\$ ≤ NPC ≤ 3,46M\$
Birim enerji maliyeti – COE (\$/kWh)	İzmir (0,04370 \$/kWh)	Samsun (0,05520 \$/kWh)	0,0437 ≤ COE ≤ 0,0552
Yenilenebilir enerji oranı – RF (%)	Van (%61,4)	Samsun (%54,2)	%54,2 ≤ RF ≤ %61,4
Şebekeden enerji alımı – GP (kWh/yıl)	Van (516.437 kWh/yıl)	İstanbul (571.840 kWh/yıl)	516.437 ≤ GP ≤ 571.840
Şebekeye enerji satımı – GS (kWh/yıl)	Gaziantep (407.048 kWh/yıl)	Samsun (309.935 kWh/yıl)	309.935 ≤ GS ≤ 407.048
Kullanılmayan enerji – EE (%)	Samsun (%4,69)	Gaziantep (%6,79)	%4,69 ≤ EE ≤ %6,79
CO ₂ (kg/yıl)	Van (326.388 kg/yıl)	İstanbul (361.403 kg/yıl)	326.388 ≤ CO ₂ ≤ 361.403
Basit geri ödeme süresi – SP (yıl)	İzmir (11,35 yıl)	Trabzon (13,73 yıl)	11,35 ≤ SP ≤ 13,73
İndirimli geri ödeme süresi – DP (yıl)	İzmir (7,88 yıl)	Trabzon (9,06 yıl)	7,88 ≤ DP ≤ 9,06
Yatırım getirisi – ROI (%)	İzmir (%3,5)	Samsun (%2,0)	%2,0 ≤ ROI ≤ %3,5
İç getiri oranı – IRR (%)	İzmir (%5,7)	Samsun (%3,4)	%3,4 ≤ IRR ≤ %5,7

Tablo 5. Teknik, ekonomik ve çevresel performans karşılaştırması (EDS'li)

Parametreler	En İyi Senaryo	En Kötü Senaryo	Durumlar
Şimdiki toplam net maliyet – NPC (\$)	İzmir (2.902.011 \$)	Trabzon (3.757.383 \$)	2,90M\$ ≤ NPC ≤ 3,75M\$
Birim enerji maliyeti – COE (\$/kWh)	İzmir (0,04620 \$/kWh)	Trabzon (0,05980 \$/kWh)	0,0462 ≤ COE ≤ 0,0598
Yenilenebilir enerji oranı – RF (%)	Gaziantep (%65,2)	Trabzon (%54,7)	%54,7 ≤ RF ≤ %65,2
Şebekeden enerji alımı – GP (kWh/yıl)	Antalya (418.139 kWh/yıl)	Trabzon (564.916 kWh/yıl)	418.139 ≤ GP ≤ 564.916
Şebekeye enerji satımı – GS (kWh/yıl)	Van (401.644 kWh/yıl)	İstanbul (210.633 kWh/yıl)	210.633 ≤ GS ≤ 401.644
Kullanılmayan enerji – EE (%)	İstanbul (%4,25)	Erzurum (%6,52)	%4,25 ≤ EE ≤ %6,52

Tablo 5 (devam). Teknik, ekonomik ve çevresel performans karşılaştırması (EDS'li)

CO₂ (kg/yıl)	Antalya (264.264 kg/yıl)	Trabzon (357.027 kg/yıl)	$264.264 \leq CO_2 \leq 357.027$
Basit geri ödeme süresi – SP (yıl)	İzmir (15,77 yıl)	Trabzon (19,33 yıl)	$15,77 \leq SP \leq 19,33$
İndirimli geri ödeme süresi – DP (yıl)	İzmir (8,18 yıl)	İstanbul (11,9 yıl)	$8,18 \leq DP \leq 11,9$
Yatırım getirisi – ROI (%)	İzmir (%2,2)	Trabzon (%0,5)	$\%0,5 \leq ROI \leq \%2,2$
İç getiri oranı – IRR (%)	İzmir (%3,8)	Trabzon (%1,1)	$\%1,1 \leq IRR \leq \%3,8$

Sonuçlar incelendiğinde İzmir için HGS teknik, ekonomik ve çevresel performansı oldukça iyidir. Bunun haricinde Antalya ili GP ve CO₂, Gaziantep ili RF, Van ili GS ve İstanbul ili ise EE açısından en iyi değerleri almıştır. Genel itibari ile en iyi sonuçlar solar radyasyonu yüksek Ege ve Akdeniz bölgelerinde elde edilmiştir. Diğer taraftan bulutlu gün sayısının fazla olduğu Karadeniz bölgesinde optimal senaryolarda RF diğer bölgelere göre %10'a kadar daha düşüktür. Örneğin Trabzon'da EDS'siz HGS'li EA şarj istasyonlarında SP 14 yıla kadar artarken, RF %54.2'ye kadar düşmüştür. Diğer taraftan solar radyasyonu yüksek olan şehirlerde EDS kapasiteleri artarak en yüksek değeri almıştır. Örneğin Akdeniz bölgesi Antalya ili için EDS kapasitesi 785 kWh'e kadar artarken, solar potansiyeli görece daha düşük olan Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde bu değer 300 kWh'lere kadar düşmüştür.

V. SONUÇ

Sürdürülebilir enerji ve çevre hedefleri doğrultusunda elektrikli araç (EA) pazarı dünya çapında hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. EA şarj taleplerinin karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile destekli temiz enerji altyapısının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada iklimsel özellikleri farklı 12 il için fotovoltaik panel (FV) ile enerji depolama sistem (EDS) entegreli EA şarj istasyonunun teknik, ekonomik ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. En iyi ekonomik sonuçlar alınan İzmir'de, iklimsel özelliklere bağlı olarak en kötü ekonomik sonuç alınan Samsun ve Trabzon illerine göre %22,6'ya kadar şimdiki toplam net maliyet (NPC) daha düşüktür. Bu sayede indirimli geri ödeme süresi (DP) 8,18 yıla kadar düşerek proje amortismanı diğer illere göre 3,72 yıla kadar daha kısa sürede gerçekleşmiştir. EDS'siz senaryolarda iklimsel değişimlere bağlı olarak NPC %15'e kadar yükselmiş ve buna bağlı olarak DP 1,2 yıla kadar artmıştır. Yenilenebilir enerji oranı (RF) %61,4'e kadar artış göstermiş ve bu sayede karbon salınımı %26 azalmıştır. Solar radyasyon potansiyelinin yüksek olduğu şehirlerde şebekeden satın alınan enerji %10'a kadar azalırken şebekeye satılan enerji 2 katı artış göstermiştir. EDS'li senaryolarda özellikle solar radyasyon potansiyeli düşük olan şehirlerde batarya maliyetlerine bağlı olarak basit geri ödeme süresi (SP) proje ömrüne yaklaşmıştır. EDS entegrasyonu ile RF %65,2'ye kadar yükselerek şebeke enerji bağımlılığı azalmış ve daha çevreci bir hibrit güç sistemi (HGS) elde edilmiştir. Böylece EDS entegrasyonu ile karbon salınımı %20'ye kadar azaltılabilmektedir. Diğer taraftan iklimsel özelliklere bağlı olarak optimal EDS'li senaryolarda karbon salınımı 92.763 kg/yıl'a kadar farklılık gösterirken EDS'siz senaryolarda bu fark sadece 35.015 kg/yıl olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar, EA şarj istasyonlarının farklı iklim koşullarına bağlı olarak farklı teknik, ekonomik ve çevresel performans gösterebileceğini ve bu durumların dikkate alınarak altyapı ve yönetim modellerinin geliştirilmesi gerekliliğini göstermiştir. Gelecekteki çalışmalar, solar radyasyon ve diğer alternatif enerji kaynakları arasındaki sinerjileri göz önünde bulundurarak, güneşsiz saatlerde rüzgar gibi alternatif kaynakların potansiyelini incelemeye odaklanabilir. Ayrıca enerji satın alma maliyetleri ve solar radyasyon potansiyelleri dikkate alınarak sıfır karbon hedefi doğrultusunda teşvik paketleri geliştirilerek sürdürülebilir kalkınma süreçleri hızlandırılabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] T. Igogo, K. Awuah-Offei, A. Newman, T. Lowder, and J. Engel-Cox, "Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches," *Applied Energy*, vol. 300, p. 117375, pp. 1-13, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117375.
- [2] G. E. Halkos, and E.-C. Gkampakou, "Reviewing Usage, Potentials, and Limitations of Renewable Energy Sources," *Energies*, vol. 13, no. 11, p. 2906, pp. 1-19, Jun. 2020, doi: 10.3390/en13112906.
- [3] O. Ekren, C. Hakan Canbaz, and Ç. B. Güvel, "Sizing of a solar-wind hybrid electric vehicle charging station by using HOMER software," *Journal of Cleaner Production*, vol. 279, p. 123615, pp. 1-13, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123615.
- [4] M. Economidou, V. Todeschi, P. Bertoldi, D. D'Agostino, P. Zangheri, and L. Castellazzi, "Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings," *Energy and Buildings*, vol. 225, p. 110322, pp. 1-20, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110322.
- [5] K. Ruamsuke, S. Dhakal, and C. O. P. Marpaung, "Energy and economic impacts of the global climate change policy on Southeast Asian countries: A general equilibrium analysis," *Energy*, vol. 81, pp. 446–461, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2014.12.057.
- [6] "2015 United Nations Paris Climate Agreement," 2023 [Online]. Available: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.
- [7] "Paris Anlaşması Onaylandı: Türkiye'nin İklim Politikasında Yeni Bir Dönem Başlıyor.," *Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği*, 2021.
- [8] IEA, IRENA, UN, World Bank, and WHO, "Tracking SDG7: The Energy Progress Report," International Renewable Energy Agency (IRENA), Washington DC, 2023.
- [9] Y. Gürbüz, ve A. A. Kulaksız, "Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 117, Haziran 2016, doi: 10.17714/gufbed.2016.06.011.
- [10] E. Can Güven, ve K. Gedik, "Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 726–737, Haziran 2019, doi: 10.21597/jist.446170.
- [11] N. Berkeley, D. Jarvis, and A. Jones, "Analysing the take up of battery electric vehicles: An investigation of barriers amongst drivers in the UK," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 63, pp. 466–481, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.06.016.
- [12] World Bank Group, "CO₂ emissions from transport (% of total fuel combustion)," The World Bank, Washington, D.C., 2019.
- [13] M. Nurmhammed, and T. Karadağ, "A Review on Locating the Electric Vehicle Charging Stations and Their Effect on the Energy Network," *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, vol. 8, no. 2, pp. 218–233, 2021.
- [14] IEA, "Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future," International Energy Agency, France, 2022.
- [15] M. Ashfaq, O. Butt, J. Selvaraj, and N. Rahim, "Assessment of electric vehicle charging infrastructure and its impact on the electric grid: A review," *International Journal of Green Energy*, vol.

18, no. 7. pp. 657–686, 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1875471.

[16] Roland Irle, “Global Plug-in Vehicle Sales Reached over 3,2 Million in 2020.” The Electric Vehicle World Sales Database (EVvolumes), Sweden, 2020 [Online]. Available: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>.

[17] N. Adnan, S. Md. Nordin, M. A. bin Bahrudin, and M. Ali, “How trust can drive forward the user acceptance to the technology? In-vehicle technology for autonomous vehicle,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 118, pp. 819–836, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.TRA.2018.10.019.

[18] S. S. Bilgilioğlu, “Site Selection for Electric Vehicle Charging Station with Geographic Information Systems and Fuzzy Analytical Hierarchy Process,” *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences*, vol. 22, no. 1, pp. 165–174, Feb. 2022, doi: 10.35414/akufemubid.1013244.

[19] E. M. Szumska, “Electric Vehicle Charging Infrastructure along Highways in the EU,” *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 895, pp. 1-18, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16020895.

[20] IEA, “Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future,” International Renewable Energy Agency (IRENA), Washington DC, 2022.

[21] A. Yousefi-Sahzabi, E. Unlu-Yucesoy, K. Sasaki, H. Yuosefi, A. Widiatmojo, and Y. Sugai, “Turkish challenges for low-carbon society: Current status, government policies and social acceptance,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 596–608, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.090.

[22] Ö. Gönül, A. C. Duman, and Ö. Güler, “Electric vehicles and charging infrastructure in Turkey: An overview,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, p. 110913, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110913.

[23] Plugshare. (2023, Jun 12). *Türkiye Electric Vehicle Charging Station Map* [Online]. Available: <https://www.plugshare.com/>.

[24] B. Bayram. (2023, 1 Haziran). *Türkiye için şarj istasyonu kurulu gücü artıyor* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tehad.org/2022/05/22/devlet-destegi-ile-sarj-istasyonu-kurulu-gucumuz-230mwa-cikiyor>.

[25] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023, Jun 10). *Türkiye için elektrikli araç şarj altyapısı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/turkiye-icin-elektrikli-arac-sarj-altyapisi>.

[26] S. Singh, P. Chauhan, and N. J. Singh, “Feasibility of Grid-connected Solar-wind Hybrid System with Electric Vehicle Charging Station,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 295–306, 2021, doi: 10.35833/MPCE.2019.000081.

[27] P. V. Minh, S. Le Quang, and M. H. Pham, “Technical economic analysis of photovoltaic-powered electric vehicle charging stations under different solar irradiation conditions in Vietnam,” *Sustainability*, vol. 13, no. 6, pp. 15–25, 2021, doi: 10.3390/su13063528.

[28] U. Fretzen, M. Ansarin, and T. Brandt, “Temporal city-scale matching of solar photovoltaic generation and electric vehicle charging,” *Applied Energy*, vol. 282, p. 116160, pp. 1-13, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116160.

[29] J. A. Domínguez-Navarro, R. Dufo-López, J. M. Yusta-Loyo, J. S. Artal-Sevil, and J. L. Bernal-Agustín, “Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 105, pp. 46–58, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.08.001.

- [30] O. Hafez, and K. Bhattacharya, "Optimal design of electric vehicle charging stations considering various energy resources," *Renewable Energy*, vol. 107, pp. 576–589, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.01.066.
- [31] A. K. Mathur, C. Teja S, and P. K. Yemula, "Optimal Charging Schedule for Electric Vehicles in Parking Lot with Solar Power Generation," in *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, Singapore, May 2018, pp. 611–615, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2018.8467916.
- [32] A. Demirci, "Optimal Sizing of Solar-Based Electric Vehicle Charging Stations Considering Charging Demand and Economic Dynamics," *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, Sep. 2023, doi: 10.28948/ngumuh.1321628.
- [33] R. Çakmak, ve A. Turan, "Türkiye’de İller Bazında Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapısı: Ölçevler Aracılığıyla Analizi," *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 246–268, 2022, doi: 10.31466/kfbd.1029677.
- [34] NASA. (2023, Jun 2). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) database* [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>
- [35] M. Suri, and T. Cebecauer. (2023, Jun 5). *Global Solar Atlas Solargis* [Online]. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey>.
- [36] HOMER Grid. (2023, Jun 2). *Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources Grid Help* [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/1.8/index.html>.
- [37] J. M. Clairand, M. Arriaga, C. A. Canizares, and C. Alvarez-Bel, "Power Generation Planning of Galapagos’ Microgrid Considering Electric Vehicles and Induction Stoves," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 1916–1926, 2019, doi: 10.1109/TSTE.2018.2876059.
- [38] A. Zervos, and E. Adlib, "Renewables 2021, Global Status Report," Renewables (REN21), France (Paris), 2021.
- [39] Z. Öztürk, and A. Demirci, "Optimization of Renewable Energy Hybrid Power Systems Under Different Penetration and Grid Tariffs," *Journal of Polytechnic*, vol. 26, no. 3, pp. 1267-1275, 2023, doi: 10.2339/politeknik.1246418.
- [40] S. M. Tercan, A. Demirci, E. Gokalp, and U. Cali, "Maximizing self-consumption rates and power quality towards two-stage evaluation for solar energy and shared energy storage empowered microgrids," *Journal of Energy Storage*, vol. 51, p. 104561, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.104561.
- [41] A. Demirci, Z. Öztürk, and S. M. Tercan, "Decision-making between hybrid renewable energy configurations and grid extension in rural areas for different climate zones," *Energy*, vol. 262, p. 125402, pp. 1-14, 2023, doi: 10.1016/j.energy.2022.125402.
- [42] Z. Öztürk, S. Tosun, and A. Öztürk, "Modeling of a Sample Hybrid Renewable Energy System with HOMER, Economic and Technical Analysis," *Bayburt University Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 286–299, 2019.
- [43] V. Boddapati, A. Rakesh Kumar, S. Arul Daniel, and S. Padmanaban, "Design and prospective assessment of a hybrid energy-based electric vehicle charging station," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, p. 102389, pp. 1-17, 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102389.
- [44] Z. Öztürk, A. Demirci, S. Tosun, and A. Öztürk, "Technic and Economic Effects of Changes in the

Location of Industrial Facilities in Industrializing Regions on Power Systems,” in *2021 13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa (Türkiye), Nov. 2021, pp. 11–17, doi: 10.23919/ELECO54474.2021.9677827.

[45] Trading Economics. (2023, Jun 13). *Inflation Rate (World)* [Online]. Available: <https://tradingeconomics.com/country-list/inflation-rate?continent=world>.

[46] A. Demirci, Z. Öztürk, S. M. Tercan, and İ. Nakir, “Determination of photovoltaic inverter ratio minimizing energy clipping for electric vehicle charging station under different solar radiations,” in *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, Ankara (Türkiye), Jun. 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/HORA55278.2022.9799890.

[47] F. L. Camera, “Renewable Power Generation Costs in 2020,” International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hafif Çelik Elemanlar için İki Boyutlu Görüntülerden Üç Boyutlu Yüzey Ağı Elde Edilmesi

 Burcu GÜLDÜR ERKAL ^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: burcuguldur@hacettepe.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1146323

Öz

Hafif çelik yapılarla ilgili yürütülen araştırmalardaki son gelişmeler ve güncellenen tasarım yönergeleri sayesinde hafif çelik elemanların inşaat süreçlerinde kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Değişken kesit özelliklerine sahip hafif çelik elemanlar ince çelik sacların soğuk şekillendirme aracılığıyla bükülmesiyle elde edilmektedir. Bu elemanların yapılarda kullanılmasıyla ekonomik, hafif, verimli ve esnek yapılar tasarlanabilmektedir. Fakat, yapısı gereği hafif çelik elemanları oluşturan ince çelik saclarda nakliye, kurulum ve hatta üretim nedeniyle şekilsel kusurlar oluşabilmektedir. Bu şekilsel kusurlar hafif çelik elemanların fiziksel davranışlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle, hafif çelik bir elemanın fiziksel davranışını doğru bir şekilde değerlendirebilmek için mevcut şekilsel kusurları belirlemek ve bu şekilsel kusurların hafif çelik eleman davranışı üzerindeki etkisini araştırmak gerekir. Ancak, hafif çelik elemanların kapsamlı şekilsel kusur dağılımlarını çıkarabilmek için detaylı yüzey verisine ihtiyaç vardır. Son yıllarda yürütülen çalışmalarda yüzey verisi üç boyutlu (3B) tarayıcı sistemler kullanılarak elde edilmektedir. Fakat, 3B veri toplama işlemi kullanılan özel ekipmanlar sebebiyle maliyetli bir işlemdir. Bu çalışmada, incelenen hafif çelik elemanların yüzeyinden standart bir kamera ile toplanan iki boyutlu (2B) görüntülerden kapsamlı 3B yüzey verilerinin çıkarılması için düşük maliyetli bir metodoloji önerilmiştir. Oluşturulan 3B verinin ileriki çalışmalarda şekilsel kusur çıkarımı için kullanılacak detay ve çözünürlükte olması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: C-kesitli eleman, Hafif çelik, Nokta bulutu, Şekilsel kusur, Yüzey ağı

Obtaining Three-Dimensional Surface Meshes from Two-Dimensional Images for Cold-Formed Steel Members

ABSTRACT

The use of cold-formed steel (CFS) in construction processes has increased significantly, thanks to the latest research on CFS structures and updated design guidelines. CFS members are obtained by forming thin steel sheets into different cross-section geometries. Using these elements in buildings, economic, light, efficient, and flexible structures could be designed. However, due to its nature, thin steel sheets that make up CFS members may have geometric imperfections resulting from transportation, installation, and production. These geometric imperfections could affect the physical behavior of CFS members. Therefore, to accurately evaluate a CFS member's physical behavior, it is necessary to identify the existing geometric imperfections and investigate their effect on the CFS member's behavior. However, detailed surface data is needed to extract comprehensive geometric imperfection distributions of CFS members. In studies carried out in recent years, surface data is obtained by using three-dimensional scanning systems. However, three-dimensional data collection is costly due to the special equipment used. In this study, a low-cost methodology is proposed to extract comprehensive three-dimensional (3D) surface data from two-dimensional (2D) images collected with a standard camera from the surface of the investigated CFS members. It is aimed that the created 3D representation will be in detail and resolution to be used for geometric imperfection extraction in future studies.

I. GİRİŞ

Ülkemizde sıkça raf sistemleri ve az katlı konut inşasında kullanılan hafif çelik elemanların mevcut geometrileri çeşitli nedenlerle ideal tasarım geometrisinden ayrılmaktadır. Hafif çelik elemanlarda yaygın olarak gözlemlenen bu sapmalar şekilsel kusur olarak adlandırılmaktadır. Şekilsel kusurlar nakliye, kurulum ve üretim sırasında oluşabilmektedir. Hafif çelik elemanlar üzerinde bulunan mevcut şekilsel kusurlar eleman mukavemeti ve burkulma davranışını etkilemektedir. Bu nedenle, hafif çelik eleman davranışını doğru bir şekilde değerlendirebilmek için mevcut şekilsel kusurları karakterize etmek ve etkilerini tasarıma dahil etmek önemlidir.

Yürütülen güncel çalışmalarda şekilsel kusurları tespit etmek için gelişmiş veya özelleştirilmiş üç boyutlu (3B) veri toplama ekipmanları kullanılarak yüzey verisi toplanmaktadır. 3B yüzey verisi toplamak için kullanılan bu ekipmanlar genelde hem maliyetlidir hem de gerekli kalitede veri toplamak belirli bir uzmanlık gerektirmektedir. Ayrıca, literatürdeki çalışmaların çoğunda şekilsel kusurlar hafif çelik elemanların yüzeyindeki sınırlı sayıda noktadan toplanan veriler kullanılarak elde edilen 3B yüzey gösterimlerinden çıkarılmaktadır. Dolayısı ile incelenen hafif çelik elemanların tüm yüzeyini temsil eden yoğun 3B yüzey verileri elde edilememektedir. Bu nedenle, şekilsel kusur tespiti uygulamalarına uygun yoğun 3B veriyi toplamak için kullanımı kolay ve düşük maliyetli bir çözüm geliştirmek literatüre önemli bir katkı olacaktır.

Son yıllarda geometrik kusurların tespiti, boyutlandırması ve modellenmesine odaklanan birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Hafif çelik elemanlardan 3B veri toplanmasına ve şekilsel kusur çıkarılması üzerine yoğunlaşan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir ve burada kronolojik olarak tartışılmıştır. Schafer ve Peköz [1] kesit üzerinde sayılı noktadan ölçüm alarak bir kusur dağılımı elde etmiştir. Elde edilen dağılımlar hafif çelik elemanlarındaki şekilsel kusurları ve artık gerilmeleri tespit etmek için kullanılmıştır. Başka bir çalışmada hafif çelik elemanlardaki şekilsel kusurların tespiti ve bu kusurların sonlu eleman modeline entegrasyonu için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Dubina ve Ungureanu [2]). Hem global hem de lokal şekilsel kusurların tespiti yapılmıştır. Peterman [3] kesit çevresinde yedi konumda ölçüm yapmasını sağlayan özel bir teçhizat aracılığıyla şekilsel kusur tespiti yapmıştır. Elde edilen şekilsel kusurlar literatürde sıkça karşılaşılan ve şekilsel kusur gösteriminde kullanılan beş burkulma modu ile eşleştirilmiştir. Sadovský, vd. [4] hafif çelik elemanlarda bulunan şekilsel kusurların burkulma mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemek için bir çalışma yapmıştır. Yürütülen çalışmada şekilsel kusur değerleri olarak Lecce ve Rasmussen [5]'de sunulan değerler kullanılmıştır. Zeinoddini ve Schafer [6] bükülme, dışbükeylik ve burulma olarak temsil edilen şekilsel kusurları karakterize etmek ve boyutsal değişiklikleri ölçmek için deneysel bir çalışma yürütmüştür. Elde edilen sonuçlar üretim toleransları ile karşılaştırılmıştır. Zhao, vd. [7] iki boyutlu (2B) çizgi lazer içeren bir test düzeneği ile 240 mm'ye kadar olan uzunluklarda ölçümler gerçekleştirmiş ve şekilsel kusur ölçümleri yapmıştır. McAnallen, vd. [8] hafif çelik elemanlardaki şekilsel kusur tespitini kesit seviyesinde topladıkları sınırlı sayıda noktayı kullanarak gerçekleştirmiştir. Literatürdeki çalışmalarda elde edilen şekilsel kusur değerleri de hesaba katılarak ortak bir şekilsel kusur gösterim formatı oluşturulmuştur. Salomon, vd. [9], yüksek çözünürlüklü optik kameralar ve bilgisayarla görme algoritmaları kullanarak hafif çelik kolonların burkulma deformasyonunu takip eden bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen minimum lokal kusur değeri 0,25 mm'dir. Bu değer literatürdeki çalışmalarda raporlanan lokal kusur değerlerinden daha yüksektir (Mulligan ve Peköz [10], Peterman [3] ve Young [11]). Zhao, vd. [12] kesit boyutlarını ölçmek, şekilsel kusurları ayıklamak ve elde edilen geometriyi kullanarak sonlu eleman modelleri oluşturmak için hafif çelik elemanlardan lazer tarama işlemiyle 3B nokta bulutları elde edilmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Selvaraj ve Madhavan [13], değişen kesit geometrilerine sahip 188 hafif çelik elemandan yüzey verilerini 3B lazer tarayıcı ile toplanmış ve listeledikleri şekilsel kusurların çıkarımını gerçekleştirmiştir. Hafif çelik elemanlarındaki şekilsel kusurların narinlik oranları, burulma sabiti ve plaka narinliği gibi geometrik özelliklerle korelasyon içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda detaylandırılan çalışmalarda eleman ana eksenini boyunca kesit seviyesinde sınırlı sayıda noktadan toplanan verilerle oluşturulan 3B gösterimler kullanılarak hafif çelik elemanların şekilsel kusur bilgileri elde edilmiştir (Zhao, vd. [12] hariç). Bu çalışmalarda, hafif çelik eleman yüzeyini tamamen yansıtan değil de kısmi olarak gösterimi sağlayan dağılımlar elde edilmiştir. Ayrıca, bu dağılımları elde edebilmek için özelleştirilmiş ekipmanlar veya gelişmiş 3B tarayıcı sistemler kullanılmıştır. Kesit boyunca veya hafif çelik elemanı boyunca ölçülmeyen noktalarda ise bütün geometriyi kapsayacak şekilsel kusur dağılımları ek veri işleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Zeinoddini [14], Farzanian, vd. [15]). Yürütülen çalışma, literatürden farklı olarak, düşük maliyetli bir kamera sistemi kullanılarak toplanan 2B görüntülerden detaylı 3B gösterimler elde edilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Böylece ek veri işleme yöntemlerine gerek kalmadan şekilsel kusur tespit işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi ve elde edilen şekilsel kusur değerlerinin çözünürlüğünün yüksek olması amaçlanmıştır.

Literatürde 2B görüntülerden elde edilen 3B veri setleri kullanılarak hasar/kusur/değişim tespiti gerçekleştirmek üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Gerekli işlemler (yeterli sayıda görüntü toplama, görüntü keşim alanlarının yeterli olması, yeterli çözünürlükte görüntü toplanması vb.) gerçekleştirildiğinde elde edilen 3B verinin çözünürlüğü hasar/kusur/değişim tespiti için yeterli olmaktadır. Jahanshahi ve Masri [16] 2B görüntüleri kullanarak inceledikleri yüzeylerin 3B modelini oluşturmuştur. Elde edilen 3B veri kullanılarak yüzeysel hasar tespiti gerçekleştirilmiştir. Torok, vd. [17], görüntü tabanlı 3B yeniden yapılandırma yöntemini kullanarak yeni bir 3B çatlak algılama algoritması geliştirmiştir. Liu, vd. [18], 2B görüntü işleme ve 3B yeniden yapılandırma yöntemlerini kullanarak çatlak kenarlarının 3B konumunu belirlemiştir. Zhou, vd. [19], kasırga sonrası konut binalarında oluşan hasar miktarının değerlendirmesi için görüntü tabanlı 3B yeniden yapılandırma yöntemini baz alan bir metod geliştirmiştir. Geliştirilen bu metod Sandy Kasırgası sonrası çekilen görüntüler kullanılarak test edilmiştir. Kalfarisi, vd. [20], nicel değerlendirme ve entegre görselleştirme için 3B gerçeklik örgü modeliyle derin öğrenmeyi kullanarak çatlak algılama ve segmentasyon işlemlerini gerçekleştirmiştir. Özelleşen bu çalışmaların yanı sıra literatürde hem görüntü tabanlı hasar tespit hem de 3B yeniden yapılandırma yöntemlerinin incelendiği derleme makaleler de mevcuttur. Koch, vd. [21] beton ve asfalt altyapılarda bilgisayarla görü tabanlı kusur tespiti ve durum değerlendirmesi üzerine yoğunlaşan çalışmaları içeren bir derleme yapmıştır. Ma ve Liu [22] ise inşaat mühendisliğinde kullanılan 3B yeniden yapılandırma teknikleri ve uygulamalarını içeren çalışmaları gözden geçirmektedir.

Önceden de belirtildiği üzere yürütülen çalışmanın amacı 2B görüntülerden 3B yüzey verilerinin çıkarılmasını sağlayan düşük maliyetli bir yöntem geliştirmektir. Bu bağlamda, değişken boyutlu toplam 23 tane C-kesitli hafif çelik eleman incelenmiştir. İncelenen hafif çelik elemanların 3B yüzey ağlarını elde etmek için özel bir test kurulumuna monte edilmiş hafif çelik elemanların yüzeylerinden, yani elemanın etrafındaki 360°'yi kapsayan hacimden, toplamda 36 görüntü toplanmıştır. Bunu takiben kalibrasyon ve görüntü iyileştirme, görüntü kalitesi doğrulaması için anahtar nokta algılama ve eşleştirme, 3B yüzey ağı oluşturulması ve 3B yüzey ağı iyileştirilmesi adımları gerçekleştirilerek her bir elemana ait 3B yoğun yüzey ağı elde edilmiştir. Eleman üzerindeki belirli konumlardan mikrometre ölçümleri alınarak incelenen hafif çelik elemanların gerçek boyutları kaydedilmiş ve bu ölçümler oluşturulan yüzey ağının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılmıştır. Ölçülen boyutlar daha sonra 3B yüzey ağını oluşturan nokta bulutlarından çıkarılan boyutlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen yüzey verisinin şekilsel kusur tespiti için yeterli çözünürlüğe sahip olduğu literatürdeki referans çalışmalarla karşılaştırılarak gösterilmiştir. Nokta bulutu olarak da adlandırılan yüzey verilerinin daha sonraki çalışmalarda şekilsel kusurların tespiti ve boyutlandırması için kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında geliştirilen kamera tabanlı ve düşük maliyetli 3B veri toplama yönteminin literatürde kullanılan maliyetli yöntemlere alternatif olarak hafif çelik elemanlardaki şekilsel kusurların tespiti için etkin olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

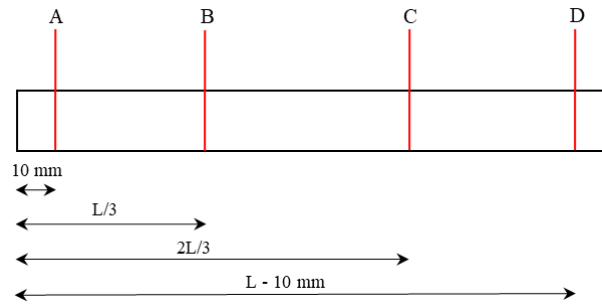
II. HAFİF ÇELİK ELEMANLARDAN VERİ TOPLANMASI

Bu bölümde, makale kapsamında incelenen 23 C-kesitli hafif çelik elemana ait boyut ölçüm bilgisi, görüntü toplamak için kullanılan kameranın detaylı özellikleri ve hafif çelik eleman yüzeyinin tamamını kapsayacak şekilde görüntü toplamaya imkân verecek şekilde tasarlanan test düzeneğinin detayları verilmiştir

A. HAFİF ÇELİK ELEMANLAR

Bu çalışmada, değişken boyutlara sahip C-kesitli 23 adet hafif çelik eleman kullanılmıştır. İncelenen bu hafif çelik elemanlar çeşitlilik sağlamak açısından farklı tedarikçilerden temin edilmiştir. Böylece, üretim aşamalarında oluşan benzer şekilsel kusurların eleman yüzeyinde tekrarlanmasından kaynaklı veri yanlışlığı engellenmiştir. Ayrıca, toplanan elemanlar birbirinden farklı boyutlara sahip olduğundan, bu değişkenliğin oluşturulan yüzey ağırları üzerindeki etkilerini görmek de mümkün olmuştur.

Eleman uzunluğu boyunca kesit boyutları değişkenlik gösterebileceğinden, farklı noktalardan flanş, gövde ve kalınlık ölçümleri alınmıştır. *Şekil 1*, incelenen hafif çelik elemanlarda mikrometre ölçümlerinin toplandığı konumları göstermektedir. Flanşlar (gövdenin her iki tarafından), gövde ve kalınlık (hem gövde hem de flanşlarda) için A-D arası dört noktanın her birinde altı (2 flanş, 1 gövde ve 3 kalınlık) ölçüm, toplamda da 24 (6x4) ölçüm yapılmıştır. *Tablo 1*, incelenen hafif çelik elemanlardan mikrometrelerle yapılan ölçümlerin her boyut için ayrıca hesaplanan ortalama değerlerini göstermektedir.



Şekil 1. Mikrometre ölçümlerinin toplandığı konumlar.

Tablo 1. İncelenen hafif çelik elemanlara ait boyutlar.

Eleman	Flanş (mm)	Gövge (mm)	Kalınlık (mm)	Uzunluk (mm)
El-1	48,8	90,7	1,3	1026,1
El-2	48,8	90,9	1,3	1023,2
El-3	48,9	90,9	1,3	1122,7
El-4	48,9	90,8	1,3	994,2
El-5	49,0	90,8	1,3	1135,3
El-6	40,9	61,3	0,9	1004,1
El-7	45,7	73,1	1,3	938,0
El-8	45,8	74,0	1,2	1055,8
El-9	48,4	88,6	1,1	1068,4
El-10	46,9	97,3	1,4	1079,1
El-11	47,7	92,2	1,3	1013,5
El-12	46,0	74,2	1,7	946,9
El-13	46,2	75,2	1,8	947,1
El-14	48,7	88,8	1,4	1118,9
El-15	49,0	91,5	1,4	1010,9
El-16	48,7	91,8	1,4	1048,7
El-17	48,9	90,7	1,5	1110,7
El-18	47,9	93,3	1,2	982,0
El-19	47,0	140,6	1,1	1044,6
El-20	51,5	91,8	1,5	950,1

El-21	46,0	92,6	1,0	987,1
El-22	49,5	94,9	0,9	948,8
El-23	48,8	141,6	1,0	1117,4

İncelenen hafif çelik elemanlar galvaniz kaplamalı olduklarından homojen ve parlak bir yüzey dokusuna sahiptir. Araştırmanın amacı hafif çelik elemanların yüzeylerinden toplanan görüntülerden 3B yüzey ağları elde etmek olduğundan eleman yüzeyinin pürüzsüz ve homojen bir yapıda olması istenen bir durum değildir. Eleman yüzeyinde karakteristik desenler olması yüzey ağı oluşturma işlemini kolaylaştırmakta ve yüzey ağı doğruluğunu arttırmaktadır. Bu çalışmada yüzey desenleri, hafif çelik elemanların yüzeylerine siyah bir boyanın 1 m mesafeden rastgele püskürtülmesi ile oluşturulmuştur. Özellikle metal yüzeylere uygun, kalıcı, siyah bir boya seçilmiştir. Elde edilen yüzey desenleri daha sonra anahtar nokta algılama ve eşleştirme adımında kullanılmıştır.

B. KAMERA ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada kullanılan kamera, DX formatında 23,5 mm x 15,6 mm CMOS görüntü sensörlü bir Nikon D7100'dür. Bu kamera Nikon AF-S DX NIKKOR 18-105mm f/3.5-5.6G lense sahiptir ve de 24 MP (6000 x 4000 piksel) çözünürlüğünde görüntü toplayabilmektedir. 2B görüntüleri toplamak için kullanılan bu kamera, test düzeneğinden 1,2 metre mesafede sabit bir tripod üzerine yerleştirilmiştir.

C. TEST DÜZENEGİ

Kullanılan test düzeneği, bilyeli bir yatağa bağlı iki plakadan oluşmaktadır. Altta bulunan plaka sabittir ve üstteki plaka serbestçe dönmektedir. Alt plakanın çeperinde birbirinden 10° aralıklı 36 delik vardır. Üst plakada ise sadece dört delik vardır. Görüntü toplama işlemi sırasında, üst plakada yer alan dört delik hafif çelik elemanın yerleştirildiği bu plakayı sabit konumda tutmak için kullanılmaktadır. Bu deliklere dört adet çubuk yerleştirilir ve alt plakada karşılık gelen deliklere denk getirilerek test düzeneği sabitlenir.

Üst plakada bir adet düz, iki adet L şeklinde delikli plaka bulunmaktadır. Bu üç plaka birbirinden bağımsız olarak hareket edebilmektedir ve incelenen hafif çelik elemanı üst plakaya sabitlemek için kullanılır. Plakaların konumları, incelenen C-kesitli hafif çelik elemanın ağırlık merkezine göre belirlenir.

Toplanan görüntülerde karşıtlık (kontrast) oluşturmak için test düzeneği beyaz bir duvarın önüne yerleştirilmiştir. İncelenen hafif çelik eleman üst plakaya sabitlendikten sonra bir görüntü kaydedilir ve üst plaka 10° döndürülür. 10° döndürme işlemi toplamda 36 kez tekrarlanarak incelenen hafif çelik elemanın bütün yüzeyini kapsayan 36 görüntü toplanır.

III. HAFİF ÇELİK ELEMANLARIN 3B YÜZEY AĞININ ÇIKARIMI

Hafif çelik elemanların 3B yüzey ağı çıkarımı dört ana adımdan oluşmaktadır. Öncelikle toplanan görüntüler kalibre edilir ve görüntü işlem metotları kullanılarak görüntü kalitesi artırılır. Bunu takiben, görüntü kalitesi arttırılan görüntülerin 3B yüzey ağı çıkarımında kullanılabilirliğini doğrulamak için anahtar nokta algılama ve eşleştirme adımları gerçekleştirilir. Doğrulama işlemi tamamlandıktan sonra ise bu görüntüler kullanılarak yüzey ağı elde edilir. Farklı uygulamalarda kullanılmadan önce ise oluşturulan yüzey ağları üzerinde bir iyileştirme yapılır. Böylece daha homojen bir nokta dağılımına sahip yüzey gösterimleri elde etmek mümkün olmaktadır.

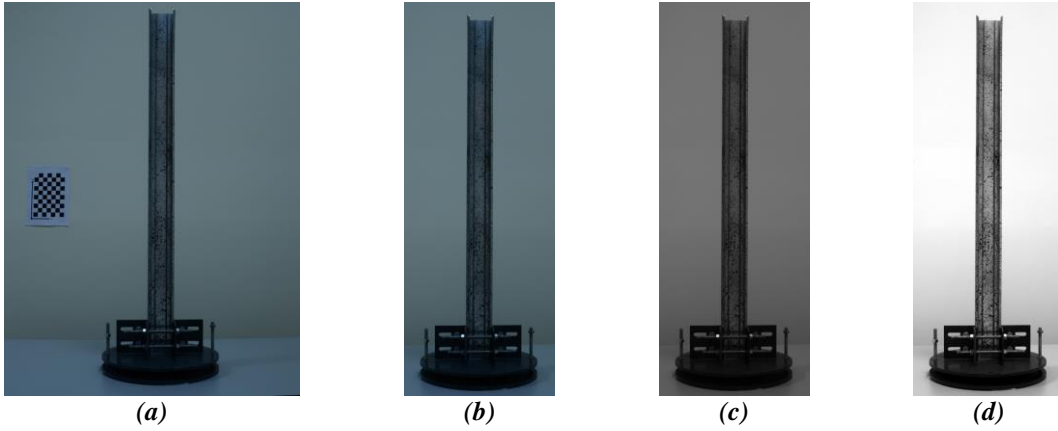
A. KALİBRASYON VE GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRME

Yüzey ağı oluşturulmasında kullanılmak üzere toplanan her görüntü, görüntüde bozulma yaratan 18 mm'lik geniş bir odak uzaklığı ile çekilmiştir. Bu nedenle, görüntü işleme aşamalarına geçmeden önce lens bozulmaları düzeltilmelidir.

Lens bozulmalarını düzeltmek amacıyla MatLab'ta [23] hali hazırda bulunan kamera kalibrasyon uygulaması kullanılmıştır. Bu çalışmada, kalibrasyon işlemini gerçekleştirmek için test düzeneğinin beyaz arka planına fiziksel boyutları bilinen bir dama tahtası görüntüsü eklenmiştir. Kullanılan kameranın içsel, dışsal ve lens bozulma parametreleri tahmin edilmiş ve toplanan görüntülerdeki lens bozulma etkileri bu parametreler kullanılarak düzeltilmiştir. **Şekil 2(a)**, kalibre edilmiş örnek görüntülerden birini içermektedir. **Şekil 2(a)**'daki görüntü, test düzeneği, sabitlenmiş hafif çelik eleman ve kalibrasyon kağıdını içermektedir.

Kalibrasyon işlemi bittikten sonra toplanan görüntüler sadece test kurulumunu gösterecek şekilde kırılmıştır. Görüntüleri belirli bir boyuta kırmak için yine MatLab kullanılmıştır. İncelenen her hafif çelik eleman için toplanan 36 görüntüden bir adet referans görüntü seçilmiş, bu referans görüntüden kırma dikkörtgeni konumu elde edilmiş ve geri kalan 35 görüntüde bu kırma konumu kullanılmıştır.

Hafif çelik elemanların parlak yüzeyi nedeniyle görüntü alınırken flaş kullanılmamış, ek aydınlatma olarak sadece soğuk ışık kaynakları kullanılmıştır. Dolayısıyla da elde edilen görüntüler oldukça karanlıktır. Takip eden görüntü işleme adımlarına geçebilmek için görüntülerin anahtar nokta çıkarımına uygun hale getirilerek kalitesinin artırılması gerekir. Toplanan görüntüler önce gri tonlamalı görüntülere çevrilir ve bunu takiben görüntü yoğunluk değerleri ayarlanarak görüntülerin karışıklığı artırılır. **Şekil 2** aynı zamanda, kırılmış bir görüntüyü (**Şekil 2(b)**), gri tonlamalı bir görüntüyü (**Şekil 2(c)**) ve iyileştirilmiş bir görüntüyü (**Şekil 2(d)**) göstermektedir.



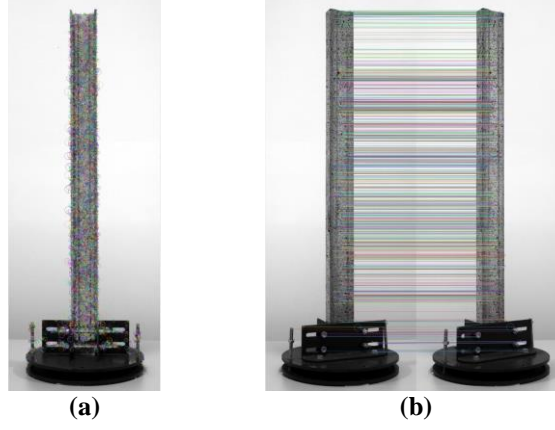
Şekil 2. (a) Test kurulumunu, sabitlenmiş hafif çelik elemanı ve arkadaki duvara iliştirilmiş kalibrasyon kağıdını içeren kalibre edilmiş örnek görüntü, (b) kırılmış görüntü, (c) gri tonlamalı görüntü ve (d) iyileştirilmiş görüntü.

B. İYİLEŞTİRİLMİŞ GÖRÜNTÜLERİN KONTROL EDİLMESİ

Bu çalışmada, iyileştirilmiş görüntülerin 3B yüzey ağı oluşturmak için yeterli kalitede olup olmadığını tespit etmek için anahtar nokta çıkarma ve eşleştirme adımlarını uygulanmıştır. Belirtilen anahtar nokta çıkarma ve eşleştirme adımları Regard3D [24] yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Regard3D, bir nesnenin farklı bakış açılarından çekilmiş bir dizi fotoğrafını kullanarak nesnelere 3B yüzey ağları elde etmeyi sağlayan bir hareketten yapı (SfM) oluşturma yazılımıdır. Her görüntü için, ardışık görüntüde bulunma olasılığı yüksek olan anahtar noktalar tespit edilir. Daha sonra, her bir anahtar nokta için yerel yoğunluk dağılımı modeline dayalı bir tanımlayıcı hesaplanır. Bu tanımlayıcı,

farklı bakış açlarına sahip ardışık görüntülerde bulunan değişmez özellikleri de içinde bulundurur. Ardışık görüntülerdeki tanımlayıcılar eşleştirilir ve geometrik olarak filtrelendirir. **Şekil 3(a)** ve **Şekil 3(b)**, sırasıyla, anahtar nokta tespit sonuçlarını ve ardışık iki görüntüdeki anahtar nokta eşleşmelerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar iyileştirilmiş görüntülerin incelenen hafif çelik elemanın 3B yüzey ağını oluşturmak için yeterli kalitede olduğunu doğrulamıştır. Başarılı bir eşleşme için kilit nokta sayısı eşiği 8000 olarak alınmıştır.



Şekil 3. (a) Hafif çelik eleman yüzeyinde algılanan anahtar noktalar ve (b) algılanan anahtar noktalara dayalı olarak eşleştirilmiş iki ardışık görüntü.

C. 3B YÜZER AĞI OLUŞTURULMASI

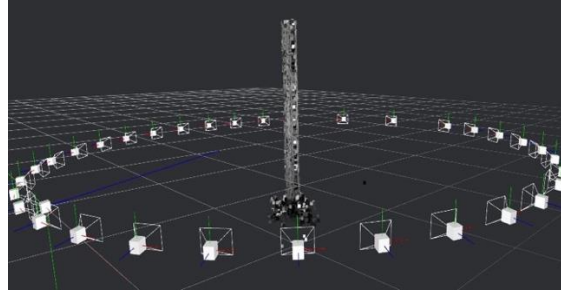
Yürütülen çalışmanın bir sonraki adımı yüzey ağı oluşturulmasıdır. Yüzey ağları Meshroom [25] yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Ardışık olarak toplanan ve belirli bir miktarda örtüşen 2B görüntülerden Meshroom yazılımı kullanılarak 3B yüzey ağları elde edilmiştir. Meshroom, kullanıcılara görüntü yükleme ile başlayan ve dokulu ağ oluşturma ile biten bir fotogrametrik işlem zinciri içerisinde kullanılan algoritmaların parametrelerini değiştirme ve özelleştirme imkânı sağlar.

Meshroom yazılımında 3B yüzey ağları sekiz ana adımı gerçekleştirerek elde edilmektedir. Sürecin ilk adımı, ölçeklendirme ile değişmeyen özellik çıkarımının gerçekleştirilmesidir. Amaç, her bir görüntüdeki dönme, ötelenme ve ölçekten bağımsız olarak ardışık görüntüdeki ayırt edici betimleyicilerle karşılaştırılabilecek özelliklerin çıkarılmasıdır. Özellik çıkarma işlemi görüntü eşleştirme takip eder; çıkarılan özellikler fotometrik eşleştirme ile eşleştirilir. Daha sonra hareketten yapı oluşturma algoritması çalıştırılır. Hareketten yapı oluşturma adımını eleman yüzeyini yansıtan derinlik haritalarının oluşturulması takip etmektedir. Derinlik haritası da elde edildikten sonra yüzey ağı oluşturma ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilir. Oluşturulan yüzey ağının incelenen objeyi detaylı ve doğru bir şekilde yansıtabilmesi için doku kaplaması oluşturulur. Son olarak da doku kaplamalı yüzey ağı kullanılarak görüntülerin toplandığı kamera pozisyonları elde edilir. Meshroom yazılımına ait analiz şeması **Şekil 4**'te verilmiştir.



Şekil 4. Meshroom analiz şeması.

Şekil 5, örnek bir hafif çelik eleman için yüzey ağı oluşturma işleminin nihai sonucunu göstermektedir. Hafif çelik elemanı temsil eden yüzey ağı **Şekil 5**'te verilen ekran görüntüsünün ortasında yer almaktadır. Bu yüzey ağı, 36 görüntünün çekildiği kamera konumlarıyla çevrilidir. Havada asılı olan dikdörtgenler kamera konumları göstermektedir.



Şekil 5. Görüntü işleme için kullanılan 36 görüntünün tümü için kamera pozları ve oluşturulan yüzey ağı.

Tablo 1'de detayları verilen 23 hafif çelik eleman için Meshroom yazılımında üzerinde değişiklik yapıp kullanılan parametreler **Tablo 2**'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu çalışmada özellik betimleyici olarak ölçek değişmez özellik dönüşümü (SIFT) [26] ve AKAZE [27] kullanılmıştır. Kullanılan yazılımın varsayılan özellik betimleyicisi SIFT olmasına rağmen bu betimleyicinin yeterli olmadığı durumlarda AKAZE kullanılmıştır. Hem SIFT hem de AKAZE görüntülerdeki yerel özellikleri algılamak, tanımlamak ve eşleştirmek için kullanılmaktadır. Özellik betimleyicisi için varsayılan çözünürlük normal olarak tanımlanmıştır, ancak bu çözünürlüğün yetersiz olduğu durumlarda (yeterli sayıda anahtar nokta tespit edilememesi) yüksek çözünürlük kullanılmıştır. Hareketten yapı oluşturma adımında karşılaştırma için kullanılan giriş parçaları mevcuttur. Genel olarak iki adet giriş parçası yeterli olurken bazı profiller için üç giriş parçası kullanılmıştır. Hatalı eşleştirmeleri ayıklamak için üç ardışık görüntüde algılanan betimleyiciler karşılaştırılmaktadır. Ardışık üç kamera görüntüsünün hatalı eşleştirmeleri ayıklamak için uygun olmadığı durumlarda ise dört ve beş kamera görüntüsü kullanılmıştır. Genelde toplanan görüntülerin piksel yoğunluğu yüzey ağını doku ile kaplamak için uygundur. Fakat, bazı yüzey ağlarını oluşturan nokta yoğunluğu düşük olduğundan hatalı kaplama durumlarını engellemek için doku aşağı ölçeklendirme katsayısı iki olarak kullanılmıştır. **Tablo 2**'de verilen parametrelere ilaveten **Şekil 4**'te gösterilen analiz şemasında yer alan her adım için birçok değişken tanımlanmıştır. **Tablo 2**'de verilenler dışındaki bütün parametreler varsayılan değerlerde kullanılmıştır. Parametreler ve varsayılan değerler hakkında detaylı bilgi Meshroom yazılımının kullanım kılavuzunda bulunmaktadır.

Tablo 2. İncelenen 23 hafif çelik eleman için Meshroom yazılımında değiştirilerek kullanılan parametreler.

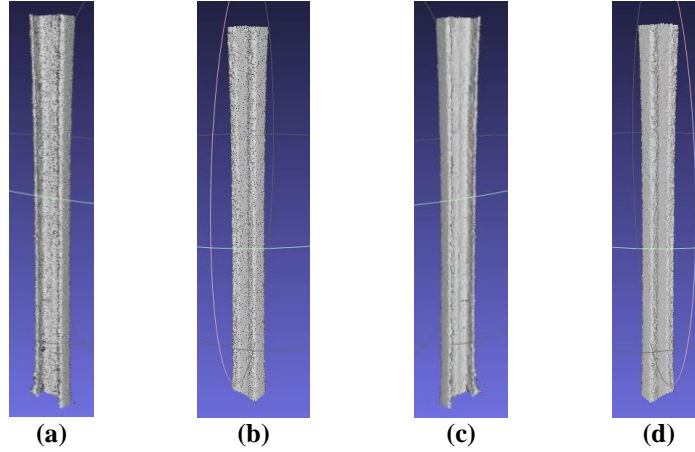
Eleman	Özellik Betimleyici	Betimleyici Çözünürlüğü	SfM için Minimum Giriş Parçası Sayısı	Kullanılan Minimum Sürekli Kamera Sayısı	Kötü Benzerlik Algılaması için Kullanılan Kamera Sayısı	Doku Aşağı Ölçeklendirme Katsayısı
E1-1	SIFT	Yüksek	2	3	4	1
E1-2	AKAZE	Yüksek	2	3	4	1
E1-3	SIFT	Normal	2	3	4	1
E1-4	SIFT	Normal	2	3	4	1
E1-5	SIFT	Normal	2	3	4	1
E1-6	SIFT	Yüksek	2	3	4	1
E1-7	SIFT	Normal	2	3	4	1
E1-8	AKAZE	Yüksek	2	3	4	1
E1-9	AKAZE	Yüksek	3	2	3	1
E1-10	AKAZE	Yüksek	2	3	4	1
E1-11	SIFT	Normal	2	3	4	1
E1-12	AKAZE	Yüksek	3	3	3	1
E1-13	SIFT	Normal	2	3	4	1
E1-14	SIFT	Normal	2	3	4	2
E1-15	SIFT	Normal	2	3	4	2

El-16	SIFT	Normal	2	3	4	2
El-17	SIFT	Normal	2	3	4	2
El-18	SIFT	Normal	2	3	4	2
El-19	SIFT	Yüksek	3	3	4	1
El-20	AKAZE	Normal	3	2	3	2
El-21	AKAZE	Yüksek	3	3	4	2
El-22	SIFT	Yüksek	3	4	5	1
El-23	AKAZE	Yüksek	3	3	4	1

D. 3B YÜZEY AĞI İYİLEŞTİRMESİ

Son adım olarak, oluşturulan yüzey ağının kalitesini iyileştirmek ve yüzey nokta dağılımını daha homojen bir hale getirmek için MeshLab [28] kullanılmıştır. MeshLab, 3B yüzey ağlarını işlemek ve düzenlemek için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır. Bu yazılım, yüzey ağlarını düzenlemek, temizlemek, iyileştirmek, denetlemek, işlemek ve doku ile kaplamak için bir dizi araçtan oluşmaktadır. Bu çalışmada, birbirlerine birimsiz ölçekte 0.0001 yakınlıkta bulunan noktalar birleştirilmiştir. Ayrıca, eski yüzey temsilinden yeni yüzey temsiline geçerken maksimum ortalama normal açı yer değiştirmesi 0,5 olacak şekilde yüzey nokta dağılımı sabit tutarak Laplacian düzeltmesi [29] uygulanmıştır.

Şekil 6, incelenen hafif çelik elemanlardan biri olan El-7 için oluşturulmuş orijinal ve iyileştirilmiş yüzey ağlarını göstermektedir. **Şekil 6(a)** ve **Şekil 6(b)**, iç ve dış görünüşleri kapsayan iki farklı perspektiften orijinal yüzey ağını göstermektedir. **Şekil 6(c)** ve **Şekil 6(d)** ise, iç ve dış görünüşleri kapsayan iki farklı perspektiften iyileştirilmiş yüzey ağını göstermektedir.



Şekil 6. El-7 için oluşturulan orijinal yüzey ağının (a) iç ve (b) dış gösterimi ve iyileştirilmiş yüzey ağının (c) iç ve (d) dış gösterimi.

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Yürütülen çalışma sonucunda 23 adet hafif çelik C-kesitli elemanın yüzey ağları başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Bu bölümde elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Aynı zamanda elde edilen yüzey ağlarının hafif çelik elemanlarda şekilsel kusur tespiti için kullanılabilirliği de tartışılmıştır.

Bu bölümde ilk önce, oluşturulan yüzey ağlarının doğruluğu araştırılmıştır. Bu adımda hafif çelik eleman boyutları için elle yapılan ölçümler oluşturulan 3B yüzey ağlarından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra, elde edilen 3B yüzey ağlarını oluşturan nokta bulutları incelenmiş ve şekilsel kusur ölçümünde kullanılabilirliğini tartışabilmek içinse çizgisel çözünürlükleri hesaplanmıştır. Son olarak, elde edilen yüzey ağlarının şekilsel kusur çıkarımında kullanılabilirliği literatürdeki mevcut çalışmalarda raporlanan değerlerle kıyaslama yapılarak incelenmiştir.

A. OLUŞTURULAN YÜZEY AĞLARI İÇİN DOĞRULAMA

Görüntü çözünürlüğü ve kalitesi sınırlaması nedeniyle ardışık görüntüleri doğru şekilde eşleştirmek ve eşleşen görüntüleri kullanarak yüzey ağı oluşturmak zor bir işlemdir. Önceki çalışmalar, yüzey ağı hassasiyetinin yüzeyi oluşturan noktaların yoğunluğu, görüntü betimleyici eşleştirme kesinliği ve nesne yüzeyinin fiziksel özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğunu ortaya koymuştur [30].

Bu çalışmada, oluşturulan yüzey ağlarının gerçekten hafif çelik eleman geometrisini temsil ettiğini gösterebilmek için elemanların mikrometreyle ölçülen boyutları ve yüzey ağlarını oluşturan nokta bulutlarından tespit edilen boyutlar karşılaştırılarak bir doğrulama yapılmıştır. Çünkü; eğer elde edilen yüzey ağları hatalıysa, incelenen hafif çelik elemanların gerçek yüzey geometrilerini temsil etmeyecektir. **Tablo 3**'te, hafif çelik elemanların hem mikrometreyle ölçülen hem de otomatik olarak nokta bulutlarından algılanan boyutları listelenmektedir. Gövde ve flanş uzunlukları **Şekil 1**'de gösterilen konumlarda tespit edilmiş ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hata değerlerini hesaplamak içinse ölçülen boyutlar tespit edilen boyutlarla karşılaştırılmış ve elde edilen hata değerleri de **Tablo 3**'te verilmiştir. Nokta bulutu işleme ve boyut çıkarma işlemlerine ait detaylar ve örnekler Guldur [31] ve Guldur Erkal [32]'da yer almaktadır. Ayrıca, elde edilen verideki gürültü nedeniyle dudak boyutlarının çıkarılmasının mümkün olmadığı da unutulmamalıdır.

Tablo 3. Yüzey ağı doğrulama sonuçları.

Eleman	Ölçülen Boyutlar (mm)			Tespit Edilen Boyutlar (mm)			Hata (%)		
	Gövde	Flanş 1	Flanş 2	Gövde	Flanş 1	Flanş 2	Gövde	Flanş 1	Flanş 2
EI-1	90,70	48,70	48,90	88,78	49,58	49,56	-2,12	1,80	1,35
EI-2	90,90	49,00	48,70	92,46	49,74	49,53	1,72	1,51	1,70
EI-3	90,90	48,70	49,10	93,00	49,40	49,86	2,31	1,43	1,55
EI-4	90,80	48,80	49,00	88,70	49,70	49,82	-2,31	1,85	1,67
EI-5	90,80	48,90	49,10	92,82	49,60	50,00	2,23	1,44	1,83
EI-6	61,30	41,00	40,90	62,65	40,39	40,28	2,20	-1,49	-1,51
EI-7	73,10	46,00	45,40	74,79	46,85	46,05	2,31	1,85	1,44
EI-8	74,00	45,90	45,70	75,56	46,59	46,56	2,11	1,51	1,88
EI-9	88,60	51,60	45,20	90,27	52,57	45,81	1,88	1,88	1,35
EI-10	97,30	47,20	46,60	99,25	46,28	47,34	2,00	-1,95	1,59
EI-11	92,20	47,00	48,40	93,85	47,77	49,15	1,79	1,64	1,54
EI-12	74,20	45,70	46,30	75,50	46,44	47,05	1,75	1,62	1,63
EI-13	75,20	46,00	46,50	76,61	46,88	47,23	1,87	1,92	1,56
EI-14	88,80	49,50	47,90	90,30	50,18	47,07	1,69	1,38	-1,73
EI-15	91,50	50,60	47,40	89,42	51,40	48,14	-2,27	1,59	1,56
EI-16	91,80	50,10	47,40	89,93	50,87	48,23	-2,04	1,53	1,75
EI-17	90,70	48,20	49,60	92,70	49,01	50,43	2,20	1,69	1,68
EI-18	93,30	47,90	48,00	91,11	47,68	47,10	-2,35	-0,45	-1,87
EI-19	140,60	46,90	47,10	143,17	47,81	47,74	1,83	1,93	1,35
EI-20	91,80	52,10	50,90	93,81	53,08	51,65	2,19	1,88	1,48
EI-21	92,60	45,60	46,40	94,15	46,35	47,04	1,67	1,64	1,39
EI-22	94,90	49,50	49,60	92,79	50,22	50,33	-2,22	1,46	1,48
EI-23	141,60	49,80	47,90	144,72	50,69	48,67	2,20	1,79	1,61
					Ortalama	0,90	1,28	1,14	
					St. Sapma	1,86	1,04	1,11	

23 hafif çelik elemanın tümünün hem gövde hem de flanşları için hesaplanan hata yüzdeleri %3'ün altındadır. Gövde, Flanş 1 ve Flanş 2 için ortalama hata yüzdeleri sırasıyla %0,9, %1,28 ve %1,14 iken, standart sapmalar ise %1,86, %1,04 ve %1,11'dir. Hata yüzdelerinin gövde kısımlarında flanşlara kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Bu gövdenin iki noktada flanşlara bağlı olmasından ve oluşturulan yüzey ağlarının köşe kısımlarında sıkça gürültü görülmesinden kaynaklanmaktadır. Yürütülen doğrulama çalışması, toplanan nokta bulutlarının incelenen hafif çelik elemanların geometrisini doğru bir şekilde temsil ettiğini göstermiştir.

B. YÜZEY AĞI ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

Elde edilen yüzey ağlarının şekilsel kusur tespitinde kullanılabilirliğini doğrulamak için oluşturulan yüzey ağlarının incelenen hafif çelik elemanların geometrilerini doğru olarak temsil ettiğini göstermek yeterli değildir. Oluşturulan yüzey ağlarının şekilsel kusur tespitinde kullanılabilirliğini göstermek için elde edilen yüzey ağlarının çözünürlüklerinin detaylı bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir ve bu çözünürlüklerin şekilsel kusur tespiti gerçekleştirilebilmek için yeterli olup olmadığı araştırılmalıdır.

Elde edilen her bir yüzey ağını oluşturan nokta bulutundaki toplam nokta sayısı, nokta bulutlarının çizgisel çözünürlükleri (mm başına düşen nokta sayısı cinsinden) ve şekilsel kusur ölçüm yeterliliği için referans alınacak olan çözünürlükler **Tablo 4**'te verilmiştir.

Tablo 4. Oluşturulan yüzey ağlarını temsil eden nokta bulutlarındaki toplam nokta sayısı, hesaplanan çizgisel çözünürlük ve çözünürlük değerleri.

Eleman	Yüzey Ağlarındaki Nokta Sayıları	Çizgisel Çözünürlük (nokta sayısı/mm)	Çözünürlük (mm)
El-1	25132	8	0,12
El-2	21328	7	0,14
El-3	34988	13	0,08
El-4	36967	14	0,07
El-5	34817	13	0,08
El-6	16944	6	0,18
El-7	29588	10	0,10
El-8	24395	8	0,12
El-9	31535	11	0,09
El-10	30135	11	0,09
El-11	15770	6	0,18
El-12	25190	8	0,12
El-13	22781	6	0,16
El-14	34357	13	0,08
El-15	34147	13	0,08
El-16	29260	9	0,11
El-17	21790	6	0,18
El-18	9544	3	0,31
El-19	22451	6	0,16
El-20	25021	7	0,14
El-21	24543	7	0,15
El-22	19761	5	0,19
El-23	36130	14	0,07
Ortalama	26373	9	0,13

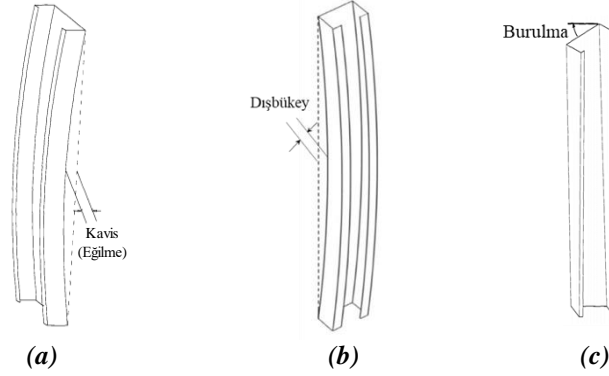
Sonuçlar oluşturulan yüzey ağlarının çözünürlüklerinin 0,07 ile 0,31 mm arasında değiştiğini göstermektedir. Tüm elemanlar için ortalama yüzey ağı çözünürlüğü ise 0,13 mm'dir. Oluşturulan yüzey ağları ortalama çözünürlük değerinden daha büyük boyutlu şekilsel kusurların tespitinde sorunsuzca kullanılabilir.

C. YÜZEY AĞI OLUŞTURMA SONUÇLARININ LİTERATÜRDEKİ ŞEKİSEL KUSUR TESPİT LİMİT DEĞERLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

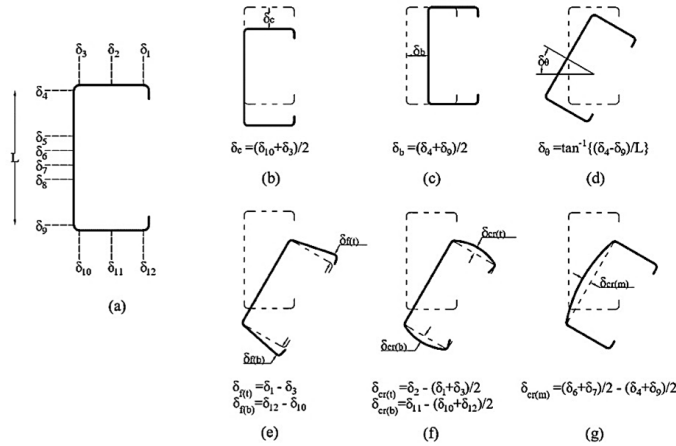
Son olarak, hesaplanan çözünürlük değerleri literatürdeki diğer araştırmalarda raporlanan veya uzunluğa bağlı bir formülle tanımlanan şekilsel kusur değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hafif çelik elemanlardaki mevcut şekilsel kusurlar global ve lokal olarak iki ana grupta incelenmektedir. **Şekil 7**'de global şekilsel kusurlar olan kavis, dışbükey ve burulma gösterilmiştir. Global şekilsel kusurların eleman davranışını birebir etkilediği bilinmektedir. **Şekil 8** ise iyileştirilmiş lokal şekilsel kusur gösterimlerinden oluşmaktadır. Kesit düzeyinde **Şekil 8(a)**'da gösterilen konumlarda yer değiştirmeler tespit edilmekte ve bu yer değiştirmeler verilen formüller kullanılarak lokal şekilsel kusurların hesaplanmasında

kullanılmaktadır. Otomatik şekilsel kusur tespiti ve boyutlandırmasına yönelik detaylar Guldur Erkal ve Cagirci [33]'de yer almaktadır.

Yürütülen çalışmada incelenen hafif çelik eleman boyutları 900 ve 1200 mm arasında kaldığından bu iki değer limit olarak alınmıştır. **Tablo 5**, literatürdeki çalışmalarda raporlanan ve verilen denklemlere göre 900 ve 1200 mm uzunluğundaki hafif çelik elemanlar için hesaplanan ortalama ve maksimum şekilsel kusur değerlerini göstermektedir. 900 ve 1200 mm'lik eleman uzunlukları için ayrı ayrı hesaplama yapıldığı durumlarda, alt ve üst değerler aynı hücrede iki satır halinde verilmiştir. Üstteki değerler 900 mm değerlerini alttakiler ise 1200 mm için hesaplanan değerleri göstermektedir.



Şekil 7. Global şekilsel kusur gösterimleri: (a) Kavis, (b) dışbükey ve (c) burulma [34].



Şekil 8. İyileştirilmiş lokal şekilsel kusur formülasyonları: (a) Referans ölçüm noktası sapmaları, (b) flanşlara ortogonal kesit kayması, (c) gövdeye ortogonal kesit kayması, (d) sadece burulma, (e) burulma ve açılma, (f) dışbükey flanşlı burulma, (g) dışbükey gövdeli burulma [33].

Tablo 5. 900 ve 1200 mm uzunluğundaki hafif çelik elemanlar için doğrudan raporlanan ve literatürde bildirilen denklemlere dayalı olarak hesaplanan ortalama ve maksimum şekilsel kusur değerleri.

Literatür	Lokal Dışbükey ($\delta_{cr(m)}$) (mm)		Açılma (δ_r) (mm)		Kavis (δ_b) (mm)		Dışbükey (δ_c) (mm)		Burulma (δ_θ) (°)	
	Ort.	Maks.	Ort.	Maks.	Ort.	Maks.	Ort.	Maks.	Ort.	Maks.
Mulligan ve Peköz [10]	0,51	1,25	4,32	7,29	0,35	0,73	0,15	0,28	-	-
Young [11]	0,41	0,99	1,16	2,10	0,15	0,81	0,09	0,78	-	-
Schafer ve Peköz [1]	0,54	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-
Zeinoddini [14]	-	-	-	-	0,91	1,39	0,47	0,78	0,89	1,13
Zeinoddini ve Schafer [35]	-	-	-	-	0,40	1,39	0,26	0,78	0,91	2,75
					0,54	1,86	0,35	1,03		

Peterman [3]	0,48	1,05	0,89	1,76	0,74 0,99	2,66 3,55	0,57 0,76	1,28 1,71	0,37	1,02
Zeinoddini ve Schafer [6]		-		-	0,85 1,13	-	0,67 0,90		0,36	-
Selvaraj ve Madhavan [13]	3,51	8,6	5,65	10,66	5,90	24,30	2,36	6,50	3,24	8,85
Guldur Erkal ve Cagirci [33]	0,04 0,18	0,29 0,31	0,90 1,49	1,22 2,47	0,91 1,72	1,95 2,65	0,86 0,93	1,41 1,72	2,30 3,02	3,04 4,37
ECCS [36]	-	-	-	-	0,90 1,20	-	0,90 1,20	-	-	-
EN 1090 BS [37]	-	-	-	-	1,20 1,60	-	1,20 1,60	-	-	-
EN-1993-1-3 [38]/CEN [39]	0,45	-	0,90	-	-	-	-	-	-	-
AISI-S240 [40]	1,59	-	1,59	-	0,94 1,25	-	0,94 1,25	-	-	-
ASTM [41]	1,59	-	1,59	-	0,94 1,26	-	0,94 1,26	-	12,7	-

Elde edilen çözünürlük değerleri literatürdeki lokal dışbükey, açılma, kavis, dışbükey ve burulma için hesaplanan ortalama değerlerin minimumu ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalar referans alınarak 900-1200 mm eleman uzunluğu için hesaplanan ortalama şekilsel kusur değerlerinin minimumu Young [11] kullanılarak dışbükey için 0,09 mm olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan yüzey ağlarından elde edilen çözünürlük değerlerinin birçoğu maalesef bu değer üzerinde kalmaktadır. Fakat, Young [11] ve Mulligan ve Peköz [10] hariç tutulduğunda diğer bütün çalışmalar için hesaplanan minimum dışbükey değerleri hesaplanan çözünürlük değerinin altında kalmaktadır. Dışbükey dışındaki diğer şekilsel kusurlar için hesaplanan minimum değerlerse zaten hesaplanan nokta bulutu çözünürlük değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Bu karşılaştırma, elde edilen yüzey ağı çözünürlüğünün şekilsel kusur tespiti ve ölçümü için yeterli olduğunu göstermektedir. Fakat, oluşturulan 3B yüzey ağlarını dışbükey hesaplamalarında kullanırken dikkatli olunması gerekmektedir. Böylece, oluşturulan yüzey ağlarının hafif çelik elemanlardaki şekilsel kusurların tespiti ve boyutlandırması için kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir.

V. SONUÇ

İnce cidarlı hafif çelik elemanlarda nakliye, kurulum ve üretim sırasında şekilsel kusurlar oluşabilmektedir. Bu şekilsel kusurlar eleman davranışını birebir etkilemektedir. Dolayısıyla incelenen hafif çelik elemanın davranışını doğru tayin edebilmek için eleman üzerinde bulunan şekilsel kusurların tespit edilmesi ve analizler sırasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ancak, şekilsel kusur tespiti için kullanılacak verileri toplamak için genelde özel ya da gelişmiş ekipmanlar kullanılmaktadır ve elde edilen verinin işlenmesi için belirli bir uzmanlık seviyesi gerekmektedir. Bu çalışmada, hafif çelik elemanlardaki şekilsel kusurların doğru tespit edilmesi ve boyutlandırılmasında kullanılabilecek 3B yüzey ağlarının düşük maliyetli kameralar aracılığı ile toplanan 2B görüntülerden elde edilmesi amaçlanmıştır.

Öncelikle 23 tane hafif çelik eleman üzerinden tripoda yerleştirilmiş bir kamera aracılığıyla görüntü toplanmıştır. Bunun için eleman çevresinden 10'ar derecelik açı değişimiyle 36 tane görüntü toplayacak bir test düzeneği geliştirilmiştir. Toplanan görüntülerden 3B yüzey ağı elde edebilmek için öncelikle görüntüler kalibre edilmiş ve iyileştirilmiştir. Daha sonra ise ardışık görüntüler arasında 3B yüzey ağı oluşturmak için yeterli sayıda anahtar nokta olduğu teyit edilmiştir. Bunu takiben 3B yüzey ağları oluşturulmuş ve veri kalitesini arttırmak için iyileştirme yapılmıştır.

Oluşturulan 3B yüzey ağlarının şekilsel kusur tespitinde kullanılabilirliğini araştırmak için öncelikle oluşturulan yüzey ağlarından çıkarılan gövde ve flanş boyut bilgileri ile elle yapılan ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. En büyük boyutsal hata %3 olarak hesaplanmıştır. Sonrasında her bir yüzey ağını oluşturan nokta bulutları incelenmiş ve çözünürlük değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan çözünürlük değerleri literatürdeki şekilsel kusur tespit limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan 3B yüzey

ağlarının, dışbükey olarak tanımlanan şekilsel kusur dışındaki hem lokal hem de global şekilsel kusurların tespitinde kullanılabilmesi değerlendirilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, bu çalışmada verilen yöntemle oluşturulan 3B yüzey ağlarının otomatik şekilsel kusur tespitinde kullanılması amaçlanmaktadır. Tespit edilen şekilsel kusurlar eleman davranışını incelemek için oluşturulan analiz modellerine değişik şekillerde eklenebilmektedir (mod şekillerine çarpan tanımlama, direk olarak model geometrisini değiştirme vb.). Tespit edilen şekilsel kusurlar analiz modellerine entegre edilmeli ve eleman davranışını üzerindeki etkileri gözlemlenmelidir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FHD-2017-15248 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazar, test kurulumu tasarımı ve üretimi için destek ve rehberliklerinden dolayı Parkon İnşaat firmasına teşekkür eder. Bu makalede ifade edilen görüşler, bulgular ve sonuçlar yazara aittir ve Hacettepe Üniversitesi'nin görüşlerini yansıtmayabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] B. Schafer and T. Peköz, "Computational modeling of cold-formed steel: Characterizing geometric imperfections and residual stresses," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 47, no. 3, pp. 193-210, 1998, doi: 10.1016/S0143-974X(98)00007-8.
- [2] D. Dubina and V. Ungureanu, "Effect of imperfections on numerical simulation of instability behaviour of cold-formed steel members," *Thin-Walled Structures*, vol. 40, no. 3, pp. 239-262, 2002, doi: 10.1016/S0263-8231(01)00046-5.
- [3] K. D. Peterman, "Experiments on the stability of sheathed cold-formed steel studs under axial load and bending," Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, John's Hopkins University, Baltimore, MD, USA, 2012.
- [4] Z. Sadovský, J. Kriváček, V. Ivančo, and A. Ďuricová, "Computational Modelling of Geometric Imperfections and Buckling Strength of Cold-Formed Steel," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 78, pp. 1-7, 2012.
- [5] M. Lecce and K. J. Rasmussen, "Finite element modelling and design of cold-formed stainless steel sections," Centre for Advanced Structural Engineering, Sydney, Australia, R845, 2005.
- [6] V. Zeinoddini and B. Schafer, "Simulation of geometric imperfections in cold-formed steel members using spectral representation approach," *Thin-Walled Structures*, vol. 60, pp. 105-117, 2012, doi: 10.1016/j.tws.2012.07.001.
- [7] X. Zhao, M. Tootkaboni, and B. Schafer, "Development of a laser-based geometric imperfection measurement platform with application to cold-formed steel construction," *Experimental Mechanics*, vol. 55, no. 9, pp. 1779-1790, 2015, doi: 10.1007/s11340-015-0072-7.
- [8] L. McAnallen, D. Padilla-Llano, X. Zhao, C. Moen, B. Schafer, and M. Eatherton, "Initial geometric imperfection measurement and characterization of cold-formed steel C-section structural members with 3D non-contact measurement techniques," in *Proceedings of the Structural Stability Research Council*, Toronto, Canada, March 25-28, 2014.
- [9] A. L. Salomon, D. Fratamico, B. W. Schafer, and C. D. Moen, "Full field cold-formed steel column buckling measurements with high resolution image-based reconstruction," in *Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council*, Orlando, FL, USA, April 12-15, 2016.

- [10] G. P. Mulligan, "The influence of local buckling on the structural behavior of singly-symmetric cold-formed steel columns," Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, Cornell University, Ithaca, NY, USA, 1983.
- [11] B. Young, "The behaviour and design of the cold formed channel columns," Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, University of Sydney, Sydney, Australia, 1997.
- [12] X. Zhao, M. Tootkaboni, and B. W. Schafer, "Laser-based cross-section measurement of cold-formed steel members: model reconstruction and application," *Thin-Walled Structures*, vol. 120, pp. 70-80, 2017, doi: 10.1016/j.tws.2017.08.016.
- [13] S. Selvaraj and M. Madhavan, "Geometric imperfection measurements and validations on cold-formed steel channels using 3D noncontact laser scanner," *Journal of Structural Engineering*, vol. 144, no. 3, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001993.
- [14] V. M. Zeinoddini, "Geometric imperfections in cold-formed steel members," Ph.D dissertation, Civil Engineering, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, 2011.
- [15] S. Farzarian, A. Louhghalam, B. Schafer, and M. Tootkaboni, "Geometric imperfections in CFS structural members: Part I: A review of the basics and some modeling strategies," *Thin-Walled Structures*, vol. 186, p. 110619, 2023, doi: 10.1016/j.tws.2023.110619.
- [16] M. R. Jahanshahi and S. F. Masri, "Adaptive vision-based crack detection using 3d scene reconstruction for condition assessment of structures," *Automation in Construction*, vol. 22, pp. 567-576, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2011.11.018.
- [17] M. M. Torok, M. Golparvar-Fard, and K. B. Kochersberger, "Image-based automated 3D crack detection for post-disaster building assessment," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. Technical Paper A4014004, pp. 1-13, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000334.
- [18] Y.-F. Liu, S. Cho, B. Spencer Jr, and J.-S. Fan, "Concrete crack assessment using digital image processing and 3D scene reconstruction," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 1, p. 04014124, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000446.
- [19] Z. Zhou, J. Gong, and M. Guo, "Image-based 3D reconstruction for posthurricane residential building damage assessment," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 2, p. 04015015, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000480.
- [20] R. Kalfarisi, Z. Y. Wu, and K. Soh, "Crack detection and segmentation using deep learning with 3D reality mesh model for quantitative assessment and integrated visualization," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, no. 3, p. 04020010, 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000890.
- [21] C. Koch, K. Georgieva, V. Kasireddy, B. Akinci, and P. Fieguth, "A Review on Computer Vision Based Defect Detection and Condition Assessment of Concrete and Asphalt Civil Infrastructure," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, no. 2, pp. 196-210, 2015, doi: 10.1016/j.aei.2015.01.008.
- [22] Z. Ma and S. Liu, "A review of 3D reconstruction techniques in civil engineering and their applications," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 37, pp. 163-174, 2018, doi: 10.1016/j.aei.2018.05.005.
- [23] MatLab, *MATLAB and Statistics Toolbox Release 2019a*. Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2019.
- [24] Regard3D, *Regard3D: A Structure-from-motion Program*. Regard3D, 2018.

- [25] Meshroom, *Meshroom*. AliceVision, 2021.
- [26] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," in *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, 1999, vol. 2: IEEE, pp. 1150-1157.
- [27] P. F. Alcantarilla and T. Solutions, "Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces," *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.*, vol. 34, no. 7, pp. 1281-1298, 2011, doi: 10.1109/83.661190.
- [28] MeshLab, *MeshLab*. CNR, 2022.
- [29] G. A. Hansen, R. W. Douglass, and A. Zardecki, *Mesh enhancement: selected elliptic methods, foundations and applications*. London, United Kingdom:Imperial College Press, 2005.
- [30] Y. Zhang, "Challenges and Advances in Image-Based Geometric Modeling and Mesh Generation," in *Image-Based Geometric Modeling and Mesh Generation*, Y. Zhang Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013, pp. 1-10..
- [31] B. Guldur, "Laser-based Structural Sensing and Surface Damage Detection," Ph.D. Dissertation, Civil and Environmental Engineering, Northeastern University, Boston, Massachusetts, 2014.
- [32] B. Guldur Erkal, "Image-Based 3D Surface Reconstruction of Cold-Formed Steel C-Sections," in *Proceedings of the 2019 European Conference on Computing in Construction*, Chania, Crete, Greece 2019.
- [33] B. Guldür Erkal and Ö. G. Çağrıçı, "Automated geometric imperfection detection and quantification of CFS members from point clouds," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 26, no. 9, pp. 3888-3904, 2022, , doi: 10.1007/s12205-022-0795-9.
- [34] O. G. Cagrıci, "3D point cloud-based imperfection determination of cold-formed steel members for numerical modeling," M.S. thesis, Department of Civil Engineering, Hacettepe University, Ankara, Turkey, 2021.
- [35] V. Zeinoddini and B. W. Schafer, "Global imperfections and dimensional variations in cold-formed steel members," *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, vol. 11, no. 05, pp. 829-854, 2011, doi: 10.1142/S0219455411004361.
- [36] ECCS, *European recommendations for the design for the design of light gauge steel members*. Brussels, Belgium:European Convention for Constructional Steelwork, 1987.
- [37] *Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures*, EN 1090-2:2008, British Standard, UK, 2008.
- [38] *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*, EN-1993-1-3, Brussels, Belgium, 2006.
- [39] *Eurocode 3: Design of steel structures. I–V: Plated structural elements*, EN-19931-5:2006/AC:2009 , Brussels, Belgium, 2009.
- [40] *North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing*, AISI-S240, Washington, D.C., USA, 2015.
- [41] *Standard specification for cold-formed steel structural framing members*, ASTM C955-17, West Conshohocken, PA, USA, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Düşük Maliyetli GSM Tabanlı Ev Güvenlik Sistemi

 Cihan YILDIRIM ^{a,*},  Veysel Gökhan BÖCEKÇİ ^b

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cihanyildirim@marun.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1127628

Öz

Güvenlik günümüzde en önemli sorunlardan birisidir. Kişilerin artan iş yükleri ve gündelik programlarının yoğunluğu yaşadıkları kişisel alanların güvenliklerini sağlamalarını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çoğu insan mesken ve ofislerine güvenlik sistemi oluşturma ihtiyacı hissetmektedir. Birçok akıllı ev sistemine dâhil edilmiş güvenlik sistemi bulunmaktadır. Akıllı güvenlik sistemleriyle özel mülke izinsiz girişleri takip edebilmekle birlikte gaz kaçağı, su baskını, yangın, deprem vb. gibi birçok durumdan uzaktan haberdar olunabilmektedir. Bu çalışmada düşük maliyetli GSM tabanlı bir ev güvenlik sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarım modüler bir yapıda ve genel amaçlı kullanıma uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan donanımda geniş voltaj aralığında analog ve dijital sinyal okuyabilecek girişler ve kuru kontak röle çıkışları mevcut bırakılmıştır. Böylece birçok sensor ya da aygıtın bu donanım ile birlikte kullanılabilmesi sağlanmıştır. İnsan vücudunun gözle görülemeyen kızılötesi formda bir miktar ısı enerjisi ürettiği olgusundan yola çıkılarak algılama ve alarm ve uyarı sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Tasarımda maliyeti etkileyecek en önemli malzemeler olan işlemci ve GSM modülün modüler olarak ayrı bir kartta toplanması sürekli artarak değişen malzeme fiyatlarına karşı hızlıca değişim yapabilme imkanı sağlaması bu çalışmanın özgün yanını oluşturmaktadır. Tasarımın sade olması ucuz bir işlemci ve GSM modül kullanılabilmesine imkân sağlamıştır. Ayrıca modüler yapı sayesinde fiyat artışlarında ya da 2G'den 4G'ye geçiş gibi teknolojik değişmelerde hızlıca dönüştürülebilir bir tasarım geliştirilmiştir. Bu çalışmanın ana senaryosu güvenlik sisteminin kurulduğu alanda ihlal algılandığında GSM alt yapısı kullanılarak ihlal durumunun belirlenmiş noktalara bildirilmesi şeklinde oluşturulmuştur ve düşük maliyetli bir tasarım olması ön planda tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik sistemi, PIR algılayıcı, Akıllı bina, GSM tabanlı erişim

Low Cost GSM Based Home Security System

ABSTRACT

Security is one of the most important issues today. Increasing workloads of people and the intensity of their daily schedules make it difficult for them to ensure the security of their personal areas. For this reason, most people feel the need to create a security system for their residences and offices. Many smart home systems have security systems built into them. With its smart security systems, it is able to monitor unauthorized access to private property, as well as gas leakage, flood, fire, earthquake, etc. It is possible to be aware of many situations such as remotely. In this study, a low-cost GSM-based home security system was designed. The design has been carried out in a modular structure and suitable for general purpose use. In the designed hardware, inputs and dry contact relay outputs that can read analog and digital signals in a wide voltage range are available. Thus, it has been ensured that many sensors or devices can be used with this hardware. It is aimed to create a detection and alarm

1946

and warning system based on the fact that the human body produces some heat energy in invisible infrared form. The fact that the processor and GSM module, which are the most important materials that will affect the cost in design, are modularly collected on a separate card and that they provide the opportunity for rapid change against the ever-increasing material prices constitute the original side of this study. The simplicity of the design allows the use of an inexpensive processor and GSM module. In addition, thanks to the modular structure, a rapidly transformable design has been developed in case of price increases or technological changes such as the transition from 2G to 4G. The main scenario of this study was created in the form of notifying the violation status to the determined points using the GSM infrastructure when a violation is detected in the area where the security system is installed. The low cost criterion was prioritized in the design.

Keywords: Security system PIR detector, Smart building, GSM based Access

I. GİRİŞ

Akıllı ev konseptine son yıllarda artan bir ilgi vardır. Akıllı evler, esasen akıllı cihazları, sensörleri ve aktüatörleri birbirine bağlayan, sahibinin bunlara yerel ve uzaktan erişmesini, izlemesini ve kontrol etmesini sağlayan bir iletişim ağıdır [1]. Akıllı Ev, birçok ev otomasyonu, tüketici elektroniği ve benzeri akıllı cihazlar içeren özel bir evdir. Başlangıçta akıllı ev teknolojisi, aydınlatma ve ısıtma gibi çevresel sistemleri kontrol etmek için kullanıldı. Ancak son zamanlarda akıllı teknolojinin kullanımı, evdeki hemen hemen her elektrikli bileşenin sisteme dâhil edilebilmesi için gelişti. Dahası, akıllı ev teknolojisi cihazları basitçe açıp kapatmakla kalmaz, aynı zamanda iç ortamı ve ev doluyken yapılan faaliyetleri de izleyebilir [2]. Denizli ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri akıllı priz prototipi yeni nesil akıllı ev sistemlerinin örneklerinden biridir. Gerçekleştirdikleri ev güvenlik sistemi ile ortamda metan gazı algılanması durumunda akıllı prize enerjisi kesilmektedir [1]. Güvenlik sistemleri özel mülklerimize harici olarak kurulabildiği gibi akıllı ev sistemlerine de dâhil edilebilmektedir. Ev otomasyonu sistemi kendisine bağlı cihazların kullanıcı dostu bir ara yüzle kullanılabilmesini sağlamaktadır. Çoğu zaman bir kullanıcı paneli üzerinden ya da cep telefonu ve tablet gibi kişisel araçlardan, uzak erişim noktalarından ev otomasyonuna bağlı birçok cihaz kontrol edilebilmektedir. Günümüzün ev otomasyon sistemi tarafından kullanılan başlıca iletişim teknolojilerinden bazıları Bluetooth, WiMAX ve Kablosuz LAN (Wi-Fi), Zigbee ve küresel mobil iletişim sistemi (GSM) olarak yer almaktadır [3-5]. Bunun dışında konum algılama ihtiyacının bulunduğu durumlarda küresel konumlama sisteminin (GPS) kullanıldığı uygulamalar da yaygındır [6,7]. Hasan ve arkadaşları Atmega16 mikrodenetleyicisi ile ev güvenlik sistemini GSM tabanlı olarak gerçekleştirmişler, kontrol sisteminde de Bluetooth teknolojisini kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri sistem görece düşük maliyetli ve basit tasarım özelliklerini taşımaktadır [8]. Zhao ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri ev güvenlik sistemi GSM/GPRS tabanlı olarak çalışmakta düşük maliyet, düşük enerji tüketimi, kolay kurulum özelliklerini taşımaktadır. Algılama işlemi pasif kızılötesi sensörü (PIR) kullanılarak yapılan çalışmada GSM/GPRS modülü kontrol eden ve sinyalleri değerlendiren bir mikroişlemcinin yanında tuş takımı ve benzeri çevresel birimlerin bağlı olduğu ikinci bir mikroişlemci de kullanılmıştır [9]. Isa ve arkadaşları GSM tabanlı olarak tasarladıkları akıllı ev sisteminde bildirimlerin son kullanıcı ve merkez güvenlik ofisine yapılmasını programlamışlardır. Atmega328 işlemcisi kullanarak gerçekleştirdikleri sistemde kamera, sıcaklık sensörü gibi çeşitli çevresel aygıtlardan veri alınabilmektedir [10]. Sharma ve arkadaşları hırsız güvenlik sistemini 8051 mikrodenetleyicisi kullanarak gerçekleştirmişler ve özellikle ihlal mesajlarının android arayüzünde görüntülenebilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada Android arayüz, alarm olarak düşünülen buzzer aygıtının otomatik olarak veya kullanıcı cevabına göre devreye girip girmemesini sağlayan ayarların yapıldığı ve alarm durumlarının izlenebildiği ortamı oluşturmaktadır [11]. Ramlee ve arkadaşları nem ve sıcaklık algılamaya yönelik bir ev otomasyon sistemi geliştirmişlerdir. Kontrol ünitesi olarak çalışmalarında PIC18F2550 kodlu mikrodenetleyiciyi kullanmışlar ve düşük maliyet unsuruna vurgu yapmışlardır [12]. Madan ve arkadaşları GSM ve Bluetooth modüllerini birlikte kullanarak enerji sarfiyatını azaltmaya yönelik otomatik ışık kontrol sistemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında öne çıkan nokta kullandıkları modüller sayesinde yüksek maliyetli bir ağdan destek alma zorunluluğunu ortadan kaldırmış olmalarıdır [13]. Babu ve arkadaşları geliştirdikleri ev otomasyon sisteminde ses ile elektrikli ev aletlerinin kontrol edilebildiği bir düzenek önermişlerdir. Çalışmalarında Arm tabanlı işlemci kullanmışlar ve uygulama için Android tabanlı arayüz programı

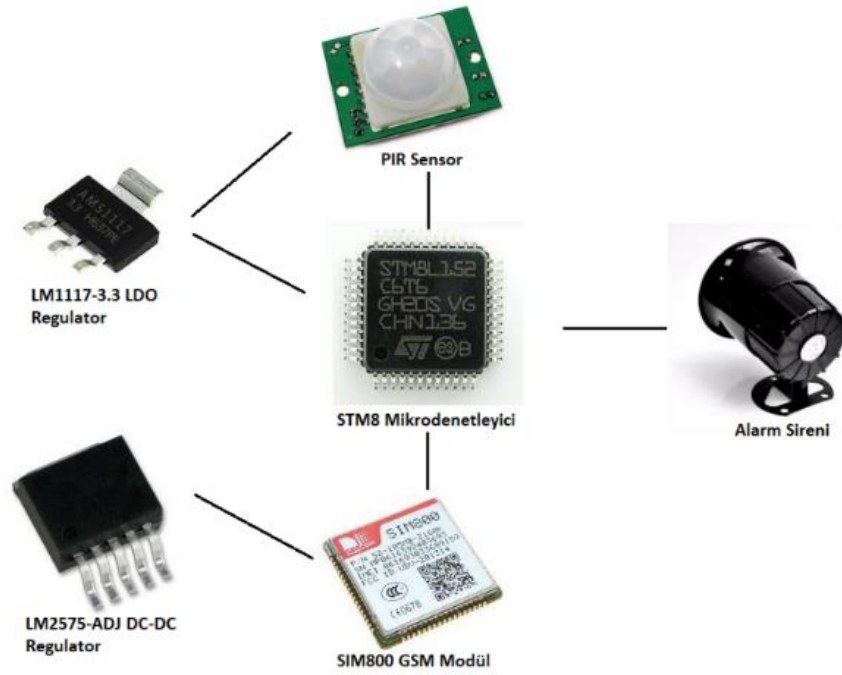
gerçekleştirmişlerdir [14]. Javale ve arkadaşları Android ADK geliştirme kiti ile TV, lamba gibi ev aygıtlarını kontrol edebilecek bir ev otomasyon sistemi gerçekleştirmişlerdir[15]. Hırsızlık, gaz sızıntısı ve yangın, evler için en büyük risklerdendir ve büyük hasarlara neden olmaktadır. Ev güvenlik sistemleri sayesinde bu tehlikelerin oluşması durumunda uyarı verecek ve çeşitli güvenlik önlemlerini devreye alacak bir cihaz tasarlayarak bu sorunların çözülmesi mümkün olmaktadır. Güvenlik, bir ev otomasyon sistemine eklenebilecek önemli bir konudur. Hırsız alarm, yangın alarmı, kapı kilidine uzaktan erişim kontrolü, elektrik, su ve gazın uzaktan kontrol edilebilmesi, ev sahibine telefon üzerinden otomatik haber verilebilmesi vb. tüm farklı denetim ve güvenlik sistemlerini bir araya getirmek hayatımızı daha güvenli hale getirmektedir. Bahsedilen tüm bu güvenlik ve kontrol sistemleri bir ev otomasyon sistemine entegre edilebilir [16]. GSM teknolojisi, dünyada en yaygın kullanılan hücreli teknolojilerden birisidir ve internet alt yapısı bulunmayan ya da yeteri kadar iyi olmayan bölgelerde iletişim açısından büyük öneme sahiptir. Bu yaygın kullanım sebebiyle kullanıcının sürekli etkileşime geçebileceği bir ev otomasyon sisteminde GSM alt yapısını kullanmak özellikle internet alt yapısının iyi olmadığı ya da bulunmadığı bölgelerde tercih sebebi olmaktadır. Hücreli teknolojiler arasında GSM şebekesi, tüm sistemi neredeyse her zaman çevrim içi hale getiren geniş kapsama alanı [17] nedeniyle ev aletleri ile kullanıcı arasındaki iletişimde tercih edilmektedir. GSM şebekesini ev otomasyonunda kullanmanın bir diğer avantajı, yüksek güvenli altyapısıdır.

Çalışmamızda düşük maliyetli, modüler ve GSM tabanlı bir uyarı sisteminin tasarımı hedeflenmiştir. Tasarlanan sistem genel amaçlı düşünülerek geniş voltaj aralığına sahip girişler ve kuru kontak röle çıkışları ile farklı ev otomasyonu sistemlerine entegre edilebilir halde olması sağlanmıştır. Malzeme seçiminde ve donanım tasarımında maliyetlerin düşük tutulmasına dikkat edilmiştir. GSM üzerinden çağrı ve kısa mesaj gibi işlemlerle güvenlik sisteminin kontrolü basit bir şekilde sağlanabilmiştir. Yapılan çalışmada düşük maliyetli tasarımın yanı sıra pil destekli ve düşük güç tüketimi ile çalışabilir bir tasarım olmasına da dikkat edilmiştir. Böylece elektrik kesintilerinde sistemin faal olabilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca güvenlik sistemi üzerindeki teknik komplekslik azaltılmış, üretim sırasında ve sonrasında oluşan maliyetler düşürülmüştür.

II. SİSTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Günümüzde ev, ofis ve diğer pek çok yerde güvenlik en önemli konuların başında gelir. Akıllı bina sistemleri başta olmak üzere birçok binada konutları güvenli kılmak için elektronik güvenlik sistemleri sıklıkla kullanılır. Yapılan uygulamada düşük maliyetli ve işlevsel bir sistemin tasarlanması ön planda tutulmuştur. Çalışmanın içeriğinde bir GSM modem ve bir PIR sensörü kullanılarak mikrodenetleyici tabanlı ev güvenlik sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, konuta herhangi bir izinsiz giriş bulunduğu önceden belirlenmiş bir telefon numarasına çağrı yapıp SMS gönderilmektedir.

PIR sensörü, kablosuz konut güvenlik sistemlerinde, ev alarm sistemlerinde ve hareket dedektörü sensörü olarak daha birçok güvenlik devresinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik bir PIR sensörü, insan vücudundaki Kızılötesi (IR) dalgaları algılar ve bu nedenle "insan sensörü" olarak da bilinir. Tasarlanan sistemde, insanın varlığını algılamak için PIR sensörü, sistemin genel işleyişini sağlamak amacıyla bir mikrodenetleyici birimi ve mobil GSM şebekesi üzerinden SMS ve arama yapabilmek amacıyla da bir GSM modem kullanılmıştır. Herhangi bir kişi PIR sensörünün menziline girdiğinde, sensör mikrodenetleyiciye bir mantık sinyali gönderir ve mikrodenetleyici kontrolü ele alarak verilen bir görevi yerine getirir. Şekil 1'de gerçekleştirilen sistemin donanım bileşenlerinin basitleştirilmiş blok yapısı görülmektedir.

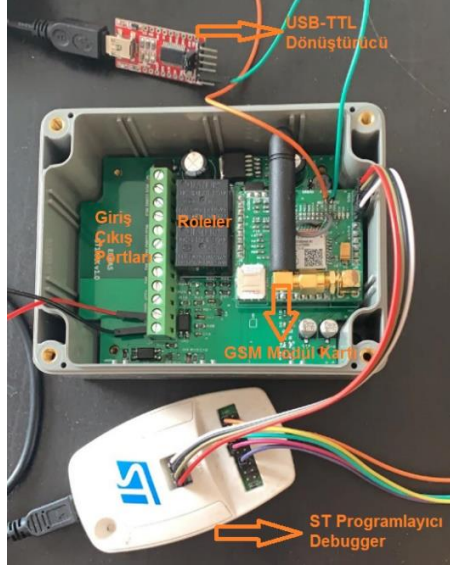


Şekil 1. Donanım bileşenlerinin basitleştirilmiş blok görüntüsü

Sistemde, mikrodenetleyici birimi açık kaynak kodlu yazılımın koşmasını sağlayan beyin görevi görmektedir. İşlemci, kesme destekli yapı ile sürekli olarak PIR sensöründen ve GSM modemden gelebilecek komutları takip etmekte ve herhangi bir komut alması durumunda yazılımda tanımlı görevi yerine getirmektedir. Burada veriler kesme ile alındığı için işlemcinin PIR sensöründen gelebilecek uyarıları kaçırmaması söz konusu olmamaktadır. Böylece ihtiyaç halinde pil destekli ve düşük güç tüketimli bir yapıya geçilmek istendiğinde işlemcinin sürekli uykuda kalması ve PIR sinyali kesmesi ile uyanarak GSM modülü enerjilendirip alarm aktivitesini gerçekleştirmesi de mümkün olmaktadır. Tercih edilen işlemcinin uyku halindeki tükettiği güç ve PIR dedektörün çalışma anındaki gücü toplamda birkaç mikroamperi geçmeyeceğinden tasarımın pil destekli yapıyla çalışabilmesi de mümkündür [18]. GSM modem ve mikrodenetleyici devresinin çalışma voltajları farklı olduğu için iki ayrı regülatör tercih edilmiştir.

III. DONANIM VE YAZILIM BİLEŞENLERİ

Devre üst ve alt kart olmak üzere iki farklı devrenin birleşiminden oluşmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü gibi üst kart modül şeklinde tasarlanıp alttaki kartın üstüne soket ile yerleştirilmektedir. Bunun sebebi üst karttaki modülde yer alan GSM modem ya da işlemci değiştirilmek istendiğinde devrenin genelinde değişiklik yapmaya gerek olmadan hızlı bir şekilde sadece üst kartları değiştirmek yeterli olacaktır. Genel olarak güç devresi ve giriş çıkış devrelerinin bulunduğu alt kartlar standart bir donanım olarak kullanılabilirliğinden çeşitliliği artırmak daha kolay hale gelecektir. Örneğin bazı ülkelerde sadece 2G şebekesi kullanılıyorken bazı ülkelerde artık 2G şebekesi kullanılmamaktadır. Gelişen nano teknolojiler sayesinde zamanla daha ucuz işlemciler üretilebilmektedir. Üretirken maliyet avantajlarını her zaman kullanabilmek için işlemci ve GSM modem gibi şartlara göre değişkenlik gösterebilen malzemeler üst kartta modül şeklinde toplanmıştır. Daha standart donanım olarak düşünülen alt kartta ise regülatörler ve giriş-çıkış devreleri bulunmaktadır. Giriş-çıkış sayısında değişiklik yapılmak istendiğinde alt kartı değiştirmek yeterli oluyorken, farklı bir GSM modem ya da farklı bir mikrodenetleyici kullanılmak istendiğinde ise sadece üst kartı değiştirmek yeterli olmaktadır. Böylece daha az kart çeşidi ile daha çok ürün çeşidi elde etmek, böylelikle stok ve üretim maliyetlerini düşürmek ve değişen malzeme maliyetlere göre tasarımı daha hızlı modifiye edebilir hale gelmek mümkün olmaktadır.



Şekil 2. Devrenin görüntüsü ve hata ayıklayıcı (Debugger) bağlantısı

Hedeflenen donanımda gerek üst kartta gerek alt kartta herhangi bir hazır modül kullanılmamış olup devre bu çalışma kapsamında tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Her iki devrenin de şematik ve baskı devre çizimleri Proteus programında yapılmıştır. Sistemin ana birimleri ile ilgili detaylı bilgiler takip eden bölümlerde sunulmuştur.

A. MİKRODENETLEYİCİ

Mikrodenetleyici birimi (MCU), devrenin yazılımının çalıştığı, girişlerinden aldığı bilgilere ve hafızasına yüklenen programın algoritmasına göre belirli işlemleri yapabilen ve birtakım çıktılar üretebilen programlanabilir işlem birimidir. Sensörden ve diğer girişlerinden gelen bilgiler doğrultusunda alarm durumu olup olmadığını anlamak ve alarm durumu varsa programlanmış olduğu senaryoya göre aksiyon almayı sağlamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada ST firmasının 8 bitlik bir mikrodenetleyicisi olan STM8L152 serisi tercih edilmiştir.

16MHz hızında ve aynı pin yapısında 16KB ve 32KB'lık hafızaya sahip modelleri olan bu mikrodenetleyici gerek giriş-çıkışı bakımından gerekse de donanımsal özellikleri bakımında istenilen özellikleri sağlamaktadır. İşlemcinin dahili gerçek zamanlı saat takvim (RTC) donanımı olması ve ultra düşük güç modunda çalışabilir olması, yurt içinde kolay temin edilebilir olması ve derleyicisinin lisanslı olarak ücretsiz bir şekilde kullanılabilir olması başlıca avantajları arasında yer almaktadır. Fiyat performans olarak değerlendirildiğinde benzer özelliklere sahip 8 bit mikrodenetleyiciler arasında rakiplerine göre avantaj sağlaması tercih sebebi olmuştur. Ancak modüler yapı sayesinde fiyat performans açısından daha avantajlı işlemcilerin temini sağlandıkça mevcut sistemin adaptasyonu kolay bir şekilde yapılabilir halde olmaktadır.

B. PIR SENSOR

PIR sensörleri, canlıların hareketini tespit etmek için kullanılır. PIR sensör, kızılötesi ışınları algılayan bir Pasif Kızılötesi Sensördür (Passive Infrared Sensor). Mutlak sıfırın üzerinde bir sıcaklığa sahip tüm canlılar, ışınlar şeklinde ısı enerjisi yayar. İnsan gözü bu ışınları göremez çünkü bu ışınlar kızılötesi dalga boyunda yayılır. Herhangi bir canlı PIR sensörünün menziline girdiğinde, sensör varlığın hareketine bağlı olarak yaydığı kızılötesi dalga boyundaki ısı değişimlerini algılar ve bir çıktı üretir. PIR hareket dedektörleri, video gözetimi veya aydınlatma ağırları gibi uygulamalarda, endüstriyel ve bina otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [19].

PIR sensörler analog ve dijital olarak iki tür olmaktadır. Dijital PIR sensörleri devre tasarımını basitleştirdiği için tasarım alanını küçülmesini sağlar. Buna karşın eşik seviyesi ayarlama analog PIR sensörleri kadar esneklik sağlamaz. Analog PIR sensörleri daha çok yan devre elemanı kullanılmasına sebep olur fakat daha hassas algılama ayarı yapılabilmesini sağlar [19]. Dolayısıyla kullanım yerine göre tercih yapılmalıdır. Bu çalışmada tasarım olabildiğince sade tutulmak istendiği ve algılama eşiklerinin hassas bir şekilde ayarlanılmasına ihtiyaç duyulmadığı için dijital PIR sensörü tercih edilmiştir. VCC,

GND ve ÇIKIŞ (OUTPUT) olmak üzere üç adet bağlantı pini vardır. Kullanılan dijital PIR sensörünün çıkışı (output) boştayken lojik-0 verirken bir canlıdan yayılan kızılötesi sıcaklık ışınması algıladığında ise lojik-1 seviyesinde çıkış vermektedir.

C. GSM MODÜL

Mobil iletişim sistemi, ses iletişimi ve hücresel veri aktarımının mobil olarak sağlanabildiği hücresel teknolojidir. Bir GSM modem, bir SIM kartı kabul eden ve bir mobil operatöre abonelik üzerinden bağlanabilen mobil iletişimi sağlamak için kullandığımız özel bir modem türüdür. GSM modemleri SMS ve MMS mesajları göndermek ve almak için de kullanılabilir. GSM modülü UART seri haberleşme protokolü üzerinden AT komut seti ile çalışır. Çalışmamızda SIM800 GSM modemi tercih edilmiştir. Bu modem düşük maliyet parametresi ile öne çıkmaktadır. Otomatik baud rate özelliği olan bu modem, MCU ile 9600 baud hızında haberleşmektedir. Çekim gücünü artırmak için modem ile birlikte harici GSM anteni tercih edilmiştir. SIM800 GSM modem 3.4V ~ 4.4V aralığında bir besleme voltajı ile çalışabilmektedir ancak GSM modülün besleme voltajının üst sınırlara yakın olması çalışma performansını olumlu etkilemektedir. Bu nedenle 4V çıkışa sahip bir regülatör ile beslenmektedir. Türkiye’de imei kayıtlı olarak satılan 2G modemler arasında fiyat performans olarak en uygun modemlerden birisidir.

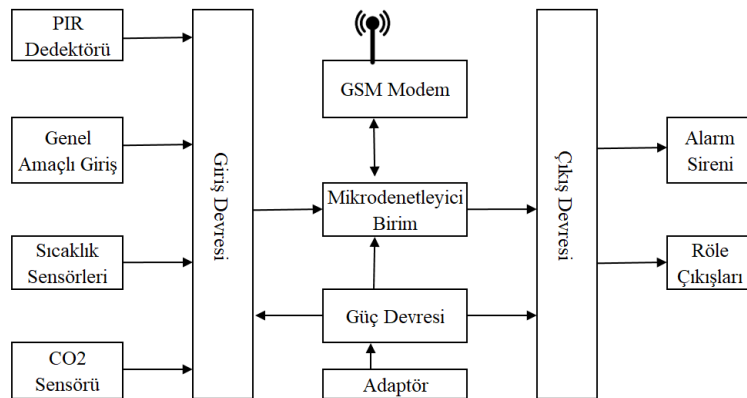
D. REGÜLATÖRLER

Devrede MCP1711-3.3 LDO ve LM2576-ADJ anahtarlamalı regülatörleri kullanılmıştır. 3.3V’luk regülatör mikrodnetleyici için kullanılmaktadır. Çıkış kaybı düşük özellikli bir regülatördür. LM2576-ADJ regülatörü ise 3A DC-DC anahtarlamalı bir regülatördür. 3.3V’luk düşük kayıplı sabit voltaj regülatörünün aksine anahtarlı regülatör çıkışı ayarlanabilir özellikte seçilmiştir. Böylece 4V gibi standart dışı bir çıkış değeri GSM modülü besleyebilmek için sağlanmıştır. GSM modülün güç tüketimi, arama ve mesaj işlemleri esnasında ciddi bir artış [20] gösterdiği için bu tarz yüksek güç harcayan devre elemanlarının beslemelerinde doğrusal regülatörlere göre daha az ısı yayını yapıtığı ve daha verimli çalıştığı için anahtarlamalı regülatör tercih edilmiştir [21].

E. DEVRENİN DONANIMI

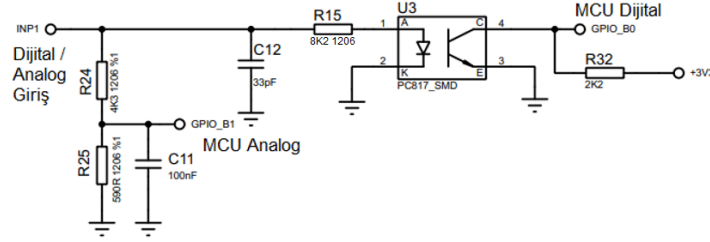
Devrede işlemci olarak STM8 kullanıldığı için kod geliştirme sürecinde programlama ve hata ayıklama (debug) işlemlerinde Şekil 2’de görülen ST-Link Utility V2 programmer/debugger cihazı kullanılmıştır. Kod geliştirme ortamı olarak ise STVD (ST Visual Developer) IDE’si kullanılmıştır. Bu IDE ortamı ücretsiz olarak sunulan bir kod geliştirme ortamıdır. Derleyici olarak ise STM8 serisi mikrodnetleyiciler için lisanslı olarak serbest kullanıma açık olması sebebiyle Cosmic compiler derleyicisi kullanılmıştır.

Şekil 3’de akıllı güvenlik sistemi için geliştirilen GSM tabanlı genel amaçlı kontrol devresinin blok şeması görülmektedir. Devrede 3V ~ 27V aralığında giriş kabul eden geniş aralıklı, genel amaçlı giriş devresi ve kuru kontak röle çıkışı sağlayan çıkış devresi bulunmaktadır. Çıkıştaki rölelerden birisine alarm sireni verilirken diğerine elektrik-su-doğal gaz gibi kaynakların kontrolü veya güvenlikle ilgili farklı önlemleri devreye alabilecek mekanizmaların kontrolü imkânı verilmektedir.



Şekil 3. Sistemin blok şeması

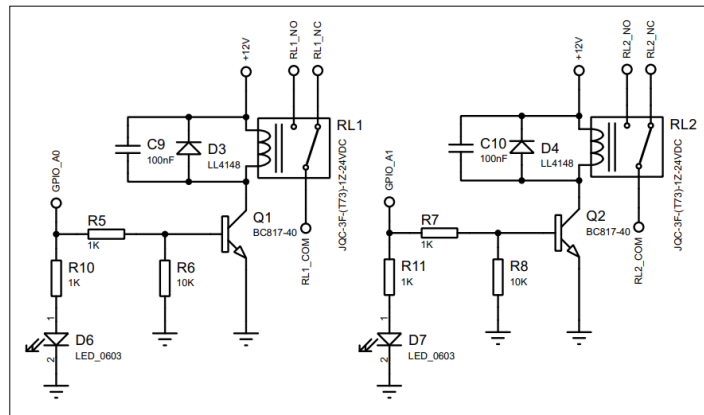
Şekil 4’ de alt karttaki giriş devresinin açık devre şeması görülmektedir. Giriş devresi oldukça geniş voltaj aralığında (3-27V) analog ve dijital özellikte giriş sinyallerini işlemcinin okuyabileceği (0-3,3V) aralığa indirir.



Şekil 4. Alt kart – Genel amaçlı giriş devresi

INP1 girişindeki voltaj değerinin R24 ve R25 gerilim bölücü dirençlerinde bölünmüş hali, mikrodenetleyicinin GPIO_B1 girişinden ADC vasıtasıyla analog değer olarak okunabildiği gibi, GPIO_B0 girişinden dijital değer olarak da okunabilmektedir. Gerilim bölme değeri ($R25/(R24+R25)$), ADC girişindeki gerilimi, girişin 0,120 katı olacak şekilde belirlenmiştir. Böylece giriş geriliminin 0-27V arasındaki değişimi mikrodenetleyiciye 0-3,3V arasında bir değer olarak yansıyacaktır. Böylece sistem endüstriyel uygulamalarda kullanılan 12V/24V gibi seviyelerde voltajları kabul edebilecek şekilde tasarlanmış olur. Dijital tarafta ise opto kablolu transistör vasıtasıyla aynı giriş voltaj aralığının (0-27V) işlemci tarafında 0-3,3V arasında lojik seviyede değerlendirilmesi sağlanmıştır. Dijital değerlendirme için 3-27V aralığındaki girişler lojik “1” olarak, yaklaşık 2,5V’un altındaki giriş değerleri ise lojik “0” olarak kabul edilmiştir. Bunun için R15 led akım sınırlama direncinin değeri, giriş yaklaşık 3V seviyelerindeyken opto kablolu transistörün iletme geçebileceği minimum akım sınırını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Giriş voltajı 2,5V’un altında olduğunda opto kablolu transistörün led akımı opto transistörü iletme geçiremeyecek kadar düşük kalmaktadır ve bu şekilde lojik “0” durumu sağlanmaktadır. Tabii bu durumda MCU tarafında ters lojik işletilir. Yani INP1 girişinde 3-27V arasında bir voltaj bulunduğunda opto çıkışı olan GPIO_B0 girişinde lojik “0” bulunurken, INP1 girişinde 0-2,5V arasında bir gerilim olduğunda ise opto kesimde olacağından bu kez GPIO_B1 girişi (R32 pull-up direnci üzerinden) lojik “1” seviyesinde kalır. Burada görüldüğü üzere 0-27V gibi geniş aralıkta bir giriş gerilimini opto kablolu transistör vasıtasıyla güvenli bir şekilde MCU tarafına lojik sinyal şekliyle iletebiliriz. Ayrıca lojik kısmı opto kablolu transistör ile okumanın bir diğer avantajı da analog girişlerin kullanılmadığı durumlarda R24 ve R25 dirençlerinin takılmaması ve giriş sinyali toprağı ile devre toprağının ayrılması sağlanarak girişleri kolayca elektriksel izolasyonlu hale getirmek mümkün olabilmektedir.

R15, R24 ve R25 dirençleri 27V gibi bir seviyedeki voltaja maruz kalacakları için üzerlerinde harcanacak güce dikkat edilmelidir. R15 direnci üzerinde maksimum düşecek olan gerilim $27V - V_{led}$ voltajı kadar olacaktır. V_{led} voltajı kullanılan opto kablolu transistörün normal çalışmada üzerinde düşen led voltajı kadardır. PC817 için bu değer 1.1V civarı olmaktadır. Dolayısıyla R15 üzerinde düşen voltaj 25,9V ve harcanan güç ise 81,8mW olmaktadır. Bu nedenle kullanılacak direnç kılıfı olarak 1/8W güç sağlayan 1206 kılıf yüzey montaj tipi direnç seçilmiştir. Şekil 5’ de alt kart çıkış devresi görülmektedir.

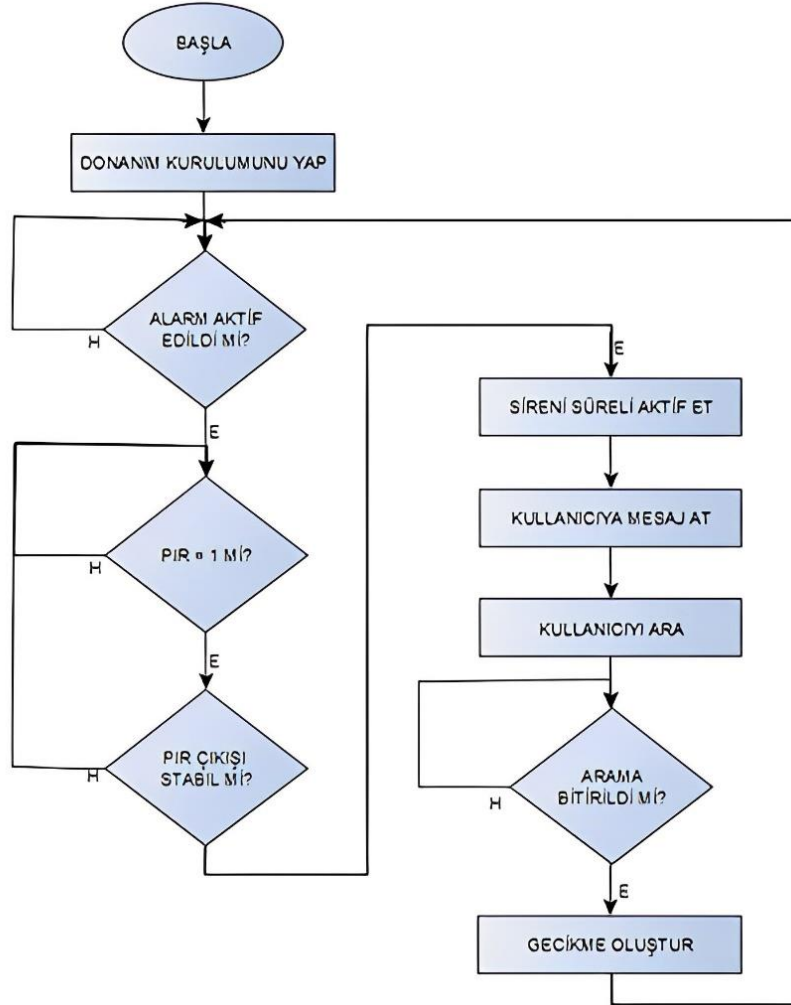


Şekil 5. Alt kart – Genel amaçlı çıkış devresi

Şekil 5 'de iki adet kuru kontak röle sürme devresi bulunmaktadır. LED indikatör ile röle durumunu izlemek mümkündür. İhtiyaca göre alt karttaki modifikasyonlar ile röle çıkışı sayısı artırılabilir. Böylece akıllı ev uygulamalarında, ev elektroniğinin kontrolünde ve güvenliğin sağlanmasında daha zengin kontrol imkânı sağlanacaktır. Devrenin giriş çıkış sayısının artırılması ile daha çok sensor bağlanabilir ve daha çok aygıt kontrol edilebilir.

F. DEVRENİN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE YAZILIMI

Piyasada bulunan güvenlik sistemlerine aylık abonelik ücretleri gerekiyorken tasarlanan sistemde düzenli bir aylık abone ücreti ödenmesine gerek olmayacağı için ve ticari güvenlik sistemlerinde olduğu gibi alarmları değerlendiren ayrı bir birim olmayacağı için alarm mesajları düşük maliyetlerle hızlı bir şekilde, direkt olarak kullanıcıya (ev sahibine) ulaşabilecektir. Bu sistemin yazılımı C programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile otomatik olarak çalışan bir güvenlik sisteminin gerçekleştirilmesi mümkün kılınmıştır. Şekil 6'da Akıllı ev güvenlik sistemi akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 6. Akıllı ev güvenlik sistemi akış diyagramı

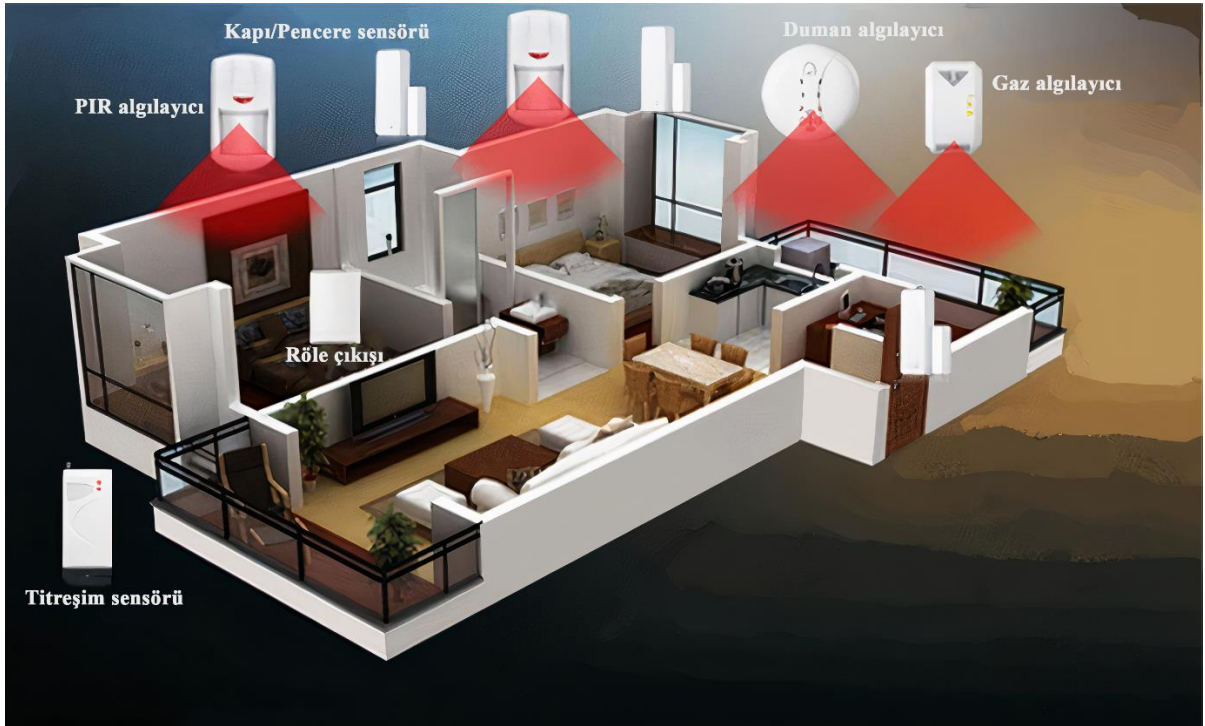
Şekil 6 'da yazılımın akış diyagramı görülmektedir. Bu sistemin çalışması için öncelikle kullanıcının kendini akıllı evdeki alarm sistemine yönetici (admin) olarak tanıtmayı ve bir şifre belirlemesi gerekmektedir.

Kullanıcı bu şifreyi kullanarak (sadece admin olarak kayıtlı numaradan) mesaj atmak suretiyle istediği zaman güvenlik sistemini aktif ya da pasif yapabilmektedir. Bu sayede evde olmadığı zamanlarda

alarmın devreye girmesi sağlanabilecektir. Alarm aktif olduğunda, mikrodenetleyici PIR sensöründen aldığı bilgiyi işler ve görüş alanında bir hareketli tespit ederse GSM modemi kullanarak yönetici olarak hafızada kayıtlı cep telefonu numarasına çağrı ve mesaj göndermektedir. Yöneticinin akıllı ev güvenlik sisteminden gelen çağrıyı meşgule alması veya çağrının kapanması için gereken sürenin dolması beklenir. Çağrı sonlandırıldıktan sonra da belli bir süre boyunca alarm ile birlikte aktif edilen alarm sireni çalışmaya devam eder ve sonrasında siren susturularak tekrar alarm durumu kontrol edilir. Yönetici tarafından alarm susturulmadı ise ve evin için de halen hareketlilik varsa aynı prosedür tekrarlanır. Bu noktada farklı rölelerin yönetici tarafından kontrol edilmesi ile akıllı evin kapıları kilitlenebilir, elektriği kesilebilir vb. farklı güvenlik önlemleri de devreye alınabilir. Tüm bunlar akıllı alarm sistemi tarafından otomatik bir şekilde yapılabileceği gibi yöneticinin uzaktan cep telefonu ile cihaza erişmesi ve SMS ya da DTMF komutları göndermesi ile de mümkün olacaktır.

IV. UYGULAMA

Tasarlanan sistem genel amaçlı kullanıma uygun modüler bir yapı barındırdığı için giriş çıkış sayısı ihtiyaca uygun şekilde ayarlanabilmektedir. Şekil 7 'de tipik bir mesken güvenlik sisteminin temsili uygulama gösterimi görülmektedir. Uygulamada PIR dedektörler ile odalarda canlı hareketi algılanabilmektedir. Kapı pencere sensörleri ile dışarıdan içeriye girişler algılanabilmektedir. Odalarda bulunan duman dedektörleri ve gaz dedektörleri ile de olası yangın riskleri algılanabilmektedir. Ayrıca titreşim sensörü ile bina dışında kapı ve pencerelere yapılan zorlamalar anlık olarak tespit edilebilmektedir. Tüm bu sensör ekipmanları ile meskenlerin birçok yönden güvenliği ve takibi gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir. Böylece olası tehlike anlarında bu durumda anında haberdar olmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 7. Sistemin uygulaması [22]

Yukarıda sayılan tüm sensörler geliştirilen sistemin girişlerine bağlanır ve donanım kısmında anlatılan seviye uygunlaştırıcı devre vasıtasıyla mikrodenetleyici tarafından düzenli olarak algılanabilir. Röle çıkışı katı vasıtasıyla çeşitli fiziksel güvenlik önlemlerini de aktif etmek mümkün olmaktadır. Örneğin duman ve gaz sensörleri ile ilgili bir güvenlik sorunu tespit edildiğinde elektrik ve gaz sistemleri otomatik olarak kapatılıp, yangın söndürme sistemleri aktif edilebilmektedir. Herhangi bir sensör

gurubundan alarm durumu tespit edildiğinde kullanıcıya GSM modem vasıtasıyla mobil şebeke sistemi kullanılarak kısa mesaj ve arama yapmak suretiyle bilgilendirme yapılabilmektedir. Tablo 1’de bu çalışmada geliştirilen modüler yapıdaki sistemimiz ile benzer çalışmalarla öne çıkan özellikler bakımından karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Yapılan çalışmalara göre özelliklerin karşılaştırılması

Referans	GSM/SMS	Düşük Güç	Telefon Uygulaması	Mobil Telefon	Bluetooth	Düşük Maliyet	Kablosuz Uzaktan Kontrol
Ramlee[12]		+	+	+	+	+	+
Madan[13]	+	+			+		
Babu[14]			+	+	+		+
Javale[15]				+			+
Isa[10]	+			+		+	
Hedeflenen Sistem	+	+		+		+	

V. SONUÇ

Kullanıcılara telefon vasıtasıyla uzaktan erişim imkânı veren sistem ile akıllı evin elektrik, gaz ve suyunu uzaktan kontrol etmek mümkün olmaktadır. Böylece uzak noktadan sadece hırsızlık kontrolü değil, aynı zamanda su kaçağı, gaz kaçağı ya da yangın gibi önemli risklere karşı da güvenlik önlemi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, çok boyutlu güvenlik imkânı sağlamanın yanı sıra güvenlik sistemi üzerindeki teknik komplekslik azaltılmış, üretim sırasında ve sonrasında oluşan maliyetler düşürülmüştür. Malzeme alım adetlerine ve kullanılacak olan modüler ekipmanların kullanımına göre değişmekle birlikte minimum üretim maliyeti bu çalışmanın yapıldığı sırada yaklaşık 10-15\$ arasında olabilmektedir. Çağrı merkezi olan, aylık sabit abonelik ücretleri ile düzenli gelir elde eden ticari güvenlik sistemlerine ciddi kaynaklar ayırmadan, düşük maliyetli, düşük güç tüketimine sahip, otonom çalışabilen, uzaktan kontrol edilebilen, hızlı bir akıllı ev güvenlik sistemi geliştirilmiştir. Çağrı merkezi ile destek veren güvenlik operatörleri kuruma göre değişmekle birlikte bu çalışmanın yapıldığı sırada ortalama 20-30\$ bandında ödeme almaktadır. Tasarlanan sistem ise güvenlik alanında bu şekilde ücretli hizmet veren herhangi bir kuruma ihtiyaç duymadan sadece kişisel GSM hattı üzerinden kontrol edilebilmektedir. Bu nedenle telefon operatörü dışında herhangi bir kuruma ödeme yapılmaya ihtiyaç olmadan, düşük maliyetlerle çalışabilmektedir. Yapılan tasarım en düşük donanım konfigürasyonu ile doğrudan hedef odaklı yapılmıştır. Modüler yapısı sayesinde üst kart modülünü değiştirerek 2G - 4G geçişleri ya da çip krizi, tedarik sorunu gibi sebeplerle mikrodenetleyici değişimi gibi işlemleri kolayca yapmak mümkün olmaktadır.

Tasarlanan sistem geliştirilmek istendiğinde eklenebilecek bir şarjlı batarya desteği ile elektrik kesildiğinde dahi güvenliğin kesintisiz devam etmesi sağlanabilir. Aynı zamanda Wi-Fi ağına bağlanabilecek bir donanım eklentisi ile hali hazırda evlerde kullanılan bir Wi-Fi ağına bağlanabilme imkânı sağlanabilir. Böylece SIM hattı gereksinimi gibi ihtiyaçlar ve maliyeti ortadan kaldırılabilir. Ancak alt yapısal ya da teknik nedenlerle internetin veya elektriğin kesildiği durumlarda bu bir dezavantaj olacağından hibrid bir yapı kullanılmasının daha başarılı sonuçlar verebileceği değerlendirilmektedir. Böylece internet ve elektrik varken mevcutta bulunan Wi-Fi ağı üzerinden akıllı alarm sistemine erişim sağlanabiliyorken, internet veya elektrik kesintilerinde GSM operatörleri üzerinden iletişim kurulabilmesi ve olası elektrik kesintileri için de batarya desteğinin bulunması halinde kesintisiz ve kararlı çalışan bir akıllı alarm sistemi sağlayacaktır. Ayrıca üst karttaki 2G GSM modülü BLE destekli GSM modül ile değiştirilmek suretiyle evin farklı noktalarına kablosuz sensörler koyulması ve bu sensörlerden veri toplanarak sistemin çalıştırılması sırasında daha kullanışlı bir ortam sağlayabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] F. Hussain, M. Qi and A. Induruwa, "Security Vulnerabilities of Popular Smart Home Appliances," *The Twentieth International Conference on Networks*, Porto, Portugal, 2021, pp.13-19.
- [2] V. Riquebourg, D. Menga, D. Durand, B. Marhic, L. Delahoche and Christophe "The Smart Home Concept : our immediate future," *1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics*, pp. 23-28 2006.
- [3] G. Mussi, Toschi, L. Barreto, C. C. Eduardo and Cugnasca "Home automation networks: A survey," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 50, pp. 42-54, 2017.
- [4] R.Ciffee, G.Sudha, S.Saranya and G.K. Thyagesh "Zigbee based automation systems for homes with the deployment of smart sensors," *Materials Today: Proceedings*, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.043.
- [5] J.Rajasekhar, M. TrinathBasu and N.S.S.Sowjanya, "Smart governance of home through IoT," *Materials Today: Proceedings*, 2021, doi :10.1016/j.matpr.2020.11.359.
- [6] Karaduman, Ozgur Can, et al. "Developing a Security Software for Android-based Systems ("Secand")." *The Anthropologist*, vol. 17 no. 1, pp. 37-43, 2014.
- [7] Özgön, İbrahim, et al. "The Design In Mobile And Web Platform Of The Location Identification Application With GPS Signals And Its Reporting Process." *3rd International Symposium on Computing in Science & Engineering*, vol. 24, pp. 62-67, 2013.
- [8] R. Hasan, M. M.Khan, A. Ashek and I. J. Rumpa "Microcontroller based home security system with GSM technology," *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 55-62, 2015.
- [9] Y. Zhao and Z. Ye "A low cost GSM/GPRS based wireless home security system," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, no. 2, pp. 567-572, 2008.
- [10] Isa, Eleni, and N. Sklavos. "Smart Home Automation: GSM Security System Design & Implementation," *Journal of Engineering Science & Technology*, vol. 10, no. 3, 2017.
- [11] R. K. Sharma, A. Mohammad, H. Kalita and D. Kalita "Android interface-based GSM home security system," *International Conference On Issues And Challenges In Intelligent Computing Techniques (ICICT)*, pp. 196-201, 2014.
- [12] Ramlee, Ridza Azri, et al. "Smart home system using android application." *2013 International Conference of Information and Communication Technology (ICoICT). IEEE*, 2013.
- [13] Madan, Vini, and S. R. N. Reddy. "GSM-Bluetooth based remote monitoring and control system with automatic light controller." *International Journal of Computer Applications*, vol. 46, no.1, pp. 20-28, 2012.
- [14] Babu, B. Suresh, and Dr C. Venkata Narasimhulu. "Robust Model to Access Consumer Appliances Using Android." *International Journal of Research in Advent Technology*, vol.2, no.10, pp. 68-72, 2014.

- [15] Javale, Deepali, et al. "Home automation and security system using Android ADK." *International journal of electronics communication and computer technology (IJECCCT)*, vol. 3, no. 2, pp. 382-385, 2013.
- [16] C. Sisavath and L. Yu, "Design and implementation of security system for smart home based on IOT technology," *Procedia Computer Science*, vol.183, pp. 4-13, 2021.
- [17] M.otaz Daadoo, S. M.A Atallah and S. Tarapiah "Development of Low Cost Safety Home Automation System using GSM Network," *European Journal of Social Sciences*, vol.53, no. 3, pp. 338-353, 2016.
- [18] STMicroelectronics. (2021, March 26). *STM8L152X6 Datasheet* [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm8l152c6.pdf>.
- [19] Texas Instruments. (2022, Feb 16). *Low Power PIR Motion Detector Design: Analog vs. Digital Solutions* [Online]. Available: <https://training.ti.com/low-power-pir-motion-detector-design-analog-vs-digital-solutions>.
- [20] Smart Machine Smart Decision. (2021, June 30). *SIM800_Hardware Design_V1.09 datasheet* [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/file/39898814/sim800-hardware-design-v109pdf/>.
- [21] Texas Instruments. (2022, Feb 16). *Power Supplies, Switching Regulators, Inverters, and Converters, TAB Books, a division of McGraw-Hill Inc* [Online]. Available: <https://www.ti.com/power-management/non-isolated-dc-dc-switching-regulators/overview>.
- [22] Allpro Security Services Limited. (2019, October 23). *Image* [Online]. Available: <https://www.allpro-security.com/build-your-system/>.



Duzce University Journal of Science and Technology

Research Article

A Simplified Approach to Determine Shear Strength for Corroded RC Beams

 Gamze DOGAN^{a,*}

^{a*} Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Natural Science, Konya Technical University, Konya, TURKEY

e-mail address: gdogan@ktun.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1293075

ABSTRACT

Corrosion damage, which can be considered a construction or service failure during the life of the structure, is an important parameter for structural elements. Strength loss due to corrosion is observed in reinforced concrete (RC) members and is an important parameter affecting the performance of the structure. Determining the shear strength of beams with corroded reinforcement is important in terms of strength loss, design, and reinforcement criteria in the structural member. In this context, data from 157 experimental tests of corroded RC beams reported in the literature were collected and the ultimate shear strength values of the beams were determined as a function of the test parameters. Strength estimation was performed using the machine learning regression algorithms XGBoost and AdaBoost. The results obtained were evaluated using the R^2 , RMSE and MAE performance metrics and high estimation success was achieved. The study shows that with these systems, which can perform learning based on experimental data, it is possible to estimate the shear strength values of corroded beams with known production parameters without the need for experimental measurements.

Keywords: Corroded beam, Shear strength, Machine learning, XGBoost, AdaBoost.

Korozyona Uğramış Betonarme Kirişler için Kesme Dayanımını Belirlemeye Yönelik Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım

ÖZ

Yapı ömrü boyunca yapım ya da kullanım kusuru sayılabilecek korozyon hasarı yapı elemanları için önemli bir parametredir. Korozyon sebebiyle betonarme elemanlarda dayanım kaybı görülmekte bu da yapı performansını etkileyen önemli bir parametre olmaktadır. Donatısı korozyona uğramış kirişlerin kayma mukavemetinin belirlenmesi, yapı elemanında dayanım kaybı, tasarım ve güçlendirme kriterleri açısından önemli olmaktadır. Bu çalışmada yapay zekâ algoritmaları ile betonarme kiriş deneylerinden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin deneysel çalışmaya gerek kalmadan belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda literatürde gerçekleştirilmiş korozyona uğramış betonarme kiriş deneyleri verileri toparlanmış, deney parametrelerine bağlı olarak kirişlerin nihai kesme dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Dayanım tahmini makine öğrenmesi regresyon algoritmalarından XGBoost ve AdaBoost ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar R^2 , RMSE ve MAE performans metrikleri ile değerlendirilmiş ve yüksek tahmin başarısına ulaşılmıştır. Çalışma göstermektedir ki deneysel verilere bağlı öğrenme gerçekleştirebilen bu sistemler ile üretim parametreleri bilinen ve korozyona uğramış kesme dayanımı değerlerini deneysel ölçümlere ihtiyaç duymadan tahmin etmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Korozyonlu kiriş, Kesme dayanımı, Makine öğrenmesi, XGBoost, AdaBoost.

I. INTRODUCTION

Corrosion can develop in the reinforcing steel due to effects such as the choice of an inappropriate concrete cover in RC structural elements, inappropriate materials and manufacturing practices in the concrete mix (aggregate granulometry, use of sea sand, porosity of the concrete, etc.), exposure of the elements to a humid environment for a long period of time. The cross-sectional area of the corroded reinforcement is reduced and the concrete cover on the reinforcement increases in volume due to the volume of rust on the reinforcement, causing the concrete shell to shed over time. There is also deterioration of the reinforcement and loss of adhesion between the concrete and the reinforcement. With all these effects, rebar corrosion, which occurs as a manufacturing and service failure, is known to cause significant capacity loss in RC elements.

Various experimental studies have been carried out to investigate the effects of corrosion on the structure and performance of structural elements. Corrosion studies on RC columns have shown serious reductions, particularly in the load carrying capacity of the column [1-3]. There are several studies in the existing literature to investigate the structural behaviour of corroded RC beams [4-7]. Rodriguez et al. [8], in their study examined the changes in the load carrying capacity of a corroded RC structure and found that corrosion reduces the ultimate strength and also increases the crack widths on the element. The study found that the failure mode of the beams with corroded sections changed compared to the normal reinforced beams. In addition, the study by Higgins and Farrow's [9] also carried out an experimental investigation of corrosion on RC beams, and as a result of the experiment, low deformation and shear capacity were observed in the corroded sections. Ye et al. [10] observed the effect of corrosion on shear strength by observing the corroded stirrups in the studies and pointed out the low shear strength in beams with highly corroded stirrups. Based on real field data as well as experimental studies, Poupard et al. [11] carried out investigations on beams exposed to corrosion for many years and observed that cracking became widespread in the beam area where high corrosion levels were observed. Corrosion damage in RC beams is shown in Figure 1.



Figure 1. Images of corroded RC beams

In recent years, various artificial intelligence methods have been used to solve complex problems in structural and earthquake engineering (Figure 2). The use of machine learning systems in structural engineering is quite common in studies in the literature. Although the evaluation process is difficult due to the large amount of data in the field of structural health monitoring, machine learning systems have been widely used in this field [12, 13]. Prediction of post-earthquake seismic response and evaluation of structural safety have been another area of study using machine learning applications

[14, 15]. In addition, strength estimation and structural damage modes and estimation in RC elements after earthquakes, crack detection in elements have also been among the machine learning applications in the literature [16-24].

In this study, the estimation of shear strength was investigated using machine learning algorithms, depending on the experimental study data in which the corrosion effect was observed in RC beams. The study used machine learning from the field of artificial intelligence, which is one of the innovative technologies in the field of engineering. Machine learning, as a product of evolving technology, shed light on an important problem in the field of structural engineering in this study, and with the statistical approach of artificial intelligence, it was possible to estimate the strength of corroded beams by knowing various parameters without the need for experimental analysis.

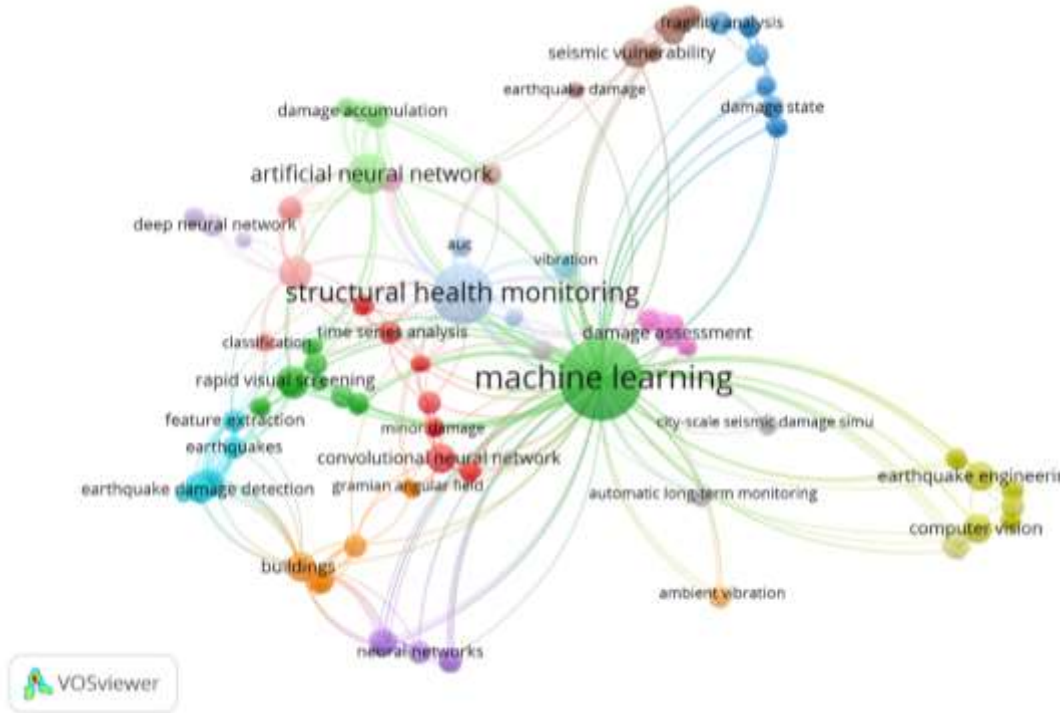


Figure 2. Machine learning studies in structural and earthquake engineering

II. MACHINE LEARNING

Machine learning (ML), which is one of the systems of artificial intelligence, is the functioning of machines similar to the information transfer, experience and decision mechanisms in humans. It is based on a mathematical-statistical system. ML is a system that produces results by evaluating multiple parameters and statistical results. With sufficient learning, it can be used as a decision support system to solve important problems. In short, it can be defined as the implementation on machines of training and learning processes that are possible in human physiology, thanks to the algorithms developed.

ML uses coded algorithms to correlate the result with incoming information and the instructions given to complete a task. ML has algorithms that can also produce solutions to complex engineering problems. How the input and output data are introduced into the network structure while the algorithm is being built is important to the success of a network model in coding. ML algorithms allow us to perform tasks such as classification, prediction, and object recognition. For these processes, ML is divided into two as supervised (trained) and unsupervised (untrained) learning according to the training state of the data. Supervised learning is a branch of ML that produces results (output) based

on training data. Regression (prediction) and classification are supervised learning methods. Unsupervised learning analyses and cluster datasets. Without human intervention, these algorithms discover connections between similarities and differences between data sets. This algorithm is ideal for data analysis, segmentation, and image recognition. In this study, regression algorithms for ML were used as the estimation problem for the data was investigated.

Regression is a statistical measurement that determines the strength of the relationship between a dependent variable and other independent variables and makes predictions based on that relationship. Regression-based machine learning algorithms are used to estimate unknown values for data. These algorithms are used to make predictions from data using indicators of past behaviour. Particularly in engineering problems, regression algorithm can be used to find a solution based on the relationship between the data. In the case of dependent variable (y) and independent variable (x) from more than one variable, the regression method, which is defined as a function of (y) dependent on (x), is diversified according to the type of function among the variables in the data.

One of the most popular regression algorithms is Decision Tree, and many new and updated models have been developed accordingly. It is a model that brings practicality to problems with complex data. Decision trees are an algorithm that is constructed by dividing the input data into smaller clusters, just like the physiology of a tree from the root to the leaves. The first cells of the decision trees are called root nodes. Root cells have nodes below them. The complexity of the model increases as the number of nodes increases. At the bottom of the decision tree are leaf nodes. Leaves give us the result [25]. A representative decision tree network structure is shown in Figure 3.

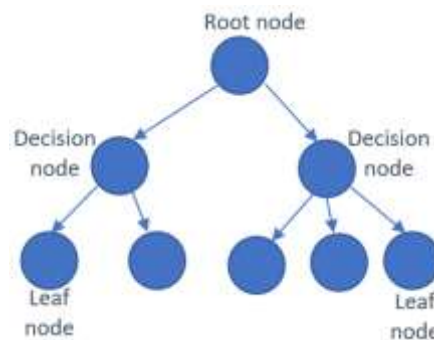


Figure 3. Decision tree architecture

Boosting algorithms are tree-based algorithms used to strengthen accurate predictions in machine learning models. This model, which is an ensemble method, can be used to strengthen weak models. This method uses sequential rather than parallel computation (Figure 4). XGBoost, AdaBoost, GradientBoost and CatBoost algorithms are types of Boosting algorithms. XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) was developed in 2016 by Chen and Guestrin [26] using a gradient boosting framework designed for speed and performance. The main feature of the algorithm is that it works faster than other regression models. Process of XGBoost is calculated by Eq. 1 [27]. Number of trees are important parameters for XGBoost model. Target loss function shown in Eq. 2. and Eq.3 is found with the help of Eq. 1 and Eq. 2. The final target loss function is then converted to Eq. 4 and the XGBoost model is trained according to this target. Regularization term is calculated in Eq. 5. For all equations; y_i is the actual value, $\hat{y}_i^{(t)}$ is the final tree model; $\hat{y}_i^{(t-1)}$ is the previously generated tree model; $f_t(x_i)$ is the newly generated tree model, and t is the total number of tree models; g_i and h_i are the first and second order gradient statistics on the loss function.

$$y_i^{(t)} = \sum_{k=1}^t f_k(x_i) = \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i) \quad (1)$$

$$Obj^t = \sum_{k=1}^t L(y_i, \hat{y}_i^{(t)}) + \sum_{k=1}^t \Omega(f_i) \quad (2)$$

$$Obj^t = \sum_{k=1}^t L(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)}) + f_t(x_i) + \Omega(f_t) + constant \quad (3)$$

$$Obj^t = \sum_{k=1}^t \left[g_i f_t(x_i) + \frac{1}{2} h_i f_t^2(x_i) \right] + \Omega(f_t) \quad (4)$$

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \|\omega\|^2 \quad (5)$$

Adaptive boosting (AdaBoost) is one of the simplest boosting algorithms. Although it is similar to Random Forest in terms of the prediction system, the training set is trained with the first weak learner. The training data that gives incorrect results in the estimation of the training result are retrained by increasing the weights of the training data. This is continued by training the output of the weak learner as the input to the other learner, and finally the results are combined to form the final result. Since there are models that perform slightly better than random prediction, weak learners are trained until they reach at least random prediction performance. In this algorithm model, decision trees are used in the training series. The AdaBoost model is calculated using Eq. 6 and 7. For equations **t**: number of trees, **w**: leaf weights, **s**: single tree structure.

$$y = \sum_{t=1}^t f_t(x) \quad (6)$$

$$F = \{f_t = w_s(x)\} \quad (7)$$

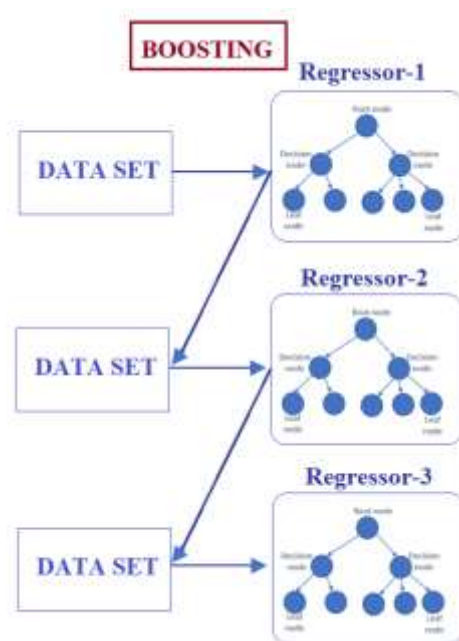


Figure 4. Boosting algorithms

III. ANALYTICAL STUDY

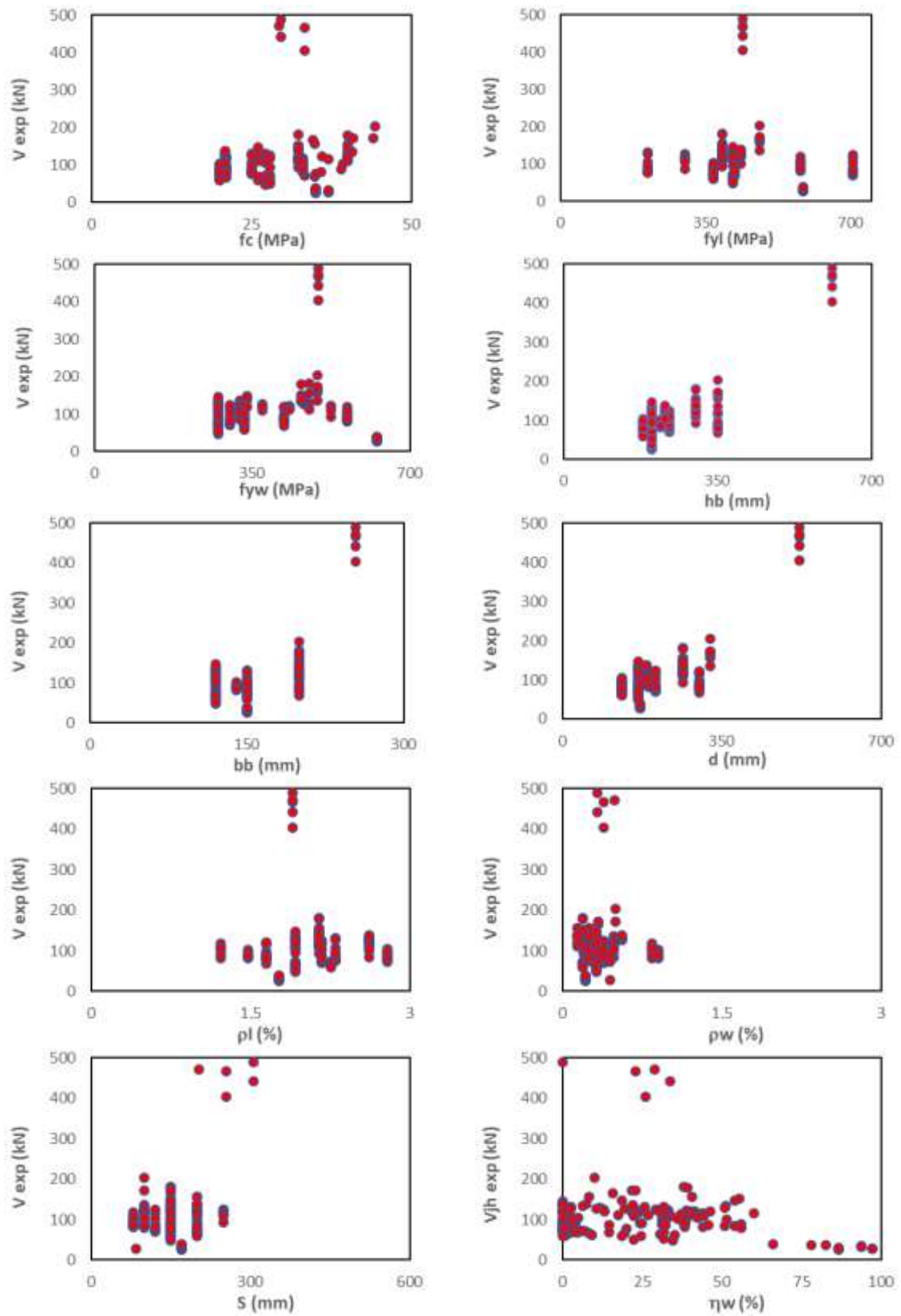
A. PREPARING THE DATA SET

Within the scope of the study, the shear strength values determined as a result of the tests performed on the corroded RC beams are to be determined using machine learning algorithms provided that similar production parameters are known. For this purpose, data from experimental studies in which the shear strength was determined for corrosion-damaged RC beams were collected from in the literature. For the experimental studies, the beam test data in the studies of Fu and Feng [28] studies [8, 9, 28-38] were compiled. Beam dimensions and shear span to depth ratio, concrete compressive strength, yield strength of longitudinal and transverse reinforcement, stirrup spacing, reinforcement ratios, corrosion parameter of longitudinal and transverse reinforcement are used as input parameters for algorithms, and shear strength value is output (target) in experimental studies. Parameters for the algorithm are given for algorithm as input and output parameter definition, values as range of change and units in Table 1.

Table 1. Statistical values of experimental database

Parameters	Details	Min	Max	Mean	Units	
Material	f_c	Concrete compressive strength	20	44.40	28.12	MPa
	f_{yl}	Yield strength of reinforcement	210	706	430.59	MPa
	f_{yw}	Yield strength of stirrup	275	626	397.49	MPa
Cross sectional	h_b	Cross sectional height	180	610	257.34	mm
	b_b	Cross sectional width	120	254	159.19	mm
	d	Effective depth	130	521	214.32	mm
	a/d	Shear span to depth ratio	1	4.7	2.33	(%)
Reinforcement	ρ_l	Longitudinal tension reinforcement ratio	1.22	3.27	2.17	(%)
	ρ_w	Stirrup ratio	0.14	0.90	0.36	(%)
	S	Space of stirrup	80	305	155.68	mm
	η_l	Section loss ratio of longitudinal reinforcement	0	26	3.02	(%)
	η_w	Section loss ratio of stirrup	0	97.2	23.44	(%)
Output	V_{exp}	The sectional shear strength at beams obtained from the experiment	26.60	594	118.55	kN

In the data, the effect of each input data, namely the parameters effective in beam production, on the shear strength of the beams was examined and the statistical distribution of the parameters depending on the target value is shown in Figure 5. From the interaction relationships between the parameters shown in Figure 5, it can be seen that the beam dimensions change the beam shear strength proportionally. It is clear that the increasing the values of these parameters increase the capacity. It can be seen that the corrosion occurring in the longitudinal reinforcement in the beam has a greater effect on the strength value. In addition, there is no linear change between material strengths and beam shear strength. This situation also shows that linear approaches do not give accurate results when estimating the shear capacity of the beam. This result also shows that this problem cannot be solved with linear models from machine learning prediction algorithms.



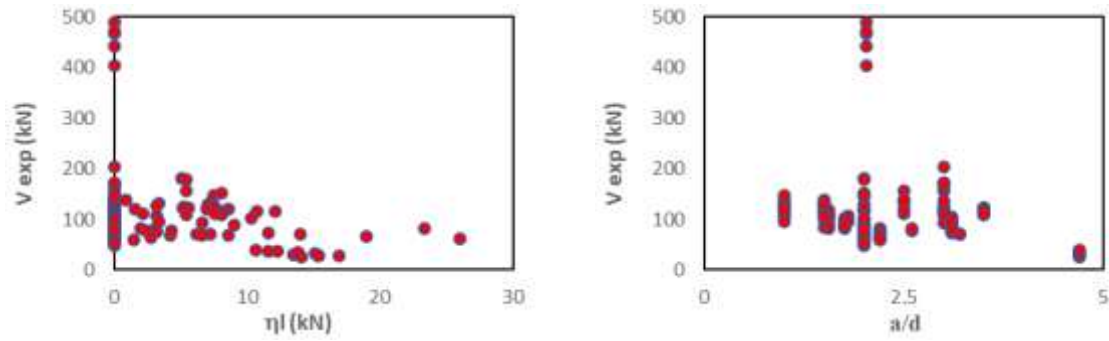


Figure 5. Correlation between the input parameters and the corroded shear strength (output)

B. APPLICATION OF ALGORITHM MODELS

Machine learning algorithms, one of the methods artificial intelligences, were used to estimate of shear capacity as a function of parameters in corroded RC beams. In the study, the shear strength was estimated from the test data based on RC beam dimensions, material information and corrosion parameters. For this reason, "XGBoost" and "AdaBoost" algorithms, which are among the machine learning regression (prediction) algorithms and the most recently developed models in the literature, were used in the study. These algorithms are considered to be more successful algorithm architectures, because they use multiple decision tree models to reach the final prediction value, are ensemble models, and have more accurate decision-making capabilities compared to a single algorithm model.

During the development of the algorithm, the coding process was carried out in the open-source software Python [39]. The Numpy and Pandas libraries, which are required libraries on the software, were loaded into the Python environment to process the data and apply algorithms in Regression models. First, the data was pre-processed. The data is introduced to the system as input and output, and then separated into training and test data. Prediction algorithms are trained using the training set and the algorithm is provided to learn in this way. The algorithm then tests the predictive success of the model using the test data. By using the random split method in the data, the size of test data was determined to be 0.15. This means: Approximately 85% of all data was randomly allocated as training set and 15% as test set. Therefore, 133 data out of 157 beam test data were randomly assigned as training set and 24 data were randomly assigned as test set.

The Sci-Kit Learn (sklearn) library was used to train and predict on the data. The data was trained using the "fit()" function of the Sklearn library, and the predictions were made using the "predict()" function. The estimated shear strength values obtained from the regression algorithms are shown in Table 2 in comparison with the actual (experimental) data.

The predicted corroded shear strength values obtained from XGBoost and AdaBoost algorithm models were compared with experimental shear strength values from literature and are shown in Figure 6.

Table 2. Comparison of experimental and predicted shear strength results for RC beams (ML regression algorithms)

$V_{\text{Experimental}}$ (kN)	$V_{\text{predicted}}$ (kN)		$V_{\text{Experimental}}$ (kN)	$V_{\text{predicted}}$ (kN)	
	V_{XGBoost}	V_{AdaBoost}		V_{XGBoost}	V_{AdaBoost}
60	55.7844	75.1097	67	63.7804	86.9622
77.4	84.4685	96.0281	96	81.6249	88.3667
89	80.0155	93.1793	443	452.157	438
91	77.6275	93.1793	136	148.504	145.01
119.4	105.134	107.663	138.2	135.954	119.15
133.9	136.474	119.150	121.6	122.845	109.261

145.4	153.894	141.255	112	122.873	107.663
29.1	32.1221	57.3692	121.7	112.378	115.144
90	85.2479	98.9606	75.9	82.6737	88.3667
124.3	113.230	109.261	131	123.107	105.807
204	169.634	148.924	105	90.8575	115.977
139.2	140.314	140.087	115	119.847	93.1793

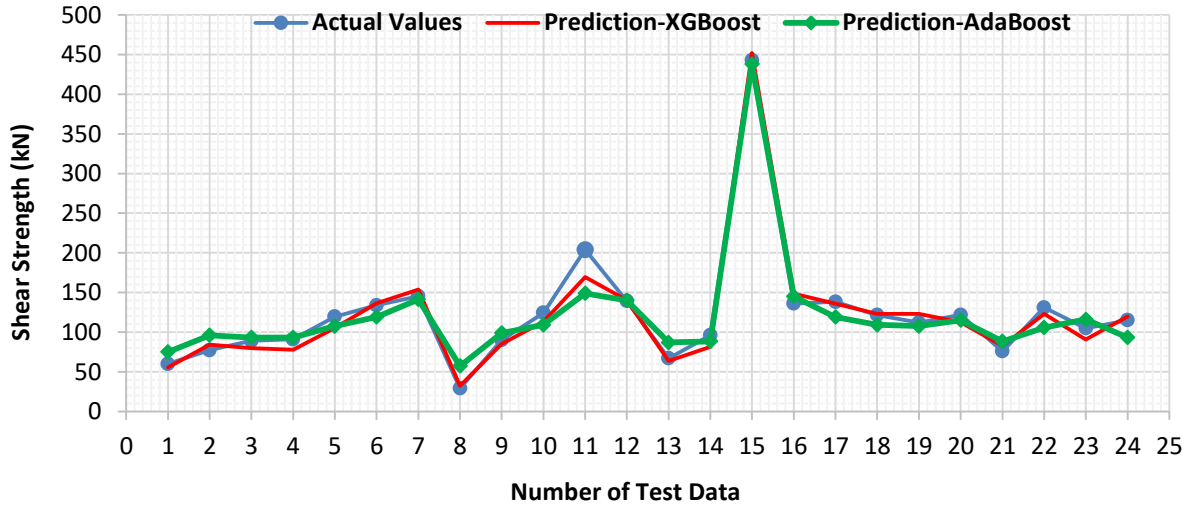


Figure 6. The predicted (ML) and actual shear strength values of beam for regression model

C. PERFORMANCE METRICS

In this study, prediction of shear strength for corroded RC beams has been evaluated with various statistical performance parameters using the proposed ML algorithms. R^2 value, Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) success and error metrics have been used depending on the correlation of predicted shear strength values and those obtained from experimental data for performance values. Metric formulae are given in Eqs.8-10.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{(y_i - y_i')^2} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_i'|}{n} \quad (10)$$

In these equations; y is the actual experimental value, y_i' is the predicted value, \bar{y}_i is the actual mean value and n is the number of dataset. The best for success is values where R^2 is close to one, MAE and RMSE is close to zero.

The performance success of the models trained in this study; measured by the metrics “ $r2_score (R^2)$ ”, “ $mean_absolute_error (MAE)$ ”, “ $root_mean_square_error (RMSE)$ ” metrics. The performance success of the ML models is shown in Table 3 and Figure 7. The real data, which is the Numpy array for measurement, and the prediction data obtained from the model in which the predict () function works were compared and the success metrics of the model were tested with the success of the model. For RC beam shear strength, the convergence between the actual value as a result of the experimental

study and the estimated values obtained from the algorithms is best seen in the XGBoost model. A high R^2 accuracy rate of 97.81% was obtained from the XGBoost algorithm. Among the error metrics, 8.74 MAE values and 11.08 RMSE values converged to zero and a high estimation success was achieved. The AdaBoost algorithm, which is an alternative machine learning method for this important problem in the field of structural engineering, also gave very good results.

Table 3. Corroded shear strength results of ML regression algorithm

ML Algorithm	R^2 score (%)	MAE	RMSE
XGBoost	97.8180	8.7456	11.0805
AdaBoost	94.3453	13.8876	17.8377

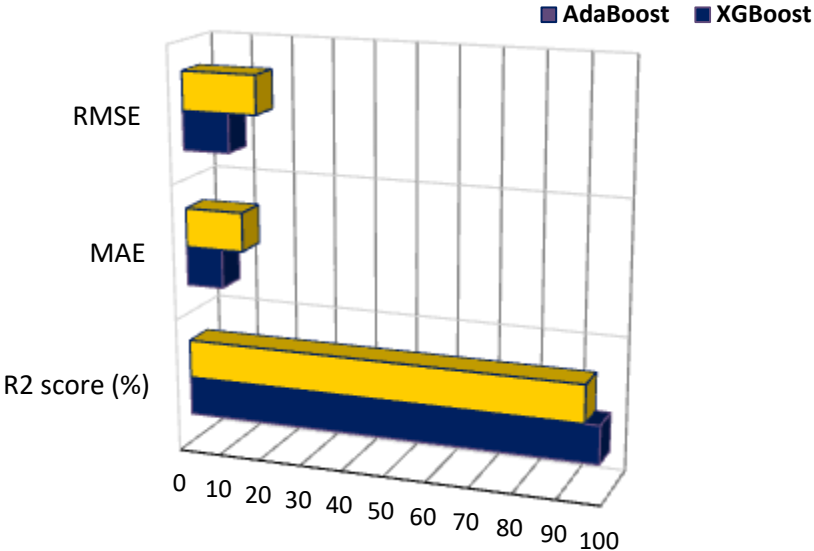


Figure 7. Performance of ML Models

IV. CONCLUSION and DISCUSSION

In this study, an artificial intelligence-based machine learning algorithm has been developed that can predict the changes in shear strength due to the effect of damage such as corrosion on beam elements in RC structures. It was found that the developed algorithms can be used with high accuracy, especially in cases where experimental work is costly and difficult, but the effect of corrosion on the shear strength of the beam needs to be known.

A data pool of 157 RC beam experiments was used to develop the algorithm. The XGBoost and AdaBoost machine learning algorithms developed in recent years were used to determine the shear strength of corroded beams and their performance was tested. This is the first time in the literature that the XGBoost and AdaBoost algorithms have been applied to this type of structural problem.

The results of the study show that: A fast and simple application infrastructure has been developed to be used in the determination of shear strength in RC beams after corrosion with the proposed machine learning models. The XGBoost and AdaBoost machine learning algorithms have undergone a good training process and have provided sufficient learning to achieve successful prediction results. The main promise of this system is that, if the beam manufacturing parameters and the corrosion level are known, it can help to determine the shear strength without the need for experimental study. According to the results obtained, the strength values obtained from the analysis performed with the XGBoost algorithm have a 97% estimation success when compared to the values found in the experimental

study. Similarly, the AdaBoost algorithm estimated the shear strength in corroded beams with 94% accuracy.

In the results obtained by Fu and Feng [28] from the literature study using the data set, it was observed that the Gradient Boosting Method, one of the boosting models, gave much more successful results. Also, the Gradient Boosting algorithm, one of the machine learning models used to estimate the bending capacity of corroded beams, gave very satisfactory results by Abushanab et al. [40]. Comparing the results of this study, it can be said that the boosting algorithms are quite successful in the strength determination problems of corroded members.

The most important contribution of the study with a high success rate to practice and literature is the success of the practical application. In corrosion testing, a special test setup should be established to bring the structure to the corrosion level it will reach over the years in a short period of time. In addition, it is very important to study the loss of strength value in the corroded structural element in corrosion research, but with this developed model it will be possible to get results in a short time to see the loss of shear strength.

It is very important to test the algorithms developed in the machine learning studies on a larger data set. For this reason, it will be possible to develop algorithms by collecting more data with corrosion-oriented experimental studies and to derive a mathematical model from data set.

V. REFERENCES

- [1] D. Li, R. Wei, F. Xing, L. Sui, Y. Zhou, W. Wang, "Influence of non-uniform corrosion of steel bars on the seismic behavior of reinforced concrete columns", *Construction and Building Materials*, 167, 20–32, 2018.
- [2] S. Y. Yang, X. B. Song, H. X. Jia, X. Chen, X. L. Liu, "Experimental research on hysteretic behaviors of corroded reinforced concrete columns with different maximum amounts of corrosion of rebar", *Construction and Building Materials*, 121, 319-32, 2016.
- [3] X.H. Wang, F.Y. Liang, "Performance of RC columns with partial length corrosion", *Nuclear Engineering and Design*, Volume 238, Issue 12, Pages 3194-3202, 2008.
- [4] K.A. Soudki, T.G. Sherwood, "Behaviour of reinforced concrete beams strengthened with carbon fibre reinforced polymer laminates subjected to corrosion damage", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2000, 27(5): 1005-1010, 2000.
- [5] H.A. Razak, F.C. Choi, "The effect of corrosion on the natural frequency and modal damping of reinforced concrete beams", *Engineering Structures*, 23 (2001) 1126–1133, 2001.
- [6] T. El Maaddawy, K. Soudki, T. Topper, "Analytical model to predict nonlinear flexural behaviour of corroded reinforced concrete beams", *ACI Structural Journal*, 102(4), 550–9, 2005.
- [7] Y.G. Du, L.A. Clark, A.H.C. Chan, "Impact of reinforcement corrosion on ductile behavior of reinforced concrete beams" *ACI Structural Journal*, 104(3), 285–93, 2007.
- [8] J. Rodriguez, L.M. Ortega, J. Casal, "Load carrying capacity of concrete structures with corroded reinforcement", *Construction and Building Materials*, Volume 11, Issue 4, Pages 239-248, 1997.

- [9] C. Higgins, W.C. Farrow, “Tests of Reinforced Concrete Beams with Corrosion Damaged Stirrups”, *ACI Structural Journal*, Vol. 103, Iss. 1, pp: 133-141, 2006.
- [10] Z. Ye, W. Zhang, X. Gu, “Deterioration of shear behavior of corroded reinforced concrete beams”, *Engineering Structures*, Volume 168, Pages 708-720, 2018.
- [11] O. Poupard, V. L’Hostis, S. Catinaud, I. Petre-Lazar, “Corrosion damage diagnosis of a reinforced concrete beam after 40 years natural exposure in marine environment”, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 504 – 520, 2006.
- [12] K. Worden, G. Manson, “The Application of Machine Learning to Structural Health Monitoring. Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical”, *Physical and Engineering Sciences*, 2007, 365(1851), 515-537.
- [13] G. Gui, H. Pan, Z. Lin, Y. Li, Z. Yuan, “Data-Driven Support Vector Machine with Optimization Techniques for Structural Health Monitoring and Damage Detection”, *Ksce Journal of Civil Engineering*, 21(2), 523-534, 2017.
- [14] Y. Zhang, H. V. Burton, H. Sun, M. Shokrabadi, A” Machine Learning Framework for Assessing Post-Earthquake Structural Safety”, *Structural Safety*, (2018), 72, 1-16.
- [15] S. Mangalathu, S. H. Hwang, E. Choi, J. S. Jeon, “Rapid Seismic Damage Evaluation of Bridge Portfolios Using Machine Learning Techniques”, *Engineering Structures*, (2019), 201, 109785.
- [16] J.S. Jeon, A. Shafieezadeh, R. DesRoches, “Statistical models for shear strength of RC beam column joints using machine-learning techniques”, *Earthq Eng Struct Dyn* 2014;43:2075–95.
- [17] A. Santos, E. Figueiredo, M. F. M. Silva, C. S. Sales, J. C. W. A. Costa, “Machine Learning Algorithms for Damage Detection: Kernel-Based Approaches”, *Journal of Sound and Vibration*, (2016), 363, 584-599.
- [18] M. H. Rafiei, H., Adeli, “A Novel Machine Learning-Based Algorithm to Detect Damage in High-Rise Building Structures”, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 26(18), (2017), E1400.
- [19] A. C. Neves, I. González, J. Leander, R. Karoumi, “A New Approach to Damage Detection in Bridges Using Machine Learning”, *In International Conference on Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures* (Pp. 73-84), 2017, Springer, Cham.
- [20] S. Mangalathu, S. H. Hwang, E. Choi, J. S. Jeon, “Rapid Seismic Damage Evaluation of Bridge Portfolios Using Machine Learning Techniques”, *Engineering Structures*, (2019), 201, 109785.
- [21] Y. Okazaki, S. Okazaki, S. Asamoto, P. J. Chun, “Applicability of Machine Learning to A Crack Model in Concrete Bridges”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, (2020), 35(8), 775-792.
- [22] Y. Cao, K. Wakil, R. Alyousef, K. Jermstiparsert, L. Si Ho, H. Alabduljabbar, et al. “Application of extreme learning machine in behavior of beam to column connections”, *Struct* 2020;25:861–7.
- [23] G. Dogan, M.H. Arslan, O.K. Baykan, “Determination of damage levels of RC columns with a smart system-oriented method”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2020, 18(7): p. 3223-

3245.

- [24] X. Gao, C. Lin, “Prediction model of the failure mode of beam-column joints using machine learning methods”, *Eng Fail Anal* 2021;120.
- [25] A. Geron, Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems: O’Reilly Media; 2019.
- [26] T. Chen, C. Guestrin, “XGBoost: A scalable tree boosting system”, In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining; 2016. p. 785–94.
- [27] H. Mo, H. Sun, J. Liu, S. Wei, “Developing window behavior models for residential buildings using XGBoost algorithm”, *Energy and Buildings*, Volume 205, 109564, 2019.
- [28] B. Fu, D.C. Feng, “A machine learning-based time-dependent shear strength model for corroded reinforced concrete beams”, *J Build Eng* 2021;36.
- [29] Z.H. Lu, H. Li, W. Li, Y.G. Zhao, W. Dong, “An empirical model for the shear strength of corroded reinforced concrete beam”, *Construct. Build. Mater.* 188, 1234–1248, 2018.
- [30] Y. Zhao, L. Petherbridge, L.P. Smith, et al., “Self-excision of the BAC sequences from the recombinant Marek's disease virus genome increases replication and pathogenicity”, *Virol J* 5, 19, 2008, <https://doi.org/10.1186/1743-422X-5-19>
- [31] S. Xu, D. Niu, “Shear behavior of corroded simply supported reinforced concrete beam”, *Jianzhu Jiegou Xuebao/Journal of Building Structures*, Volume 25, Issue 5, Pages 98, 2004.
- [32] X. Li, Y. Huiguang, "Degradation mechanism and predicting models of shearing capacity for corroded reinforced concrete beams." *Journal of Xuzhou Institute of Technology*, 25.4 (2010): 58-63, 2010.
- [33] X. Jin, W.L., Jin, L.Y. Li, “Shear performance of reinforced concrete beams with corroded stirrups in chloride environment”, *Corrosion Science*, Volume 53, Issue 5, Pages 1794-1805, 2011,
- [34] C.A. Juarez, B. Guevara, G. Fajardo, P., Castro-Borges, Ultimate and nominal shear strength in reinforced concrete beams deteriorated by corrosion, *Engineering Structures*, Volume 33, Issue 12, Pages 3189-3196, 2011.
- [35] X. Xue, H. Seki, Z. W. Chen, "Shear capacity of RC beams containing corroded longitudinal bars." *Proceedings of the Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13)*, 2013.
- [36] S. Liu, The research on shear capacity of corroded rc beams, *PhD Thesis*, Master’s thesis, Central South University, China, 2013.
- [37] A. Imam, A.K. Azad, “Prediction of residual shear strength of corroded reinforced concrete beams”, *Int J Adv Struct Eng* 8, 307–318, (2016), <https://doi.org/10.1007/s40091-016-0133-x>
- [38] A. El-Sayed, R.R. Hussain, A. Shuraim, “Influence of stirrup corrosion on shear strength of reinforced concrete slender beams”, *ACI Structural Journal*, Volume 113, Issue 6, Pages 1223 – 1232, 2016.

- [39] G. Van Rossum, F.L. Drake Jr, Python tutorial. Vol. 620., Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam, The Netherlands, 1995.
- [40] A. Abushanab, T.G.Wakjira, W. Alnahha, 2023, Machine Learning-Based Flexural Capacity Prediction of Corroded RC Beams with an Efficient and User-Friendly Tool, *Sustainability* , 15(6), 4824; <https://doi.org/10.3390/su15064824>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

The Seismic Behavior of Buildings with Flat Slab Systems under Near-Fault Ground Motions

Hasan SESLİ^{a,*}, Yusuf SÖNMEZOĞLU^b, Mehmet Emin ARSLAN^c

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^c İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hasan.sesli@yalova.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1214030

ABSTRACT

It is well known that structural displacement or ductility demands of structures subjected to near-fault ground motions are generally greater than ordinary ground motions. Therefore, the effect of earthquake records in the near region on the seismic behavior of structures has been widely studied in the last decades. Peak ground acceleration (PGA) is an important key parameter, which determines structural behavior. However, structural behavior depends on the distance of the structure to the fault zone, the ratio of peak ground velocity (PGV) to peak ground acceleration, the velocity pulse duration of ground motion, and the natural period of the structure. In this study, the seismic behavior of buildings with flat slab systems was investigated under near-fault ground motions. Linear time history analysis was performed for a 30-storey building designed according to TBEC-2018 using SAP 2000 finite element analysis software. Results were compared with the behavior of the building with a solid slab system. It is concluded that the ratio of PGV/PGA is very effective on the flat slab systems.

Keywords: Seismic behavior, Near-fault, Slab system

Düz Döşemeli Binaların Yakın Fay Yer Hareketleri Altındaki Sismik Davranışı

ÖZ

Yakın fay yer hareketlerine maruz yapıların yapısal yer değiştirme veya süneklik taleplerinin genellikle normal yer hareketlerine nazaran daha büyük olduğu iyi bilinmektedir. Bu nedenle, faya yakın bölgelerdeki deprem kayıtlarının yapıların sismik davranışı üzerindeki etkisi son yıllarda yaygın olarak araştırılmaktadır. En büyük yer hareketi ivmesi (PGA), yapısal davranışı belirleyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Bununla birlikte yapısal davranış, yapının fay bölgesine olan mesafesine, en yüksek yer hareketi hızının (PGV) en yüksek yer hareketi ivmesine oranına, yer hareketinin hız darbe süresine ve yapının doğal periyoduna bağlı olmaktadır. Bu çalışmada, düz döşemeli binaların yakın fay yer hareketleri altındaki sismik davranışları incelenmiştir. SAP 2000 sonlu elemanlar analiz paket programı kullanılarak TBDY-2018'e göre tasarlanan 30 katlı bir bina için doğrusal zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kirişli döşemeli binadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. PGV/PGA oranının düz döşemeli sistemler üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sismik davranış, Yakın fay, Döşeme sistemi

I. INTRODUCTION

Earthquakes are important natural hazards for buildings since most of the loss of life and property is a result of damage and collapse of structures. Possible losses can be greatly reduced if the knowledge about the effects of earthquakes on structures and constructing earthquake-resistant structures increases. The location of the structures to the fault greatly affects the structural behavior. It has been seen from recent studies that earthquakes close to the faults have significant differences compared to earthquakes occurring far from the fault. Ground motions close to the fault are affected by the direction of the fault and the permanent displacements that occur as a result of the earthquake, except for the fault rupture mechanism [1].

Near-fault ground motions cause much greater structural displacement or ductility demands than far-fault ground motions. Near-fault ground motions differ from ordinary ground motions in that they generally involve strong forward-directivity effects and permanent displacements (fling step effects). The forward-directivity effect has a presence of a long-period impact effect in the direction perpendicular to the fault, which can cause major and significant severe damage. They are generally effective if the shear wave velocity of the soil, which is mostly close to the earthquake source, is close to the rupture velocity of the fault [2]. Static displacements in ground motions close to the fault are caused by the relative motion of the two sides of the fault where the earthquake occurred. Static displacements occur at approximately the same time as large dynamic movements, indicating that static and dynamic displacements should be treated as overlapping loads [3].

After the recent Kobe (1995), Kocaeli (1999), and Düzce (1999) earthquakes, the effect of near-fault ground motions has been better understood. Near-fault ground motions have caused much greater damage to structures than far-fault ground motions due to the pulse and high velocity. For this reason, the determination of the dynamic behavior of structures under the influence of near-fault ground motions has also become an important research topic. Especially, Northridge (1994), Kobe (1995) and Chi-Chi (1999) earthquakes provided new information about the behavior of structures under the influence of near faults [4].

There are many studies in the literature on the static and dynamic behavior of engineering structures using near-fault and far-fault ground motion records. Hall et al. [5] examined the effect of near-fault ground motion in flexible buildings. In addition to the fact that whether base isolation is a good idea or not depends on the site, it has been revealed that the size of the design earthquake, the probability of the structure being in the near-fault zone, the performance level demanded from the structure, the type of isolation system and economic conditions should be evaluated. Malhotra et al. [6] investigated the behavior of tall buildings subjected to ground motions close to the fault. It was seen that ground motions, where the ratio of the peak ground velocity (PGV) value to the peak ground acceleration (PGA) value is high, increase the base shear force, the amount of displacement, and the relative storey drifts. Liao et al. [7] compared the dynamic behavior of five-storey and twelve-storey buildings under the influence of far and near-fault ground motions. As a result of the study, it was seen that the ground motions close to the fault cause much more damage to the structures than the ground motions far from the fault. Ghobarah [8] designed three, six, twelve, and twenty-story buildings that were subjected to a series of near-fault ground motions to examine the response of structures to near-fault effects. As a result of the study, it was observed that the response of the structures to the near-fault ground motions was significantly different from the reaction to the far-fault ground motions. Alavi and Krawinkler [9] evaluated moment-resisting frame systems for ground motion effects close to the fault. Strengthening with hinged shear walls has been found to be very effective in reducing drift demands for structures with a wide range of periods and various performance levels. Providakis [10] evaluated the seismic behavior of various LRB (lead-rubber bearing) base-isolated steel-concrete composite buildings under near-fault ground motion using thrust analysis. The results were compared with the seismic responses of different composite buildings. It has been determined that the use of isolators under the near-fault effect increases the displacements in the first floors, even if it reduces the base shear force. In the study presented by Mazza and Vulcano [11], near-fault ground motions were applied to three

buildings with three, six, and twelve-storey symmetrical plans on rock and soft soil. It has been observed that the structural damage potential varies according to the ratio between the pulse period of the motion and the vibration period of the structure. In addition, it was emphasized that special attention should be paid to the design of the columns and beams on the lower floors in buildings on soft soil. Ventura et al. [12] conducted several nonlinear analyses on a 44-storey reinforced concrete building to understand the effect of displacements on the nonlinear response of tall buildings. As a result of the study, it was observed that the near-fault ground motions with fling-step cause more displacement and relative story displacement than ground motions without fling-step. Güneş and Ulucan [13] found that the ratio of the pulse duration to the first mode period (T_p/T_1) has a large effect on the structural behavior of the building in their study on a 40-storey building to determine the effects of small, medium and large pulse period near-fault ground motions on tall buildings. Daei and Poursha [14] studied the applicability of pushover analyses for mid-high-rise buildings under near-fault ground motions. While the maximum interstory demands caused by ground motions with pulse effect are mostly concentrated on the lower and middle floors, it has been understood that the ground motion records without pulse effect cause the maximum response to occur in the upper part of the building. Mahmoud et al. [15] investigated the seismic performance of 12-storey reinforced concrete buildings with different slab systems (solid slab, hollow block slab, and flat slab) under near-fault ground motions. As a result of the study, it was seen that the building designed with a solid slab system caused the least relative floor displacements. In addition, it has been observed that ground movements with fling-step effect cause more displacement than ground motions with forward-directivity effect. In addition, it has been observed that ground motions with fling-step effect cause more displacement than ground motions with forward-directivity effect.

In this study, the effects of near-fault ground motion characteristics on buildings with solid slabs and flat slabs designed according to TBEC-2018 [16] were investigated. For this reason, a 30-storey building with a solid slab and a flat slab system was designed according to TBEC-2018. The dynamic behavior of these buildings with different structural systems has been investigated under near-fault with pulse and non-pulse near-fault earthquake ground motions. The results were compared with the results obtained under the effect of far-fault ground motion. Top floor displacements and interstory drift ratios were examined under pulse and non-pulse near-fault and far-fault motion records. The effects of PGV/PGA, pulse duration, and PGA values of ground motion of the near-fault on buildings with solid and flat slabs were investigated.

II. NEAR-FAULT GROUND MOTIONS

The effects of earthquakes on the structures vary depending on many factors. These factors include the magnitude of the earthquake, the characteristics of the ground motions (amplitude, duration, frequency content etc.), and the distance to the fault etc. Especially, the ground motions recorded in the near region of the fault are very effective on the structural behavior compared to those far away from the fault [17].

Near-fault ground motion records are known as ground motion recorded within 20 kilometers of the fault [4], [15], [18]-[20]. While the velocity pulse duration must be larger than 1.00 seconds, the ratio of the PGV to the PGA must be larger than 0.10 seconds [21]. Ground motions close to the fault cause greater displacement and ductility demands on the structure, which has high-velocity pulse content. Ground motions close to the fault cause greater displacement and ductility demands on the structure and they have large velocity pulse and pulse duration [2].

The motions recorded close to the fault show very different characteristics than those recorded far from the fault. In near-fault ground motions, two main motion characteristics called directivity effect and fling-step effect are observed. Directivity effects, which are principally normal to the fault, are very important for the duration and long-period energy content of ground motions. The fling-step effect causes permanent displacement along a ruptured fault. They include a large, unidirectional

velocity pulse to compensate for this displacement in the slip plane [22]. The directivity effect includes large velocity pulses. Although these pulse effects can also be observed in the acceleration-time and displacement-time records, it is important whether there are pulse effects in the velocity-time records regarding the damages on the structures. The pulses, which are a measure of the directivity effect, show themselves with the amplitude of the vibrations in the velocity-time record [17]. The directivity and fling-step effects take place in the direction perpendicular to each other. The fling-step effect appears as permanent displacements in displacement-time records. It can also be seen as a unidirectional velocity wave in velocity-time graphs.

For structures, the main response parameters are the peaks of displacement (PGD), velocity (PGV), and acceleration (PGA). The structural response is significantly impacted by long-period pulses and the ratio of peak ground velocity to peak ground acceleration (PGV/PGA) of ground excitation near rupture [6]. Structural displacements and drift demand increase depending on pulse amplitude and duration. The velocity-sensitive spectral region for ground motion recorded near rupture is substantially narrower, but the acceleration-sensitive and displacement-sensitive sections are much wider. Therefore, greater strength is demanded for the same ductility factor in the design.

The ratio of the pulse duration (T_p) to the first mode vibration period of the structure (T_1) is a crucial number for the structural response [13], [23]-[24]. If the pulse duration (T_p) is smaller than the first mode vibration period of the structure (T_1), large mode effects and maximum reaction at upper stories may be obtained. The short-period structures under the records with a large pulse have a maximum ductility demand in bottom stories.

In the present study, a 30-storey building, which was designed according to TBEC-2018, with a solid slab and a flat slab system was subjected to near-fault ground motions having different pulse durations, PGA, and PGV/PGA. In order to evaluate the results, ordinary near-fault ground motion and far-fault ground motion records were used. The period of the pulse (extracted pulse, T_p) was identified as the time needed to complete a full velocity cycle and was obtained in the velocity time history of the selected ground motions. Besides, every record set given in Table 1 contained two types of near-fault and one type of far-field earthquake motion. Acceleration versus time and velocity versus time graphs were given in Figure 1-Figure 5.

Table 1. Dynamic characteristics of selected ground motions [25]

RSN	Motion		Station	R_{rup}	PGA	PGV	$\frac{PGV}{PGA}$	T_p
	Type	Event Name						
184	PLS1	Imp.Valley, U.S.A (1979)	El Centro Differential Array	5.09	345.19	75.56	0.218	3.98
185	PLS2	Imp.Valley, U.S.A (1979)	Holtville Post Office	7.5	253.01	53.13	0.21	3.98
171	PLS3	Imp.Valley, U.S.A (1979)	El Centro-Meloland	0.07	291.25	92.61	0.317	3.08
723	PLS4	Superstition Hills, U.S.A (1987)	Parachute Test Site	0.95	422.66	134.36	0.317	2.40
1084	PLS5	Northridge, U.S.A (1994)	Sylmar-Converter	5.35	610.95	116.22	0.19	2.92
1120	PLS6	Kobe, Japan (1995)	Takatori	1.47	658.02	122.99	0.19	1.26
6	NF1	Imp.Valley, U.S.A (1979)	El Centro #9	6.09	274.58	30.94	0.11	-
162	NF2	Imp.Valley, U.S.A (1979)	Calexico Fire Station	10.45	274.58	22.45	0.08	-
87	FF1	San Fernando, U.S.A (1971)	Santa Anita Dam	30.7	152.00	4.71	0.03	-

3759	FF2	Landers, U.S.A (1992)	Whitewater Trout Farm	27.05	119.64	9.77	0.08	-
<i>PLS* pulse type motion, NF* Near-fault ground motions (ordinary), FF* Far-fault ground motions (ordinary)</i>								

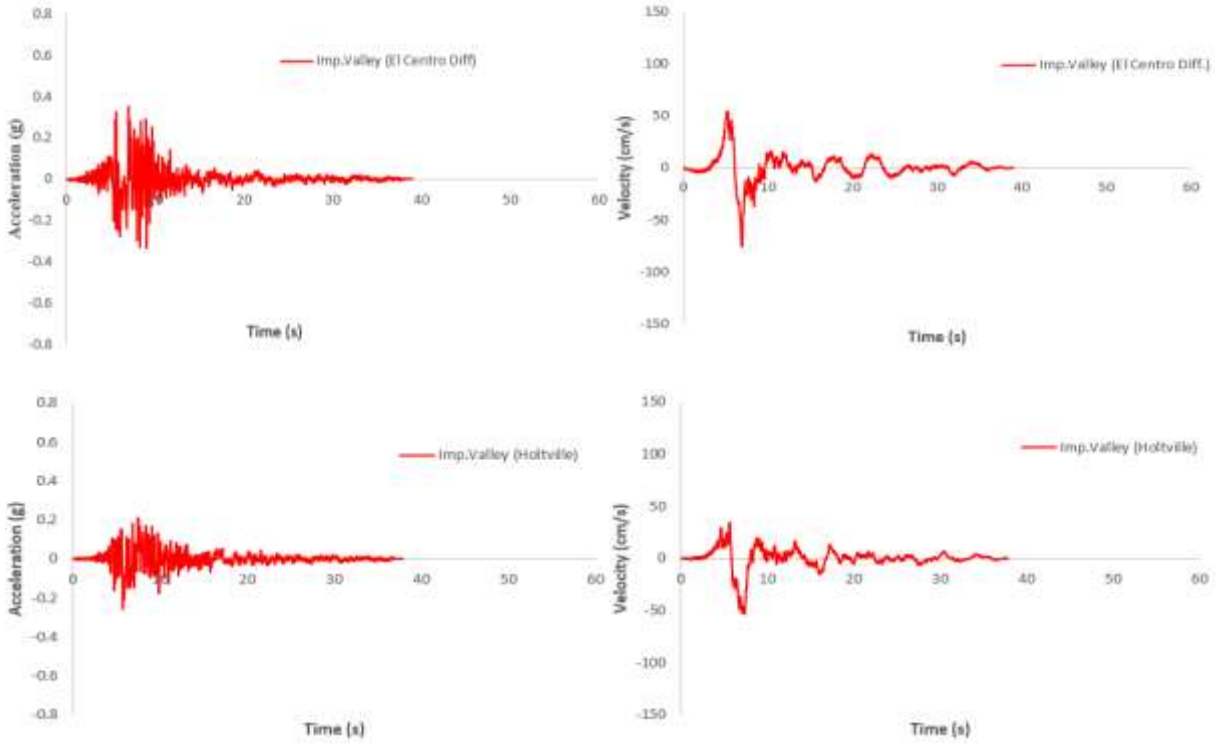


Figure 1. Acceleration-time and velocity-time histories for near-fault motions with large pulse

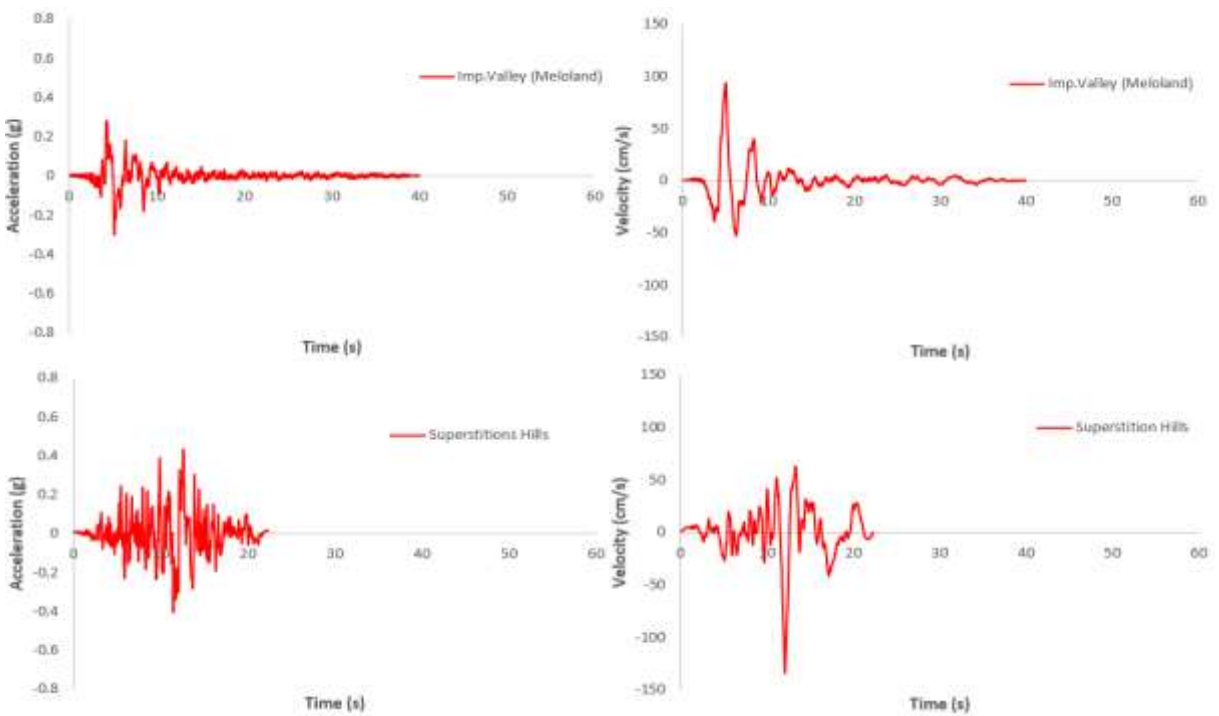


Figure 2. Acceleration-time and velocity-time histories for near-fault motions with medium pulse and large PGV/PGA

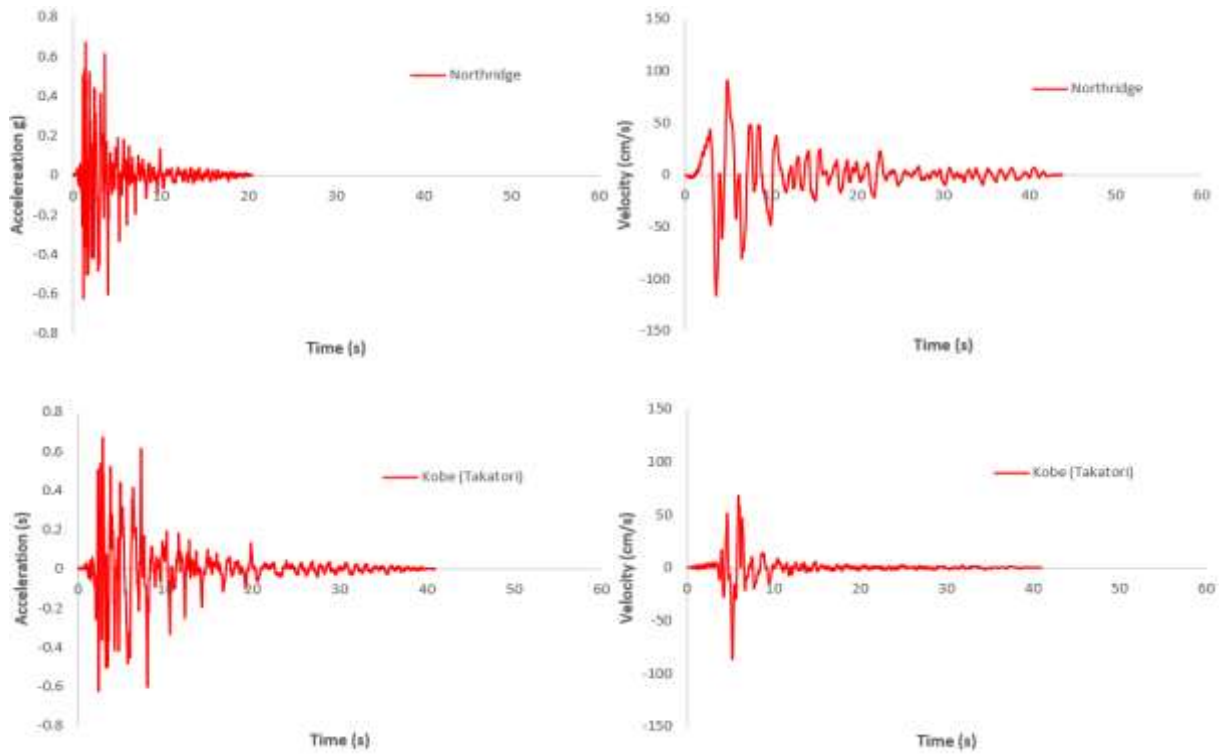


Figure 3. Acceleration-time and velocity-time histories for near-fault motions with low pulse and large PGA

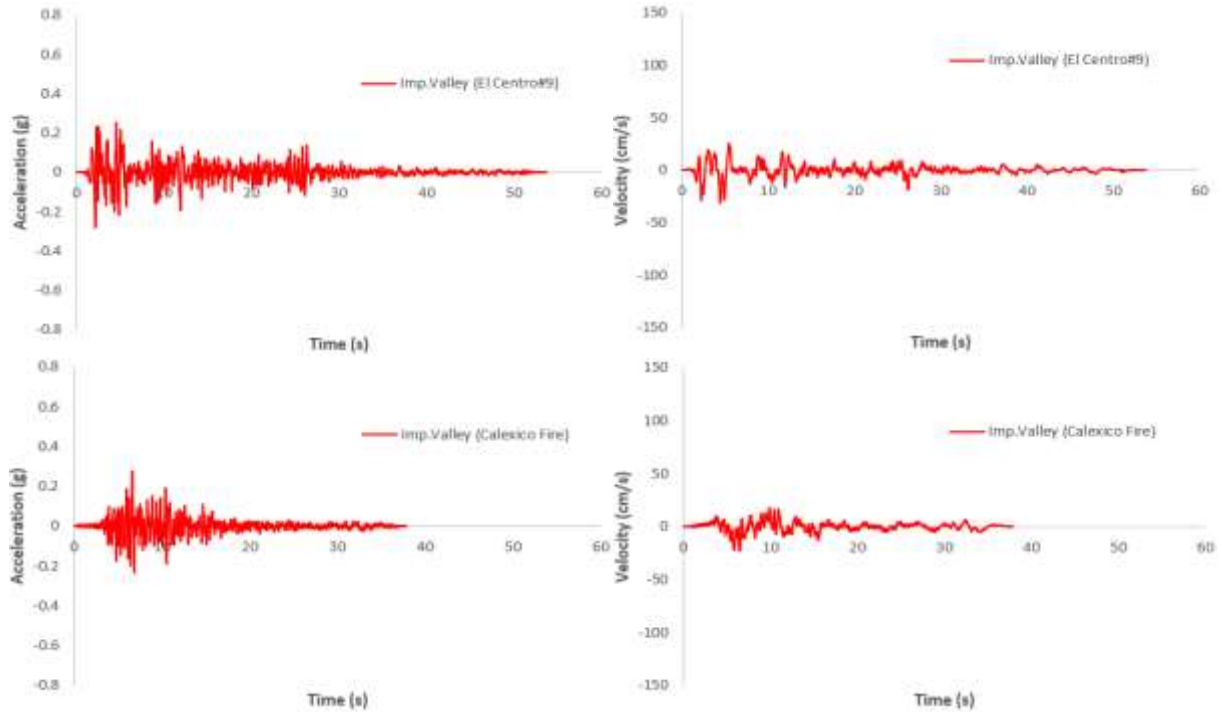


Figure 4. Acceleration-time and velocity-time histories for ordinary near-fault motions

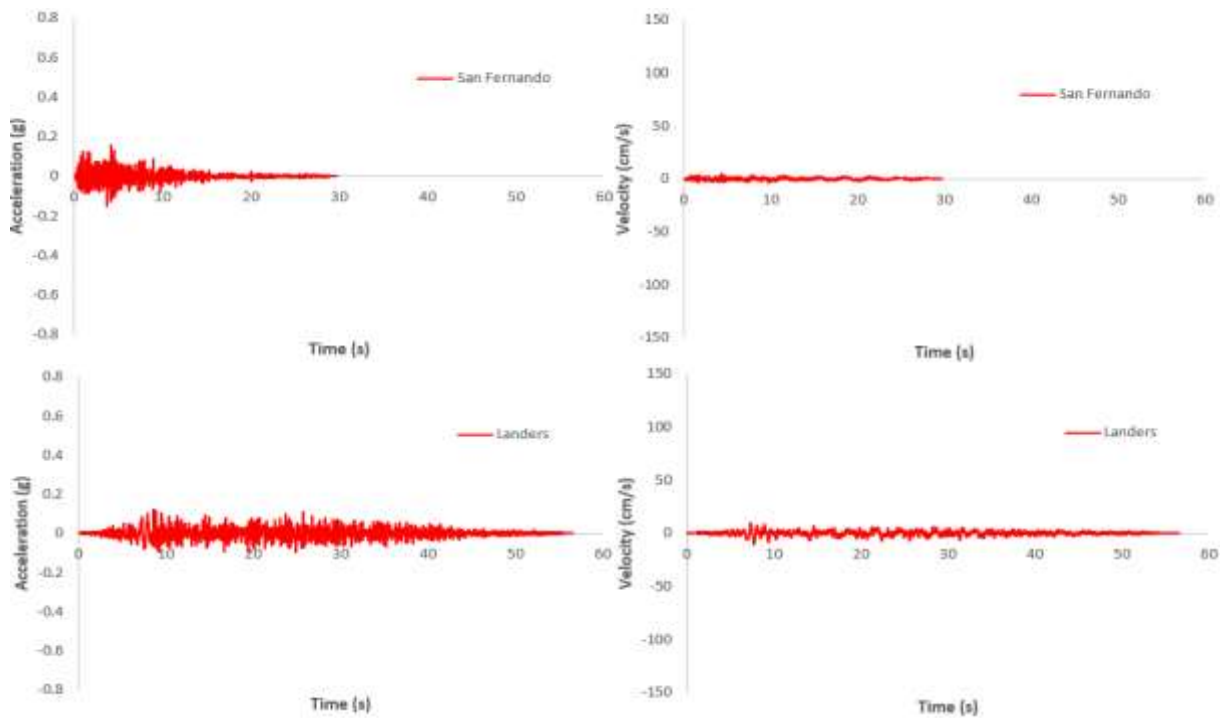


Figure 5. Acceleration-time and velocity-time histories for ordinary far-fault motions

III. STRUCTURAL SYSTEMS AND MODELING

In the presented study, it was aimed that the dynamic behaviors of the buildings with solid slabs and flat slabs were investigated under the near-fault ground motion. For this reason, a 30-storey building with a solid slab and a flat slab system was designed according to TBEC-2018. The buildings were designed with a 1-6 axis in the x-direction and an A-F axis in the y-direction. The axis distances are 6 meters in both directions of the buildings. Plan views of the buildings are given in Figure 6. The 3-D finite element models of the buildings are given in Figure 7. Shear wall-frame systems were chosen as the lateral force-resisting systems for the buildings. Since the study considered the effects of slabs on structural behavior, solid slab and flat slab systems were used in the structural systems. The placing of the columns and shear walls is given in Figure 8. Both buildings have the same plan for the placing of columns and shear walls. In both buildings, the columns are sized starting from 1000 mm x 1000 mm and decreased by 50 mm for every five-floor level. The dimensions of the shear walls used in the buildings are 400 mm x 2400 mm, 400 mm x 3000 mm, 400 mm x 4000 mm, 400 mm x 4500 mm, and 400 mm x 7500 mm. In the building with a solid slab, the beams have a dimension of 400 mm x 70 mm and the floor thickness is 160 mm. In the building with a flat slab, the slab thickness was chosen as 300 mm. Story height of both structures was chosen as 3000 mm. The compressive strength, unit weight, and elasticity modulus of concrete were chosen as 50 MPa, 25 kN/m³, and 37000 MPa, respectively. According to TS 498 [26], the live loads were chosen as 3.20 kN/m² and 2 kN/m² for the roof and typical floor, respectively. The load of mortar of 20 mm and covering of 20 mm were considered as 2 kN/m² in the structural design. The load of infill walls in the frames was determined as 6.50 kN/m². Dynamic analyses were performed with SAP 2000 finite element analysis software [27].

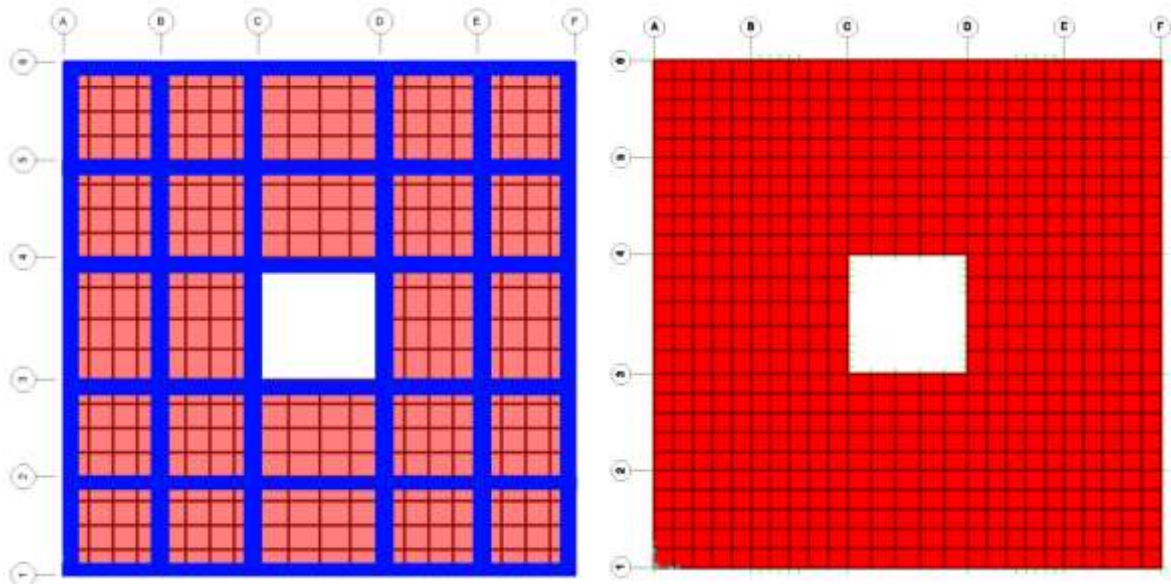


Figure 6. Plan views of solid slab and flat slab

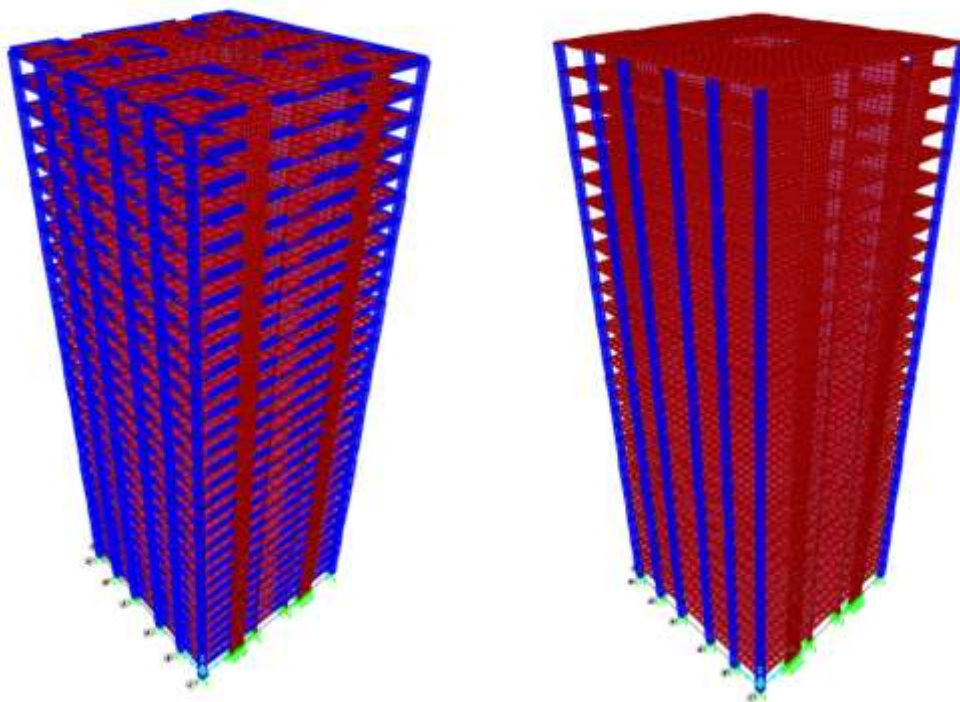


Figure 7. The 3-D finite element models of the buildings

Firstly, modal analyses were performed for building models. The first three mode shapes of the building are given in Figure 9 and Figure 10. The first two modes are translational modes in the plan directions of the building, but the third mode is the torsional mode for the building.

The modal analyses were performed for 90 modes to ensure the efficiency of modal masses. For the determination of the dynamic behavior of buildings, the first three modes and the corresponding fundamental periods were used. The natural periods were presented for building models versus the mode numbers in Figure 11. The periods of the first three vibration modes were given in Table 2.

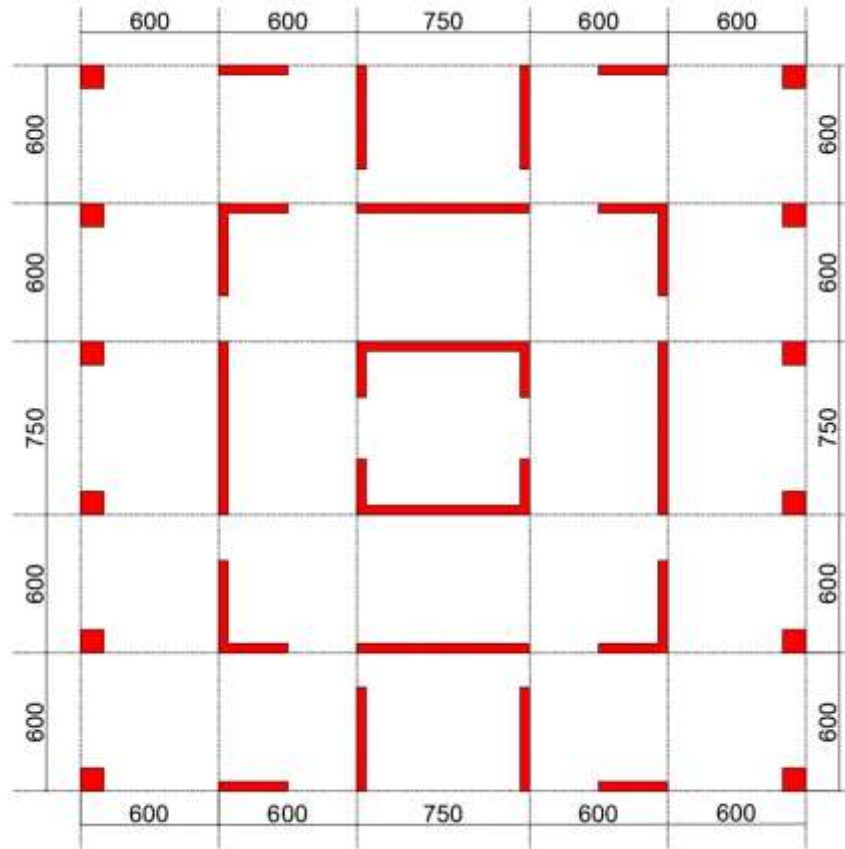


Figure 8. The placing of the columns and shear walls in the plan

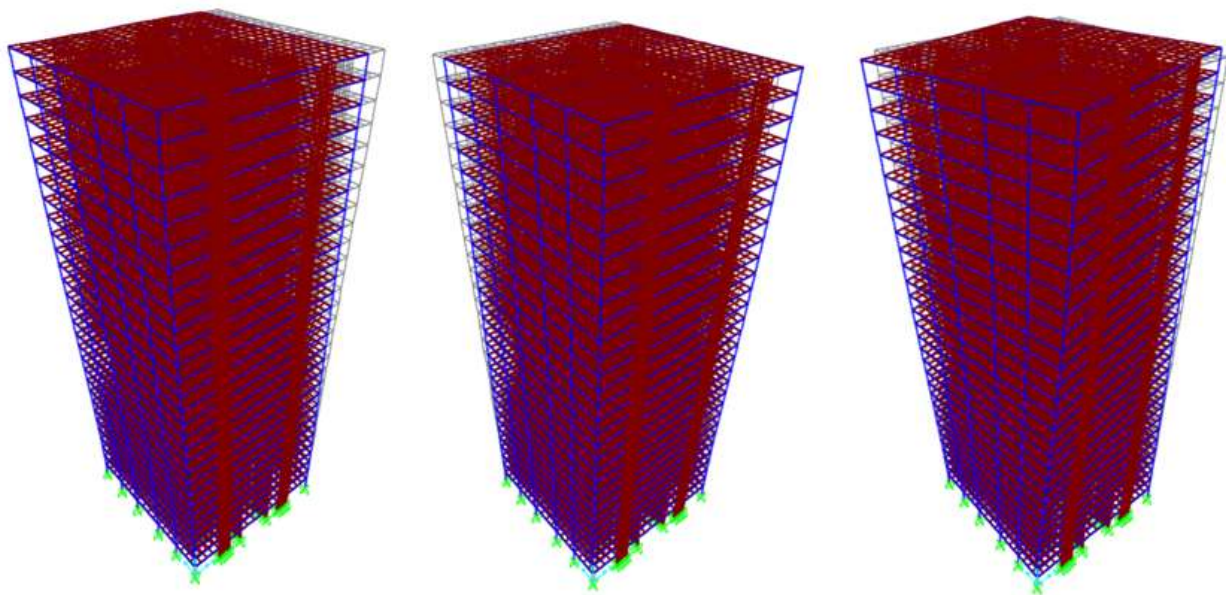


Figure 9. Mode shapes of the building with solid slab

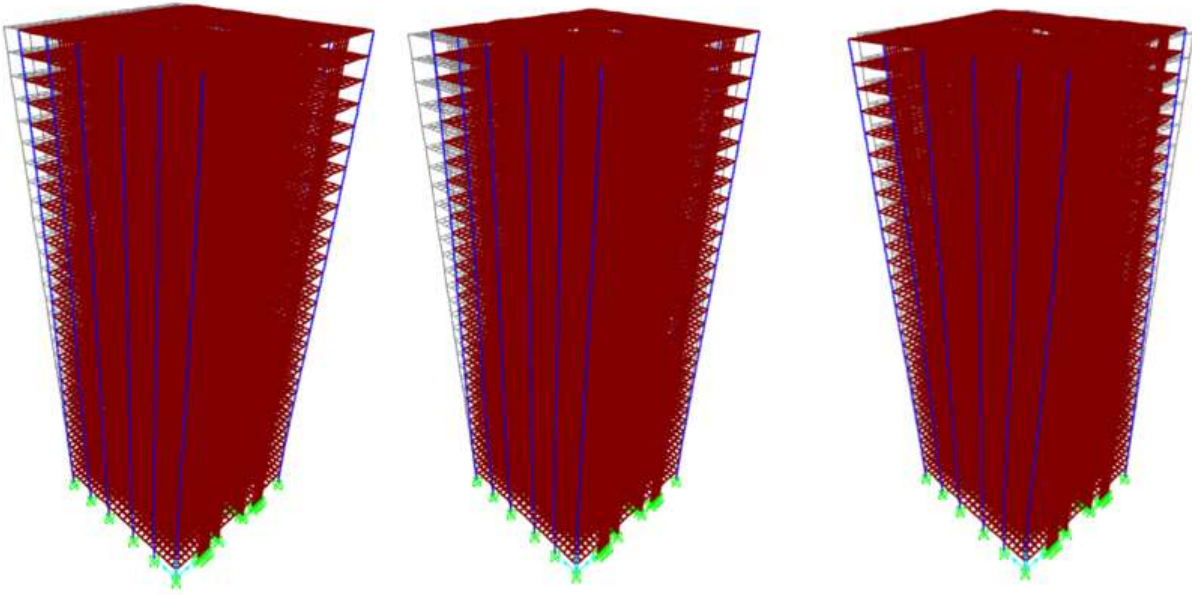


Figure 10. Mode shapes of the building with flat slab

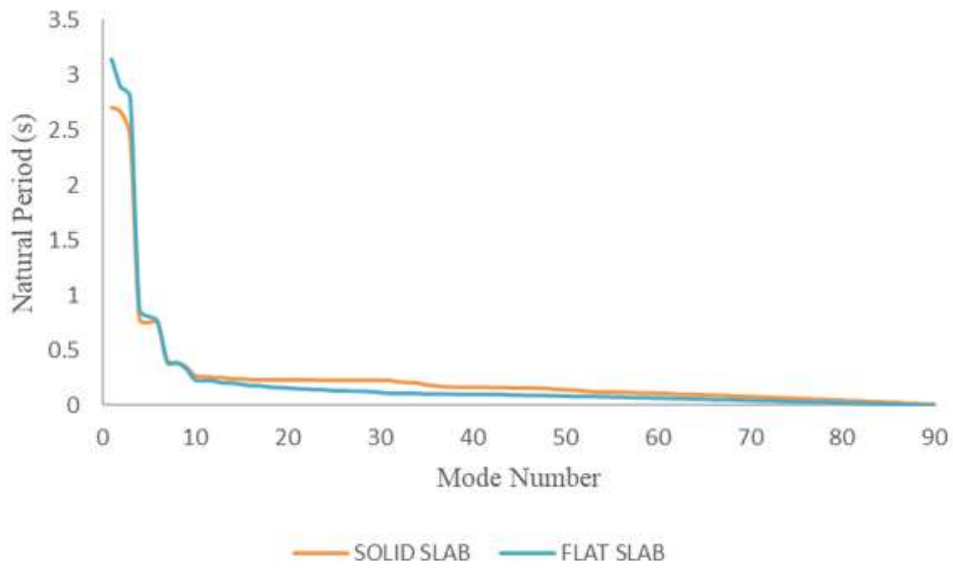


Figure 11. The natural periods versus the mode numbers

Table 2. The periods versus mode shapes of the models

<i>Models</i>	<i>Natural Period (s)</i>		
	<i>1st Mode</i>	<i>2nd Mode</i>	<i>3rd Mode</i>
Solid slab	2.70	2.66	2.43
Flat slab	3.13	2.88	2.79

III. RESULTS AND DISCUSSION

Many of the buildings are designed with different floor systems depending on the requirements at the architectural design stage. In practice, especially solid and flat slabs are frequently used as a floor system. It is known that the choice of floor system has a direct effect on the stiffness and natural period of the structure. It is known that near-fault motion records of an earthquake, which have high-velocity pulse intensity, have influenced the seismic behavior of structures. In this study, the effects of near-fault ground motion characteristics, which are pulse duration, PGA value, and PGV/PGA ratio, on buildings with solid slabs and flat slabs were investigated. For this reason, two 30-storey buildings with a solid slab and a flat slab system were designed according to TBEC-2018. The dynamic behavior of these buildings with different structural systems has been investigated under near-fault with pulse and non-pulse near-fault earthquake ground motions. The results were compared with the results obtained under the effect of far-fault ground motion. For this manner, 5 different sets of near-fault earthquake motion were used in the analysis. Analysis results were summarized in Table 3 and Table 4.

Table 3. Minimum and maximum displacement results of the models for all ground motions

<i>Motion</i>	<i>Displacement (mm)</i>			
	<i>Solid Slab System</i>		<i>Flat Slab System</i>	
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Imp. Valley (El Centro)</i>	-621.70	565.86	-673.35	598.55
<i>Imp. Valley (Holtville)</i>	-514.97	416.30	-556.35	486.70
<i>Imp. Valley (Meloland)</i>	-1187.31	1255.45	-1261.06	1340.13
<i>Superstition (Parachute)</i>	-1223.74	989.06	-1235.19	970.86
<i>Northridge (Syl.-Conv.)</i>	-1787.16	1734.54	-1855.52	1762.61
<i>Kobe (Takatori)</i>	-1134.90	1173.68	-1165.06	1119.82
<i>Imp. Valley (El Centro #9)</i>	-339.60	301.47	-369.52	331.51
<i>Imp. Valley (Fire)</i>	-151.04	158.12	-163.88	165.19
<i>San Fernando (Santa)</i>	-28.47	28.29	-31.96	31.25
<i>Landers (Whitewater)</i>	-79.72	81.88	-78.25	89.13

The first one of the earthquake motion sets was motions with a large pulse duration. In this set, El-Centro and Holtville-Post station records of the 1979 Imperial Valley Earthquake were used. Although the pulse durations of both earthquakes were the same, PGA values were approximately 345.19 cm/s^2 and 253.01 cm/s^2 for El-Centro and Holtville-Post station records, respectively.

In Figure 12 and Figure 13, floor displacements and interstory drift ratios obtained under El-Centro and Holtville-Post station records of building with solid slabs were given depending on the floor level. The largest displacement value on the top floor was 621.70 mm for the El-Centro station record. The largest displacement was obtained as 514.97 mm for the Holtville-Post station record. Under the El-Centro station record motion, the maximum interstory drift ratio was obtained as approximately 2.33% at 11th floor level. The maximum interstory drift ratio was 1.76% for the Holtville-Post station record at 16th level.

Table 4. Minimum and maximum interstory drift ratios of the models for all ground motions

<i>Motion</i>	<i>Interstory Drift Ratio (%)</i>			
	<i>Solid Slab System</i>		<i>Flat Slab System</i>	
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Imp. Valley (El Centro)</i>	-2.33	2.03	-2.26	2.20
<i>Imp. Valley (Holtville)</i>	-1.76	1.52	-1.91	1.70
<i>Imp. Valley (Meloland)</i>	-4.02	4.23	-4.20	4.56
<i>Superstition (Parachute)</i>	-4.05	3.29	-4.11	3.20
<i>Northridge (Syl.-Conv.)</i>	-6.34	5.63	-6.28	5.84
<i>Kobe (Takatori)</i>	-3.82	3.88	-3.94	3.77
<i>Imp. Valley (El Centro #9)</i>	-1.15	1.03	-1.25	1.14
<i>Imp. Valley (Fire)</i>	-0.46	0.53	-0.58	0.58
<i>San Fernando (Santa)</i>	-0.10	0.09	-0.10	0.10
<i>Landers (Whitewater)</i>	-0.28	0.30	-0.24	0.31

Floor displacements and interstory drift ratio, which were obtained under El-Centro and Holtville-Post station records for building with flat slabs, were given in Figure 14 and Figure 15. The top floor displacements were 673.35 mm and 556.35 mm for the El-Centro station record and Holtville-Post station record. While the interstory drift ratio was obtained as approximately 2.26% at 12th floor level for the El-Centro station record motion, it was obtained as 1.9% at 18th for the Holtville-Post station record. Although the difference between the PGA values of El-Centro station and Holtville-Post station records was 36%, the difference between floor displacements was approximately as 21% and 21% for both slab systems, respectively. On the other hand, differences between interstory drift ratios were obtained as approximately 33% and 18% for two slab systems.

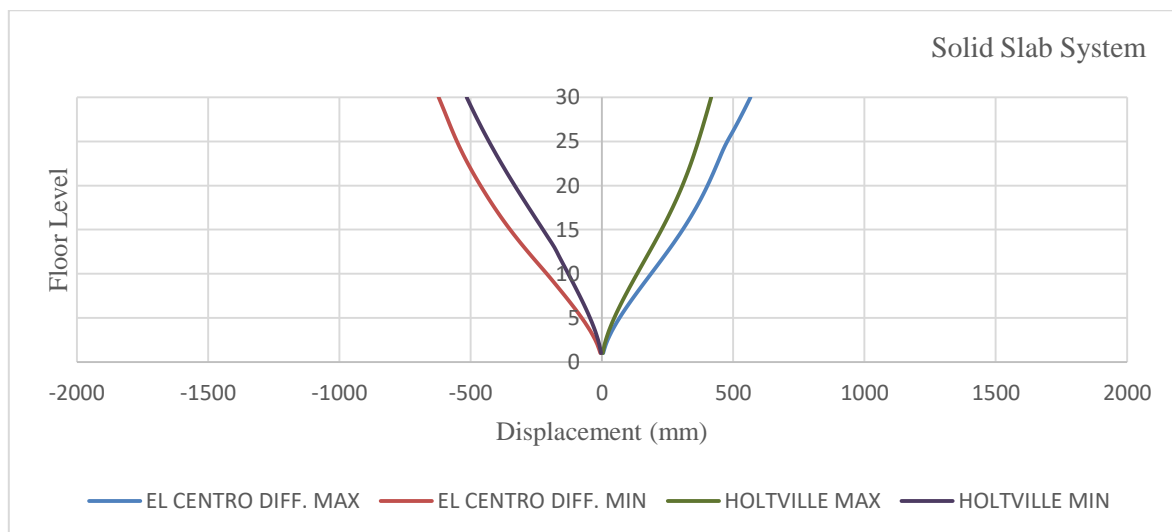


Figure 12. The floor displacements versus floor level for solid slab under large pulse effect

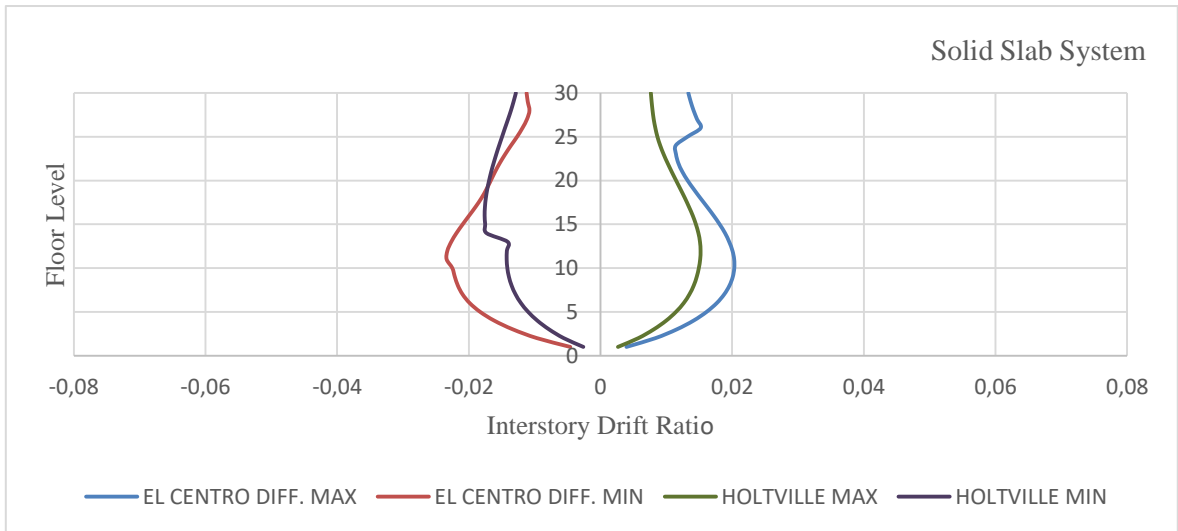


Figure 13. The interstory drift ratio versus floor level for solid slab under large pulse effect

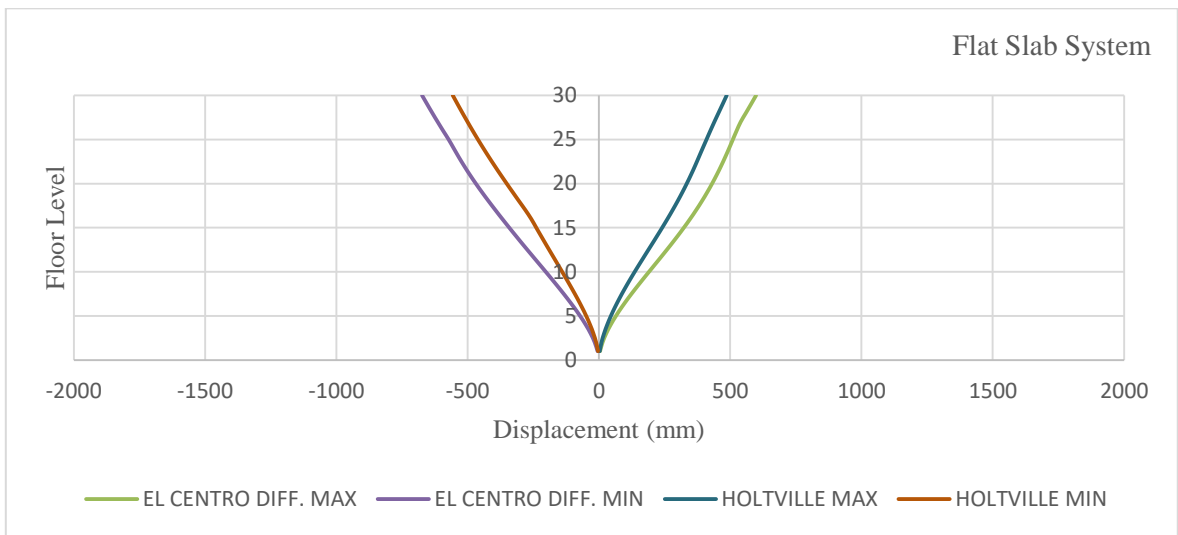


Figure 14. The floor displacements versus floor level for flat slab under large pulse effect

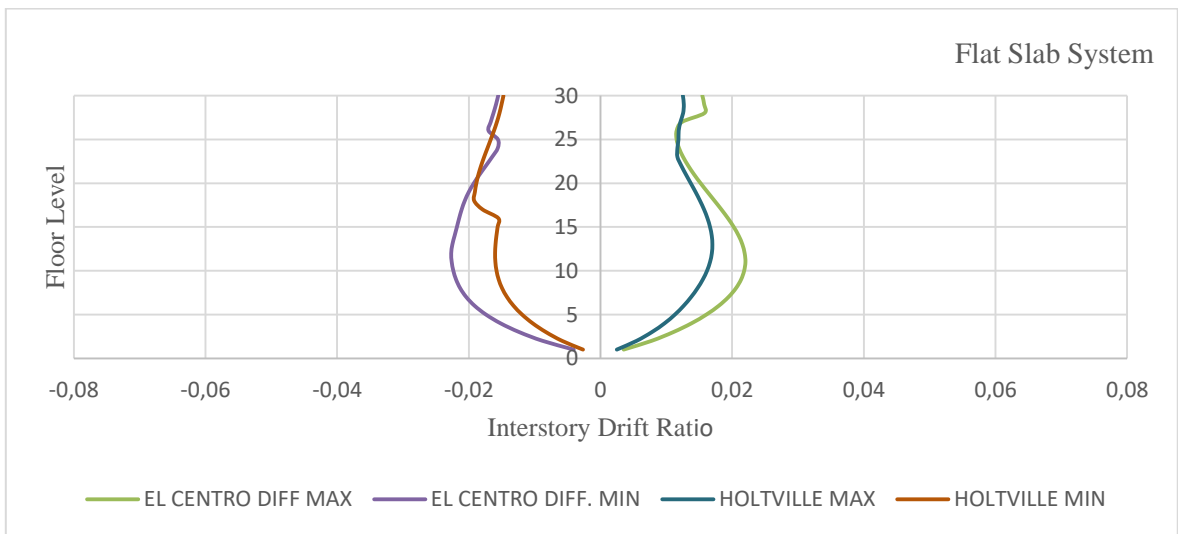


Figure 15. The interstory drift ratio versus floor level for flat slab under large pulse effect

El-Centro-Meloland station record of the 1979 Imperial Valley Earthquake and Parachute Test Site station record of the 1987 Superstition Hills Earthquake were chosen as the second motion set. These motions were recorded as motion with large PGV/PGA. The pulse durations of both earthquakes were 3.08 and 2.40 seconds for the Meloland and Parachute Test Site station records, respectively. Although the Meloland station record had 291.25 cm/s² of PGA, the PGA of the Parachute Test Site station record was 422.66 cm/s².

For the building with solid slab, floor displacements, and interstory drift ratios were given in Figure 16 and Figure 17. Under the El-Centro-Meloland station record motion, the maximum displacement of the top floor was evaluated as 1255.45 mm. It was obtained as 1223.74 mm for Parachute Test Site station record motion. The maximum interstory drift ratio was obtained as approximately 4.23% at 14th floor level for the El-Centro-Meloland station record motion, but it was obtained as 4.05% at 15th floor level for the Parachute station record.

In Figure 18 and Figure 19, floor displacements and interstory drift ratios were given for the building with flat slab system. The maximum floor displacements were obtained as 1340.13 mm and 1235.19 mm for the El-Centro-Meloland station and Parachute Test Site station record motions, respectively. The interstory drift ratio was obtained as 4.56% at 14th floor level for the El-Centro-Meloland station record motion, but it was obtained as 4.11% at 16th floor for the Parachute station record.

Although PGA value of the El-Centro-Meloland station record was less about 45% than Holtville-Post station records, the El-Centro-Meloland station record had a 28% greater pulse duration. The differences between floor displacements of solid and flat slab systems were 2.59% and 8.50%, respectively. Differences between interstory drift ratios were obtained as 4.44% and 10.95% for solid and flat slab systems.

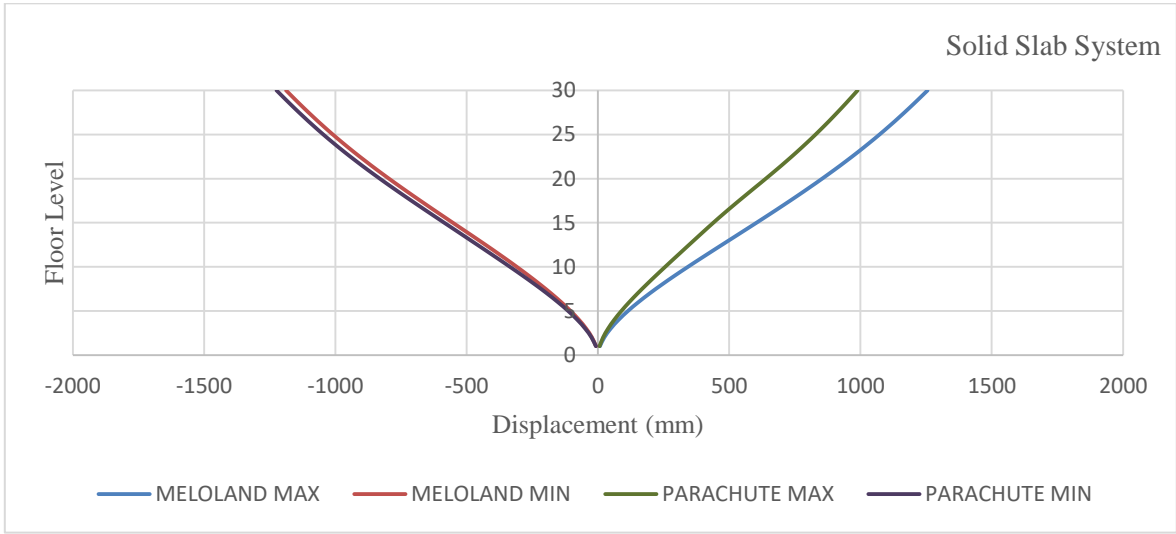


Figure 16. The floor displacements versus floor level for solid slab under large PGV/PGA

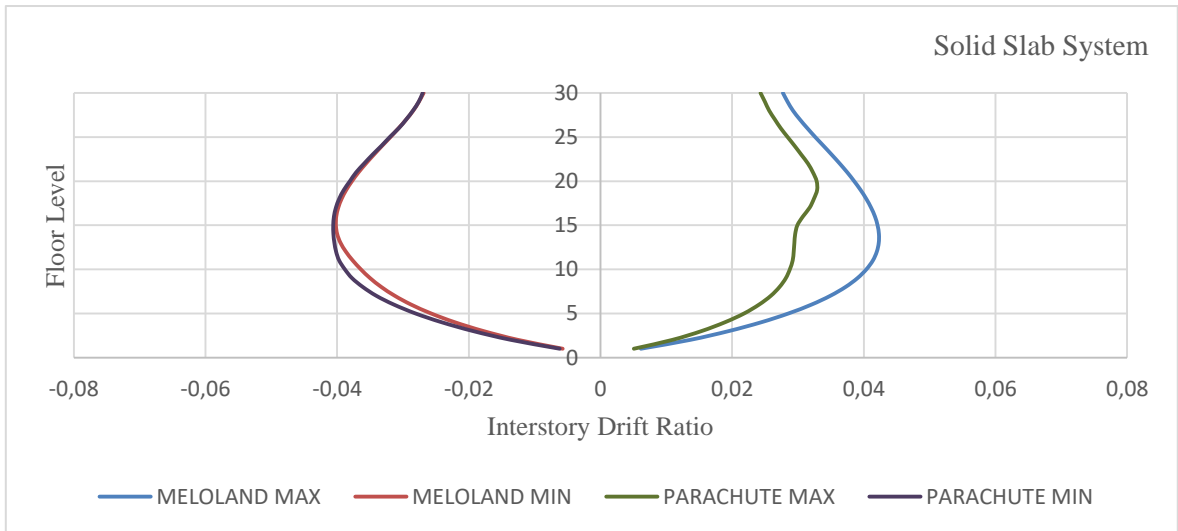


Figure 17. The interstory drift ratios versus floor level for solid slab under large PGV/PGA

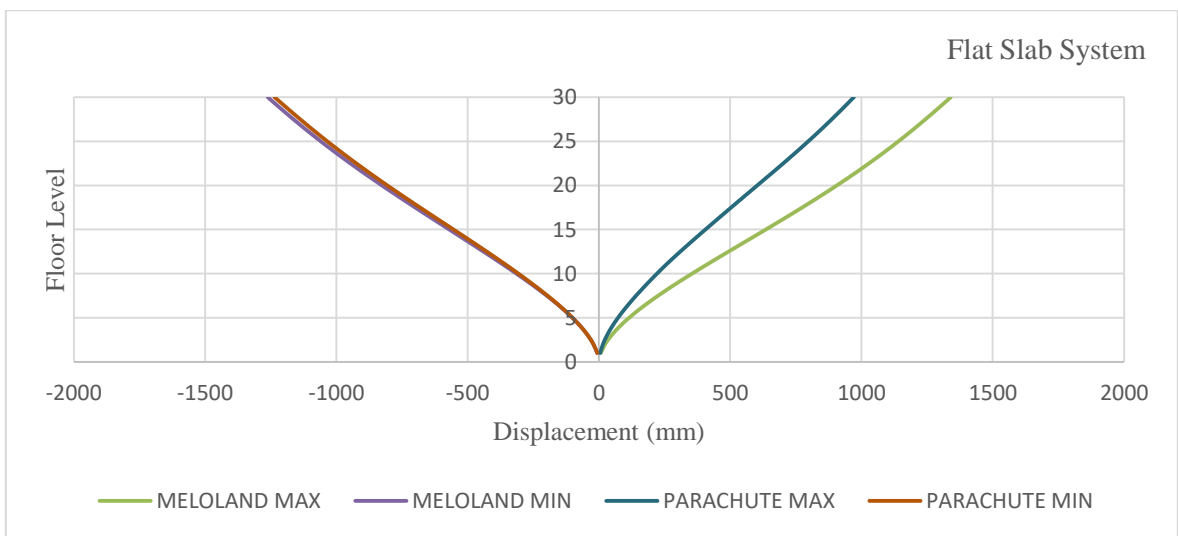


Figure 18. The floor displacements versus floor level for flat slab under large PGV/PGA

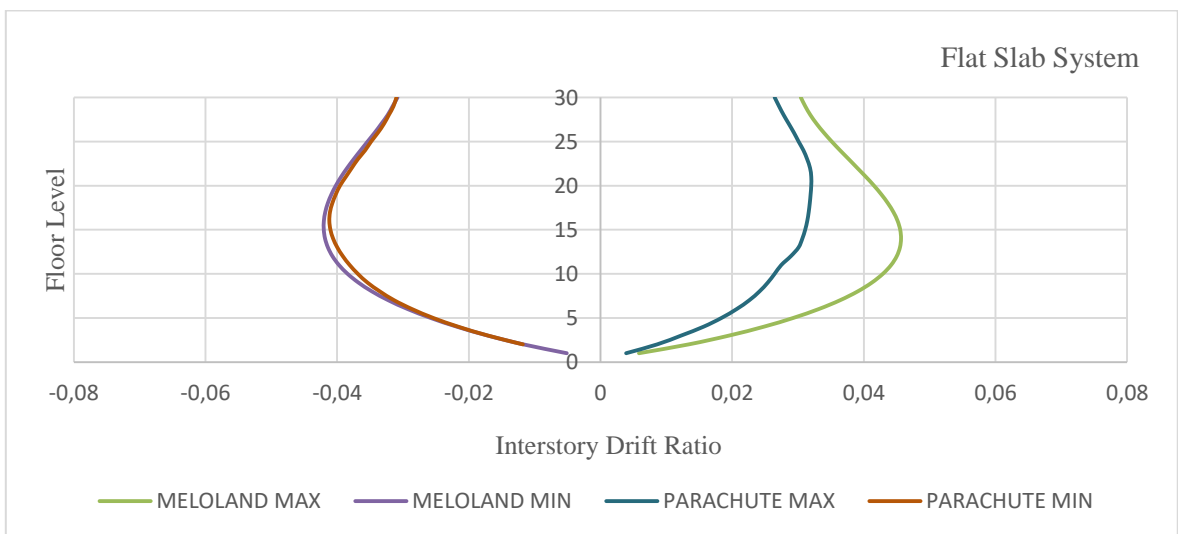


Figure 19. The interstory drift ratios versus floor level for flat slab under large PGV/PGA

The third set of the record motions was composed of the Sylmar-Converter record of the 1994 Northridge Earthquake and Takatori station record of the Kobe-Japan Earthquake. Although PGV/PGA ratios of these earthquakes were low, PGA values were large. Under nearly the same PGV/PGA ratio and PGA values, the effect of pulse duration was investigated with these motions. PGA values of the Sylmar-Converter record of the 1994 Northridge Earthquake and Takatori station record of the Kobe-Japan Earthquake had 610.95 cm/s^2 were 658.02 cm/s^2 .

Floor displacements and interstory drift ratios were given in Figure 20 and Figure 21 for the building with the solid slab. The maximum top floor displacements were founded as 1787.16 mm and 1173.68 mm for the Sylmar-Converter record of the 1994 Northridge Earthquake and Takatori station record of the Kobe-Japan Earthquake, respectively. The maximum interstory drift ratio was obtained as 6.34% at 11th floor level for the Sylmar-Converter record of the 1994 Northridge Earthquake, but it was 3.88% at 16th floor level for the Takatori station record of the Kobe-Japan Earthquake.

Floor displacements and interstory drift ratios were given in Figure 22 and Figure 23 for the building with the flat slab system. For the Sylmar-Converter record of the 1994 Northridge Earthquake and Takatori station record of the Kobe-Japan Earthquake, the top floor displacements were 1855.52 mm and 1165.06 mm, respectively. Moreover, interstory drift ratios were approximately 6.28% and 3.94% for these record motions, respectively. The maximum interstory drift ratios were obtained at 14th and 18th floor level for Sylmar-Converter record and Takatori station record, respectively.

The pulse duration of the Sylmar-Converter record of the 1994 Northridge Earthquake was greater about 132% than Takatori station record of the Kobe-Japan Earthquake. The differences between top floor displacements of solid and flat slab systems were 52.27% and 59.26%, respectively. Differences between interstory drift ratios were obtained as approximately 63.40% and 59.39% for solid and flat slab systems. It was seen that the pulse durations of such ground motions are very effective on flat slab systems.

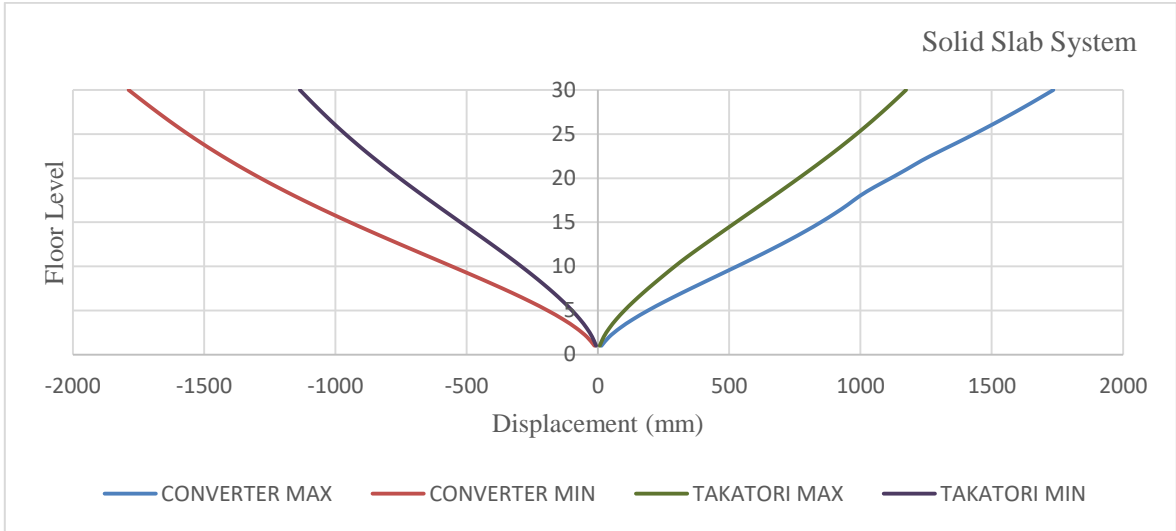


Figure 20. The floor displacements versus floor level for solid slab under the nearly same PGV/PGA and PGA

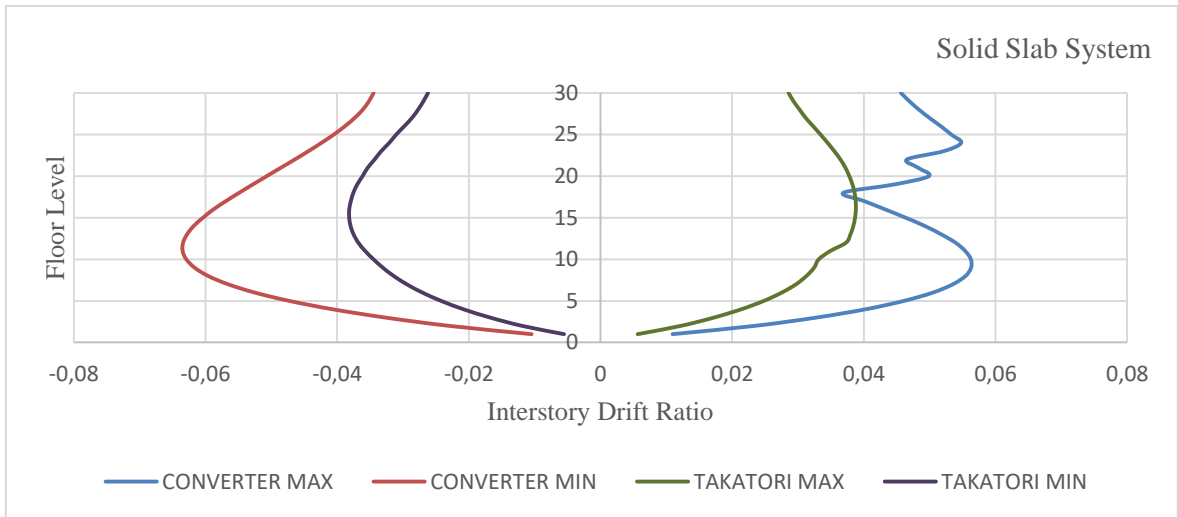


Figure 21. The interstory drift ratios versus floor level for solid slab under the nearly same PGV/PGA and PGA

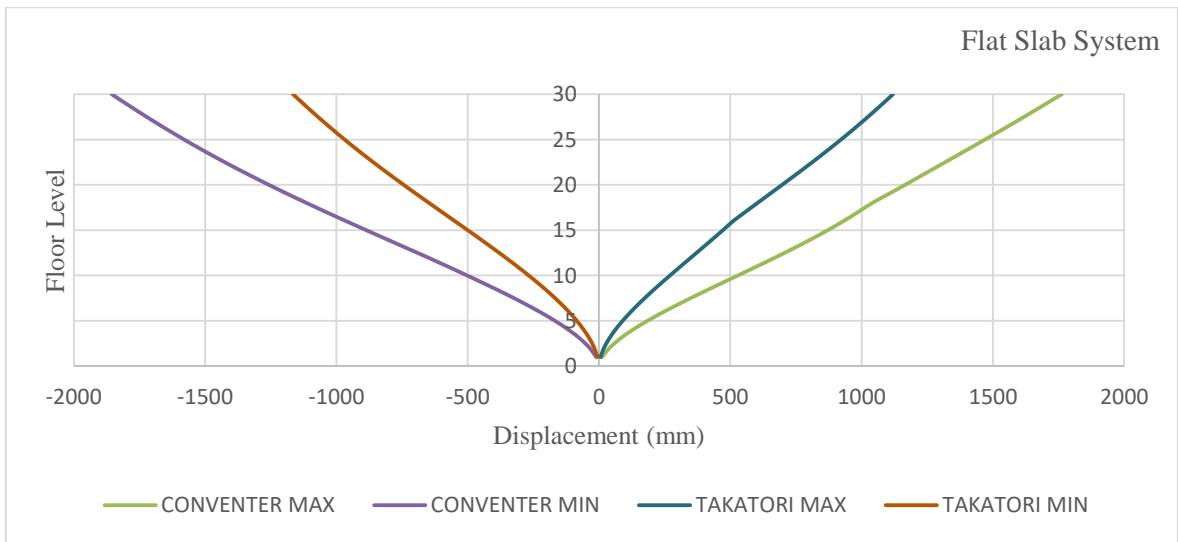


Figure 22. The floor displacements versus floor level for flat slab under the nearly same PGV/PGA and PGA

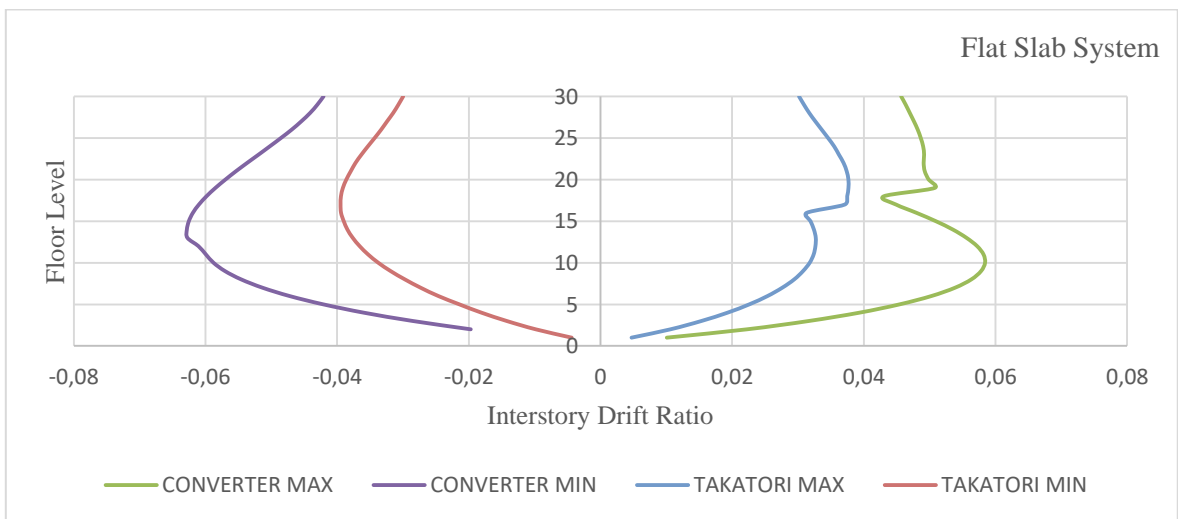


Figure 23. The interstory drift ratios versus floor level for flat slab under the nearly same PGV/PGA and PGA

One of the motion sets was ordinary near-fault motions, which were the El-Centro#9 and the Calexico Fire Station record motion of the 1979 Imperial Valley Earthquake. Both earthquake ground motion records have the same PGA value.

For the building with the solid slab system, floor displacements, and interstory drift ratios, which were obtained from ordinary near-fault ground motions, were given in Figure 24 and Figure 25. The maximum top floor displacements were obtained as 339.60 mm and 158.12 mm under the El-Centro#9 and the Calexico Fire Station record motion of the 1979 Imperial Valley Earthquake, respectively. The interstory drift ratio was obtained as 1.15% for the El-Centro#9 station, but it was 0.53% for the Calexico Fire Station. The maximum interstory drift ratios were obtained at 12th and 19th floor level for El-Centro#9 station and the Calexico Fire Station, respectively.

Floor displacements and interstory drift ratios were given in Figure 26 and Figure 27 for the building with the flat slab system. For the El-Centro#9 station of the 1979 Imperial Valley Earthquake and the Calexico Fire Station record motion of the 1979 Imperial Valley Earthquake, the top floor displacements were 369.52 mm and 165.19 mm, respectively. Interstory drift ratios were approximately 1.25% and 0.58% for these record motions, respectively. The maximum interstory drift ratios were obtained at 15th and 21st floor level.

PGV/PGA ratio of the El-Centro#9 station of the 1979 Imperial Valley Earthquake was approximately greater 22% than the Calexico Fire Station record motion of the 1979 Imperial Valley Earthquake. The differences between top floor displacements of solid and flat slab systems were 115% and 124% according to two record motions, respectively. Differences between interstory drift ratios were obtained as approximately 117% and 115% according to two record motions for solid and flat slab systems.

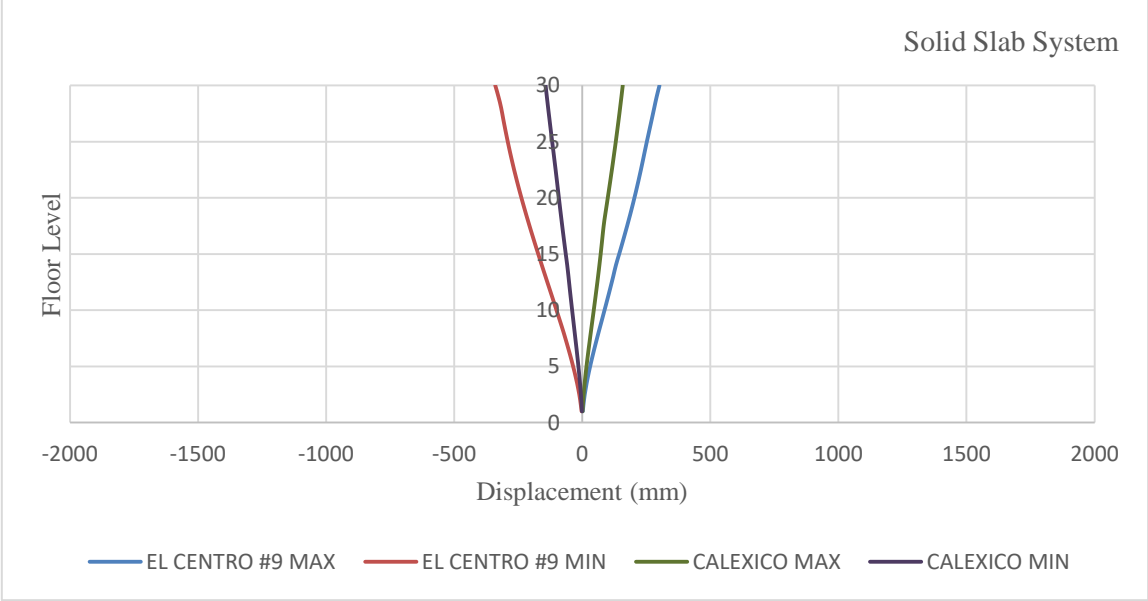


Figure 24. The floor displacements versus floor level for solid slab under the ordinary near-fault ground motion

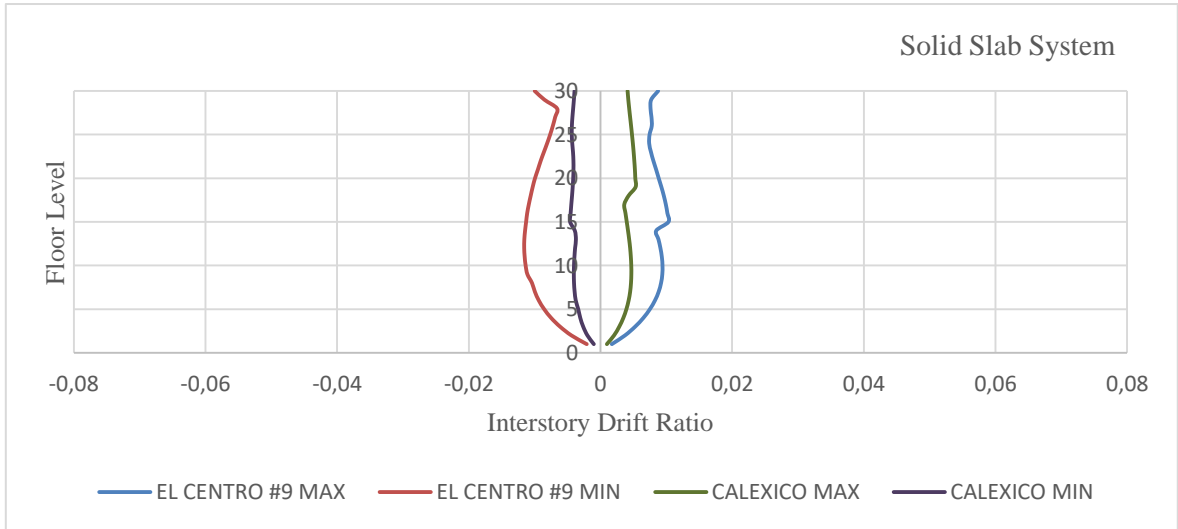


Figure 25. The interstory drift ratios versus floor level for solid slab under the ordinary near-fault ground motion

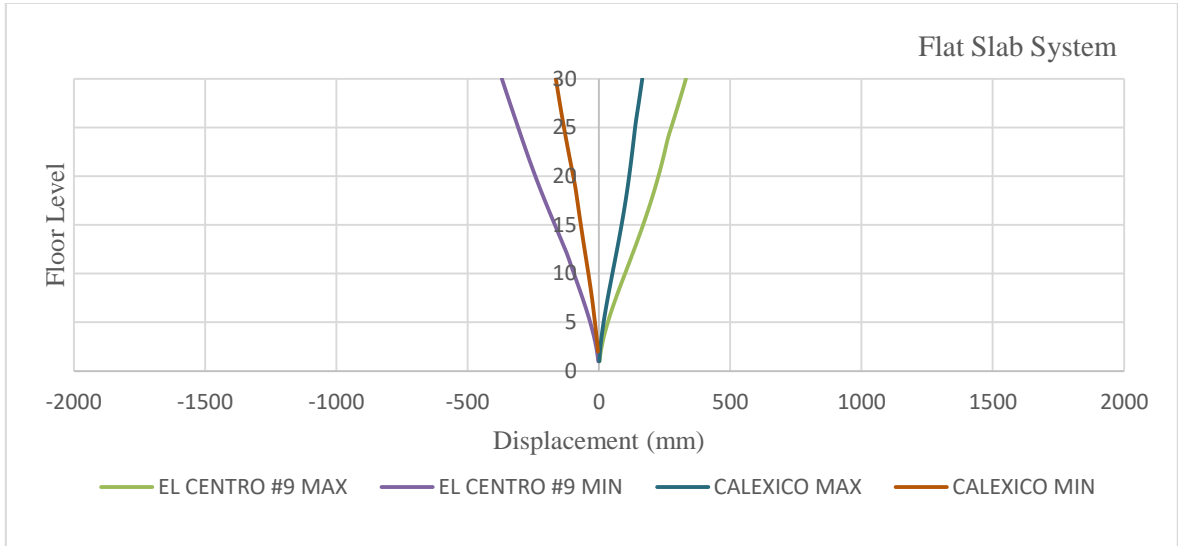


Figure 26. The floor displacements versus floor level for flat slab under the ordinary near-fault ground motion

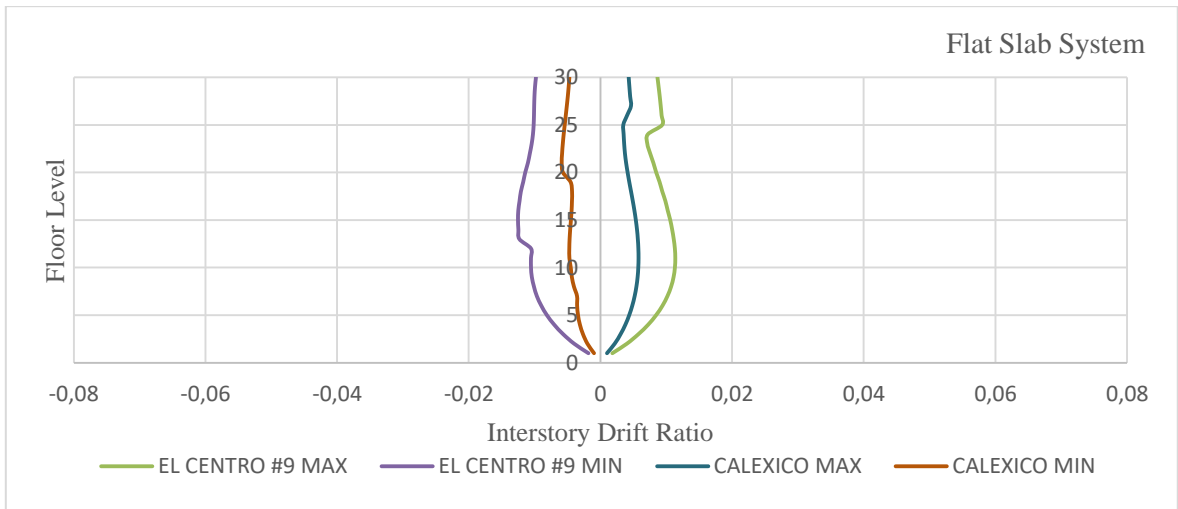


Figure 27. The interstory drift ratios versus floor level for flat slab under the ordinary near-fault ground motion

Far-fault motion set was used for comparison of the results obtained from near-fault motions. Therefore, the Santa Anita Dam Station record of the 1971 San Fernando Earthquake and the Whitewater Trout Farm station record of the Landers Earthquake was chosen as far-field earthquake motion.

Figure 28 and Figure 29 gave floor displacements and interstory drift ratios of the building with the solid slab system. The maximum top floor displacements were obtained as 28.47 mm and 81.88 mm under the Anita Dam Station record of the 1971 San Fernando Earthquake, and the Whitewater Trout Farm station record of the Landers Earthquake, respectively. The interstory drift ratios were obtained as 0.1% and 0.3% for the Santa Anita Dam Station record of the 1971 San Fernando Earthquake and the Whitewater Trout Farm station record of the Landers Earthquake. The maximum interstory drift ratios were obtained at 13th and 11th floor levels.

Floor displacements and interstory drift ratios were given in Figure 30 and Figure 31 for the building with the flat slab system. The top floor displacements were 31.96 mm and 89.13 mm for the Anita Dam Station record of the 1971 San Fernando Earthquake, and the Whitewater Trout Farm station record of the Landers Earthquake respectively. Interstory drift ratios were approximately 0.1% and 0.31% for these record motions, respectively. The maximum interstory drift ratios were obtained at 16th and 29th floor levels.

The differences between top floor displacements of solid and flat slab systems were 188% and 179% according to two record motions, respectively. Differences between interstory drift ratios were observed to be almost the same, around 200% for solid and flat slab systems. There were no differences between interstory drift ratios according to two record motions for solid and flat slab systems.

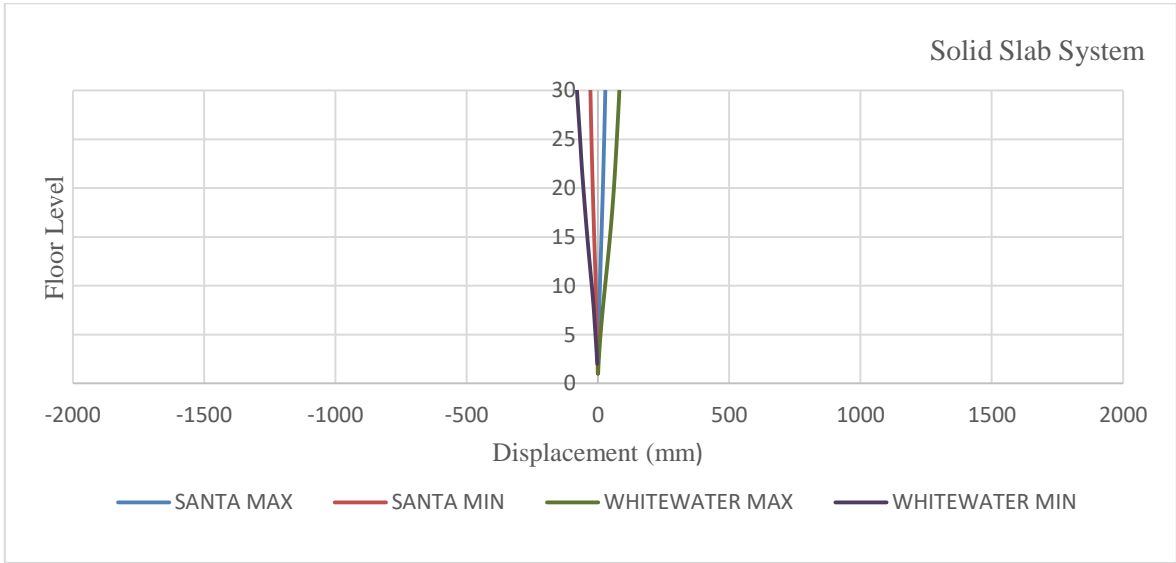


Figure 28. The floor displacements versus floor level for solid slab under the ordinary far-fault ground motion

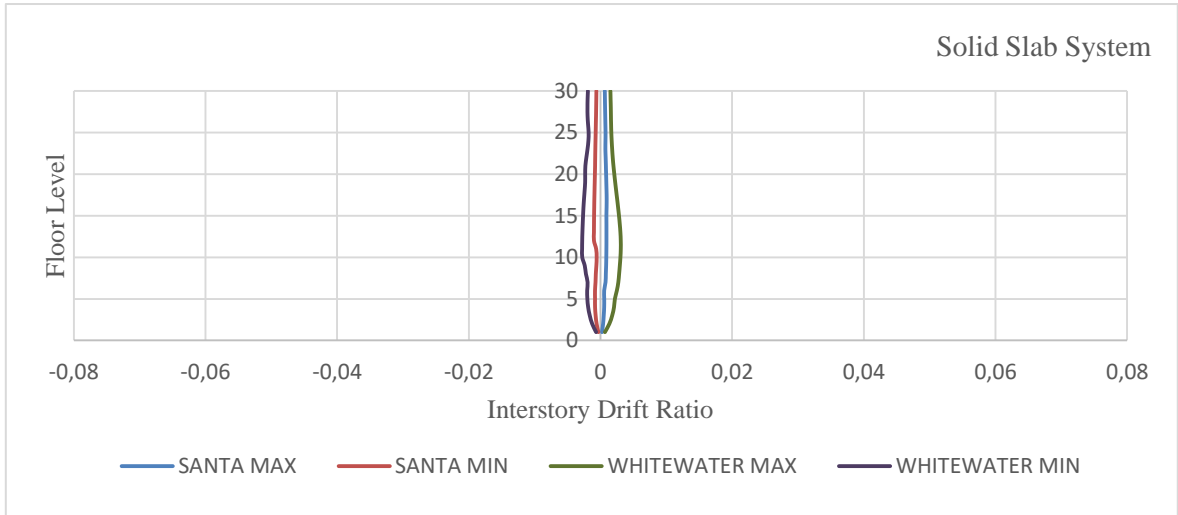


Figure 29. The interstory drift ratios versus floor level for solid slab under the ordinary far-fault ground motion

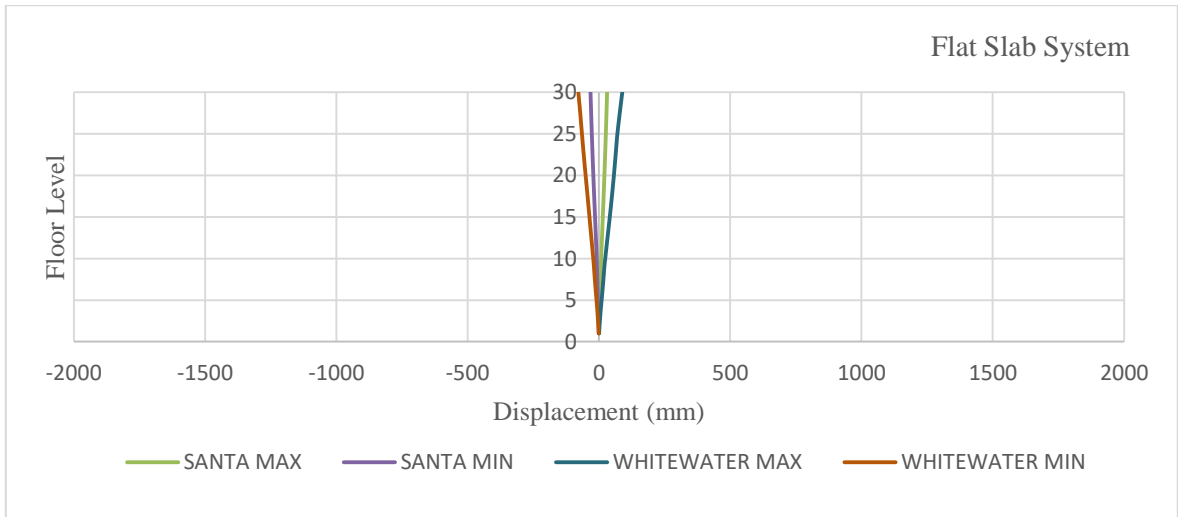


Figure 30. The floor displacements versus floor level for flat slab under the ordinary far-fault ground motion

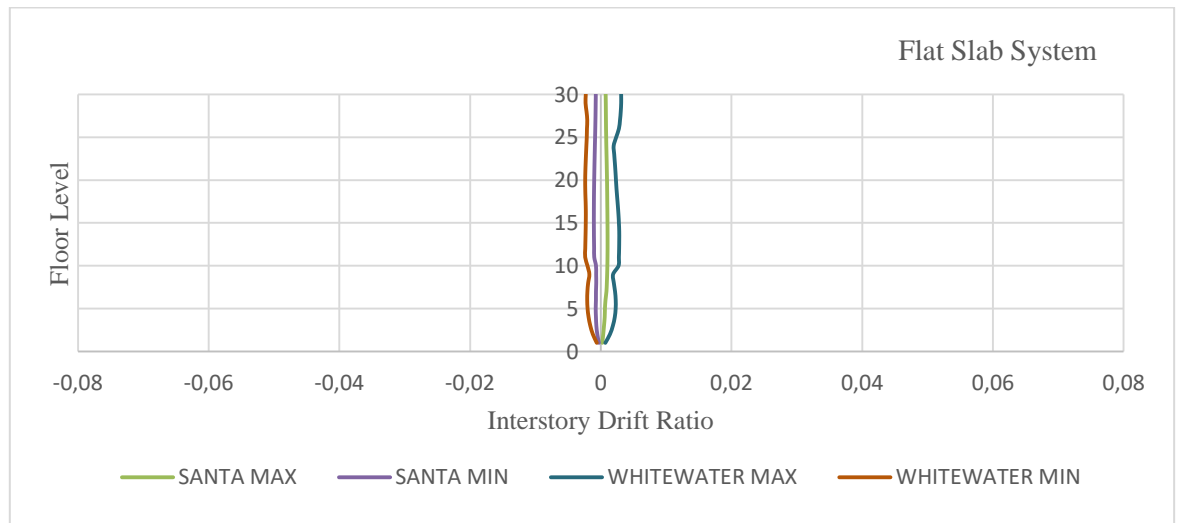


Figure 31. The interstory drift ratios versus floor level for flat slab under the ordinary far-fault ground motion

IV. CONCLUSION

The following results were obtained from the dynamic analyses of a 30-storey building designed with solid and flat slab system under near-fault ground motions:

- The solid slab system provides the lowest displacement compared to the other flat slab systems. The larger stiffness of the building designed with a solid slab may generally cause this behavior.
- If the ratio of pulse period to first mode vibration period (T_p/T_1) is greater than 1.0, interstory drift ratios of flat slab systems are less affected by the PGA value.
- Although top floor displacements of buildings with flat slab systems are greater, the variation of displacements for both slab systems are nearly the same according to the variation of PGA under large pulse.
- Flat slab systems are very sensitive to PGV/PGA. If the pulse period and PGV/PGA increase, top floor displacements of flat slab systems will be very high. In addition, the variation in displacements and interstory drift ratios of flat slab systems are very high even if PGA is very low. It can be said that the pulse durations of such ground motions are very effective on flat slab systems.
- Interstory drift ratios of solid slab systems are obtained higher than flat slab systems under low PGV/PGA and high PGA for motions with high velocity-pulse.
- PGV/PGA is very effective for both slab systems for ordinary near-fault ground motions. Ordinary near-fault ground motions do not have a significant effect on flat slab systems.
- Although far-fault ground motions have very low PGV/PGA, PGV/PGA values of far-fault ground motions are very effective parameters for solid and flat slab systems.

This study did not investigate the shear and moment response of the slab systems. In addition, linear time history analysis was performed but future studies should examine the nonlinear analysis of structures for near-fault motion characteristics.

V. REFERENCES

- [1] J. D. Bray, and A. Rodriguez-Marek, "Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 24, no. 11, pp. 815–828, 2004.
- [2] Ö. Umut, "The Effects of Near-Fault Ground Motion on Structures and the Design of Earthquake Resistant Structures using Isolated-Fluid Damper Systems," M.S. thesis, Institute of Science, İstanbul Technical University, Turkey, 2006.
- [3] D. Yılmaz, and K. Soyuluk, "Comparative analysis of steel arch bridges under near-fault ground motion effects of directivity-pulse and fling-step," *Journal of Structural Engineering*, vol. 2, pp. 63–74, 2019.
- [4] H. Sesli, Z. Tonyalı, and M. Yurdakul, "An investigation on seismically isolated buildings in near-fault region," *Journal of Innovative Engineering and Natural Science*, vol. 2, no. 2, pp. 47–65, 2022.
- [5] J. F. Hall, T. H. Heaton, M. W. Halling, and D. J. Wald, "Near-source ground motion and its effects on flexible buildings," *Earthquake Spectra*, vol. 11, no. 4, pp. 569–605, 1995.
- [6] P. K. Malhotra, "Response of buildings to near field pulse like ground motions," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 28, pp. 1309–1326, 1999.

- [7] W. I. Liao, C. H. Loh, and S. Wan, "Earthquake responses of RC moment frames subjected to near-fault ground motions," *The Structural Design of Tall Buildings*, vol. 10, no. 3, pp. 219–229, 2001.
- [8] A. Ghobarah, "Response of structures to near-fault ground motion," *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Canada, 2004, pp. 1031.
- [9] B. Alavi, and H. Krawinkler, (2004). "Strengthening of moment-resisting frame structures against near-fault ground motion effects," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 33, pp. 707–722, 2004.
- [10] C. P. Providakis, "Pushover analysis of base isolated steel concrete composite structures under near fault excitations," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 28, pp. 293–304, 2007.
- [11] F. Mazza, and A. Vulcano, "Nonlinear dynamic response of rc framed structures subjected to near-fault ground motions," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 8, no. 6, pp. 1331-1350, 2010.
- [12] C. E. Ventura, M. Archila, A. Bebamzadeh, and W. D. Liam Finn, "Large coseismic displacements and tall buildings," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 20, pp. 85–99, 2011.
- [13] N. Güneş, and S. Ç. Ulucan, "Nonlinear dynamic response of a tall building to near fault pulse like ground motions," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 17, pp. 2989–3013, 2019.
- [14] A. Daei, and M. Poursha, "On the accuracy of enhanced pushover procedures for seismic performance evaluation of code-conforming RC moment-resisting frame buildings subjected to pulse-like and non-pulse-like excitations," *Structures*, vol. 32, pp. 929–945, 2021.
- [15] S. Mahmoud, A. Alqarni, J. Saliba, A. H. Ibrahim, M. Genidy, and H. Diab, "Influence of floor system on seismic behavior of RC buildings to forward directivity and fling-step in the near-fault region," *Structures*, vol. 30, pp. 803–817, 2021.
- [16] *Turkish Building Earthquake Code (TBEC 2018)*, Ministry of Environment and Urbanization of Turkey, 2018.
- [17] D. Yılmaz, "Dynamic Analysis of Steel Arch Bridges for Near-Fault Ground Motions Travelling with Finite Wave Velocity," M.S. thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Turkey, 2018.
- [18] P. G. Somerville, "Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse," *Physics of the earth and planetary interiors*, vol. 137, pp. 201–212, 2003.
- [19] D. Yang, J. Pan, and G. Li, "Interstory drift ratio of building structures subjected to near-fault ground motions based on generalized drift spectral analysis," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 30, no. 11, pp. 1182–1197, 2010.
- [20] D. Zou, H. Han, J Liu, D. Yang, and X. Kong, "Seismic failure analysis for a high concrete face rockfill dam subjected to near-fault pulse-like ground motions," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 98, pp. 235–243, 2017.
- [21] W. I. Liao, C. H. Loh, and B. H. Lee, "Comparison of dynamic response of isolated and non-isolated continuous girder bridges subjected to near-fault ground motions," *Engineering Structures* vol. 26, pp. 2173–2183, 2004.
- [22] J. P. Stewart, S. J. Chiou, J. D. Bray, R. W. Graves, P. G. Somerville, and N. A. Abrahamson,

“Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design,” Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, PEER Report 2001/09, 2001.

[23] S. Akkar, U. Yazgan, and P. Güllkan, “Drift estimates in frame buildings subjected to near-fault ground motions,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, no. 7, pp. 1014–1024, 2005.

[24] B. Alavi, and H. Krawinkler, “The behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 33, no. 6, pp. 687–706, 2004.

[25] The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2022, December). *PEER Ground Motion Database* [Online]. Available: <https://ngawest2.berkeley.edu>

[26] *Design loads for buildings*, Turkish Standards Institution TS 498, 1997.

[27] SAP2000, *Software*, V23, Berkeley (U.S.A): Computers and Structures Inc., 2023.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag Aygıtının Akım-Gerilim Karakteristiklerinin İncelenmesi

 Fikriye Şeyma KAYA^{a,*}

^aElektronik ve Otomasyon Bölümü, Çaldıran Meslek Yüksekokulu, Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Van, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: fikriyeseymakaya@yyu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1271979

ÖZ

Bu çalışmada Cr/n-GaP kontak arayüzeyine Klorofil-a malzemesi kullanılarak elde edilen aygıtın elektriksel özellikleri incelendi. Omik kontak için gümüş (Ag) metali termal buharlaştırma yöntemi ile oluşturuldu. GaP yarıiletkeninin parlak yüzeyine klorofil-a çözeltisi döndürerek kaplama yöntemiyle ince bir film tabakası oluşturuldu ve optik geçirgenlik ölçümü alındı. Klorofil-a ince filminin geçirgenlik değerinin ~%95 olduğu belirlendi. Krom (Cr) metali DC saçtırma yöntemiyle klorofil-a tabakasının üzerine kontaklar şeklinde kaplanarak Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtı üretildi. Oda sıcaklığında Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının elektriksel ölçümleri incelendi. Karanlık-aydınlık ortamda alınan I-V ölçümlerinden idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_b) hesaplandı. Karanlık ortamda hesaplanan n değeri 1,18 iken aydınlık ortamda bu değer 1,05 olarak bulundu. Ayrıca Cheung ve Norde Fonksiyonları da kullanılarak, kontak karakteristik parametreleri hesaplandı ve sonuçlar karşılaştırıldı. Aydınlatmanın, kontak karakteristik parametreleri üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: *Kontak, Klorofil-a, Norde, Cheung, İdealite faktörü.*

Investigation of Current-Voltage Characteristics of Cr/Chlorophyll-a/n-GaP/Ag Device

ABSTRACT

In this study, the electrical properties of a device obtained using Chlorophyll-a material on the Cr/n-GaP contact interface were investigated. Silver (Ag) metal was formed by thermal evaporation method for ohmic contact. A thin film layer was created on the bright surface of the GaP semiconductor by spin-coating Chlorophyll-a solution, and the optical transmittance of the thin film layer was measured. It was determined that the transmittance value of the Chlorophyll-a thin film was approximately 95%. Chromium (Cr) metal was deposited onto the Chlorophyll-a layer in the form of contacts using the DC sputtering method, resulting in the production of the Cr/ Chlorophyll-a /n-GaP/Ag device. The electrical measurements of the Cr/Chlorophyll-a/n-GaP/Ag device were examined at room temperature. the ideality factor (n), barrier height (Φ_b) values were calculated from the I-V measurements taken in both dark and illuminated conditions. While the n value was calculated 1.18 in the dark, this value was found to be 1.05 under illumination. In addition, using the Cheung and Norde Functions, the contact characteristic parameters were calculated and the results were checked by comparing them. It was determined that the lighting had significant effects on the contact characteristic parameters

Keywords: *Contact, Chlorophyll-a, Norde, Cheung, Ideality factor.*

I. GİRİŞ

Yarıiletken teknolojisi uzun yıllardır ilgi odağı olmuş ve günümüzde de gelişmeye devam etmektedir. Yarıiletken teknolojisinin büyük bir kısmını diyotlar oluşturur. Diyotlar, p-n eklem ve Metal-Yarıiletken (MY) kontaklar olmak üzere ikiye ayrılır. p-n eklemeler p tipi bir yarıiletken ile n tipi yarıiletkenin bir araya gelerek oluşturduğu devre elemanıdır. MY kontaklar ise metal ve yarıiletkenin kontak yapılmasıyla oluşur. MY kontaklar IV. grup elementi olan tek atomlu silisyum (Si), germanyum (Ge) gibi yarıiletkenlerin kullanılmasının yanı sıra periyodik tablonun farklı gruplarında yer alan elementlerin (II-VI, III-V) bir araya gelmesiyle oluşan kristal yapıları farklı olan ikili ve üçlü bileşik yarıiletkenler de (GaP, GaAs) kontak yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca GaP optoelektronik devre elemanı, dedektör ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) gibi aygıtların üretiminde de büyük bir yer kapmaktadır.

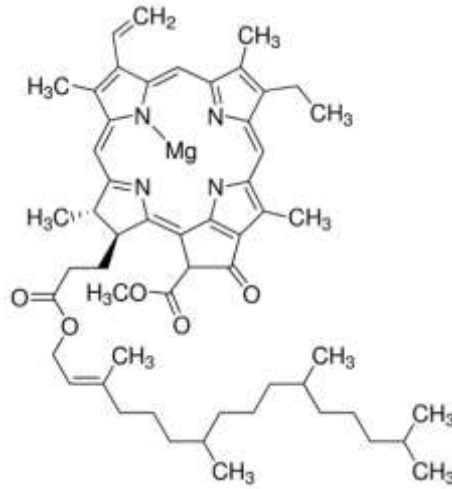
İsmail vd. farklı yöntemlerle aşındırma işlemi uygulanan (110) ve (111) yönelimli GaP yarıiletkeni kullanarak ürettikleri Au/n-GaP ve In/n-GaP yapılarının engel yüksekliği ve idealite faktörü değerlerini hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır [1]. n-GaP yarıiletkeni üzerine Ag, Au, Ni, Al, Cr, Mo, Pt ve Cu gibi farklı metaller buharlaştırılarak üretilen Schottky diyotların I-V, C-V karakteristikleri oda sıcaklığında ölçülmüş ve metallerin iş fonksiyonu ile diyotların engel yüksekliği arasında lineer bir ilişki olduğu görülmüştür [2-5]. Goldberg ve Nasledov, kimyasal biriktirme yöntemi ile GaP yarıiletkeni üzerine farklı metaller (Au, Ni, Cr) kullanarak MY yapılar elde etmiş ve yapıların ideale yakın davranışlar sergilediği belirtmişlerdir [6]. Queriagli vd. Al/klorofil-a/Ag yapısının oda sıcaklığında I-V karakteristikleri ve klorofil-a tabakasının soğurma ölçümleri incelemişlerdir [7]. İlaveten elektrodepozisyon işlemiyle 3000 Å kalınlıklı klorofil-a tabakası elde edilerek üretilen Al/Klorofil-a/Ag yapısının karanlık ve aydınlık ortamda sıcaklığa bağlı ölçümleri alınmış ve tabakanın soğurma ölçümleri değerlendirilmiştir [8]. Corker vd. Au/Klorofil/Hg yapısının omik davranış, Cr/Klorofil /Hg yapısının ise doğrultucu davranış gösterdiğini bulmuş ve bu diyotlara ait I-V, C-V ve C-f ölçümlerini aydınlık ve karanlık ortamda incelemişlerdir [9]. Tang vd. elektrodepozisyon yöntemiyle hazırlanan, yaklaşık kalınlığı 1000-5000 Å aralığında olan mikrokristal klorofil-a filminin güçlü bir fotovoltajik etkiye sahip olduğunu göstermiş ve fotovoltajik hücrelerin elektrotları olarak Al, Cr, Au, Cu, Ni ve Ag gibi metaller kullanılarak elde edilen diyotların I-V karakteristiklerini hesaplamışlardır [10]. III-V yarıiletkeni olan GaP geniş bant (2,26 eV) aralığından dolayı, yüksek sıcaklık uygulamalarında büyük bir potansiyele sahiptir [11,12].

Yarıiletken tabanlı aygıtlarda karakteristik parametreleri ideale yakın aygıt üretmek için birçok metod uygulanmaktadır. Bu metotlardan biri ise ara yüzey tabakası ile aygıtın karakteristik parametrelerini optimize etmektir. Son zamanlarda kullanılan ara yüzey tabakaların büyük bir kısmı organik malzemelerden oluşmaktadır. Doğada çokça var olan klorofil, ışığı yakalayan bir moleküldür ve foto reseptör olarak adlandırılır. Beş farklı klorofil çeşidi olup bunlar a, b, c, d ve f diye isimlendirilir. Klorofilin yan zincirinde CH₃ varsa klorofil-a, CHO varsa klorofil-b diye adlandırılır. İki klorofil çeşidi de iyi bir foto reseptördür ve görünür bölgede güçlü soğurma piki verir. Haisah vd. ITO, cam ve kuvars üzerine kloroformda çözülmüş klorofil-a çözeltisini spin-coating yöntemiyle 2000 rpm'de 40 saniye döndürerek ince film tabakası oluşturmuşlardır. Bu oluşturulan ince filmin tabaka kalınlığı 492 Å, klorofilin yasak enerji aralığı 5,15 eV ve ortalama elektriksel iletkenlik $1,92 \times 10^{-9} \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$ olarak bulunmuştur [13].

Bu çalışmada, klorofil-a çözeltisinin optik soğurma ölçümleri, Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının oda sıcaklığında, aydınlık ve karanlık ortamda akım-gerilim ölçümleri değerlendirildi. Norde ve Cheung fonksiyonları kullanılarak karakteristik parametreleri hesaplanıp sonuçlar karşılaştırıldı.

II. MATERYAL VE METOT

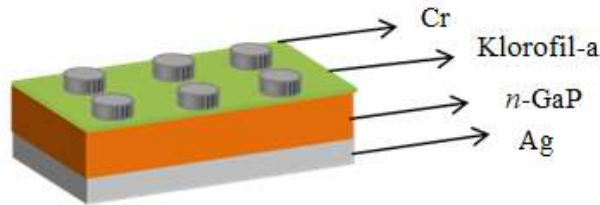
Bu çalışma *n*-GaP kristali kullanılarak üretildi. Aygıtın iyi performans göstermesi için yarıiletken yüzeyinin kirliliklerden arındırılması gerekir. Bu sebeple *n*-GaP yarıiletkeni aygıt üretiminden önce kimyasal temizleme işlemine tabi tutuldu. Temizlendikten sonra omik kontak için *n*-GaP yarıiletkeninin mat tarafına 10^{-5} Torr basınç altında gümüş (Ag) buharlaştırıldı. Ag kaplanan yarıiletken buharlaştırma sisteminden çıkarılıp azot gazı altında 500C de 3 dk tavlandı. Numunenin parlak yüzeyi üzerine 25 s 3000 rpm'de döndürerek kaplama yöntemiyle klorofil-a tabakası oluşturularak Schottky kontak işlemi için hazır hale getirildi. Schottky kontak oluşturmak için DC magnetron sputter sistemine krom (Cr) hedef plaka yerleştirildi. DC Sputter tekniği ile GaP yarıiletkeninin klorofil-a tabakası kaplanan yüzeyine 1mm çaplı nokta kontaklar yapıldı ve Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/Ag aygıtı elde edildi. Klorofil-a yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Klorofil-a yapısı.

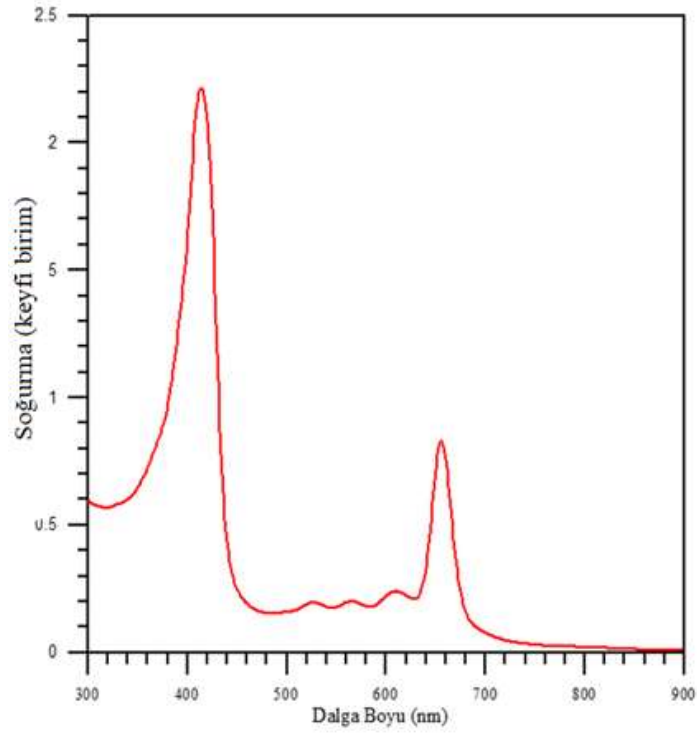
III. BULGULAR

Bu çalışmada *n*-GaP yarıiletkeni üzerine üretilen Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/In yapısının geçirgenlik, akım-gerilim ve farklı ışık şiddetleri altında fotovoltaiik ölçümleri alınarak grafikler çizilmiş ve bu grafikler yardımıyla bazı karakteristik parametreler hesaplanmıştır. Üretilen Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/Ag aygıtının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.

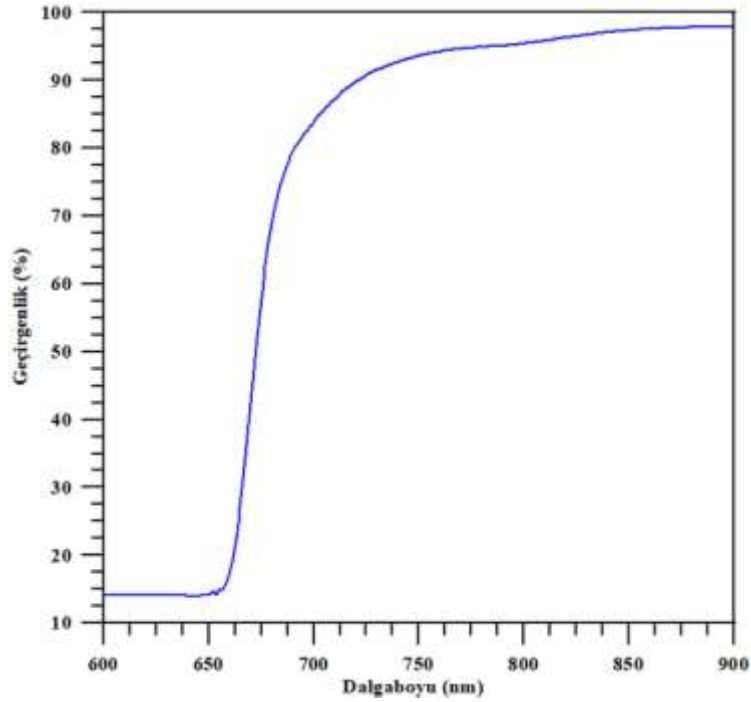


Şekil 2. Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/Ag aygıtının şematik gösterimi.

Klorofil-a ince filminin soğurma ölçümleri [14] ve geçirgenlik ölçümleri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Klorofil-a ince filminin yaklaşık 650 -750 nm dalga boyu aralığında geçirgenlik değerinin ~%95 olduğu bulundu.



Şekil 3. Klorofil-a solüsyonunun soğurma grafiği.



Şekil 4. Klorofil-a ince filminin geçirgenlik eğrisi.

Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının oda sıcaklığında, ($T=300$ K) karanlık ve aydınlık ortamda akım-gerilim ölçümleri alınmıştır. Üretilen Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının karakteristik parametreleri olan idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_b) değerlerini hesaplamak için termiyonik emisyon (TE) teorisi kullanıldı. Bu teoriye göre düz beslem akım değeri;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (1)$$

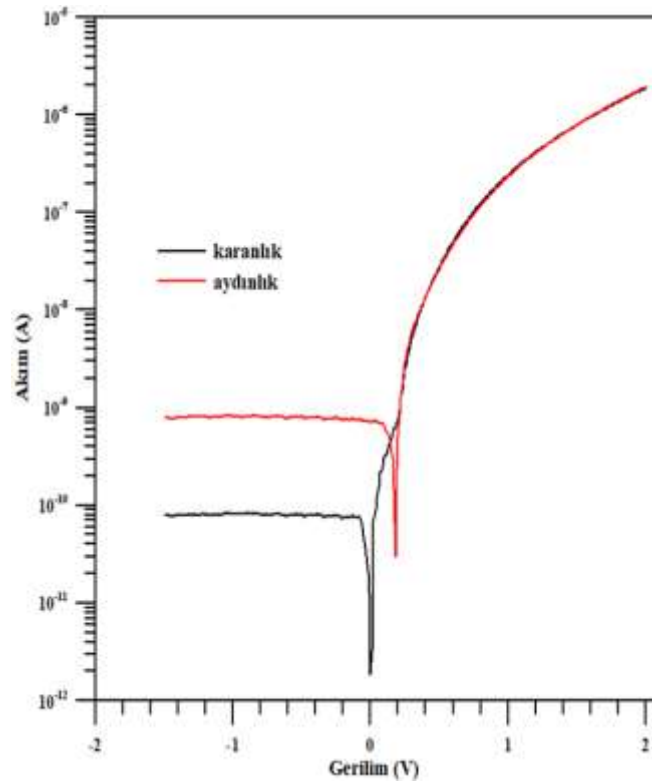
idealite faktörü;

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (2)$$

elde edilir. Ölçümden çizilen $\ln(I)$ - V grafiği için gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra (doyma akımı) I_0 ve Φ_b eşitlikleri (3) ve (4) şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 5'te Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag aygıtının akım-gerilim grafiği gösterilmiştir.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (3)$$

$$e\Phi_b = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4)$$



Şekil 5. Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag aygıtının karanlık ve aydınlık ortamda akım-gerilim grafiği.

Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtına ait oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümlerinden hesaplanan n ve Φ_b değerleri; karanlıkta sırasıyla 1,18, 0,941 eV olup oda ışığında bu değerler 1,05 ve 1,041 eV olarak bulundu. İdealite faktörü değeri ışıktaki 1 değerine daha yakın olduğu görülmüştür. Aygıtın n değerine

ışığın iyileştirici etkisinin olduğu söylenebilir. Aygıtın ışık altındaki ters beslem bölgesindeki akım değerinin karanlık ortamdaki akım değerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu ölçümler doğrultusunda Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının fotodiyot özellik gösterdiği bulunmuştur. Aygıtın fotovoltaik parametreleri olan açık devre gerilimi (V_{oc}) 0,18 V ve kısa devre akımı (I_{sc}) $7,14 \times 10^{-4}$ μA olarak hesaplanmıştır.

Norde (Norde 1979) Φ_b ve R_s değerlerini hesaplamak için $F(V)$ fonksiyonunu şu şekilde tanımlamıştır;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{AA * T^2} \right) \quad (6)$$

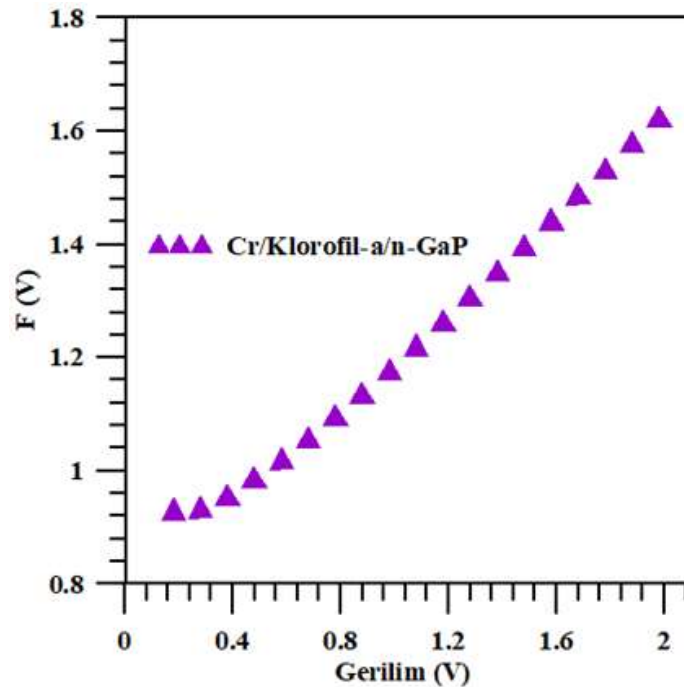
Burada $F(V)$ ifadesindeki γ , akım-gerilim eğrisinden elde edilen boyutsuz bir tamsayıdır ve idealite faktöründen büyüktür. Şekil 6'da Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının karanlık ortamdaki Gerilim(V)– $F(V)$ grafiği verilmiştir. Norde fonksiyonları kullanılarak yapının Φ_b ve R_s değerleri:

$$\Phi_b = F(V_{min}) + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_{min}} \quad (8)$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanır [15].

Karanlık ortamda R_s değeri $9,876 \times 10^7 \Omega$ ve engel yüksekliği değeri 0,906 eV olarak hesaplandı. Voltaj düşmesinin sebebi olarak bütün sıcaklıklarda yüksek voltaj bölgelerindeki ideal olmayan davranışa atfedilmiştir.



Şekil 6. Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag yapısının karanlık ortamda Gerilim(V)–F(V) grafiği.

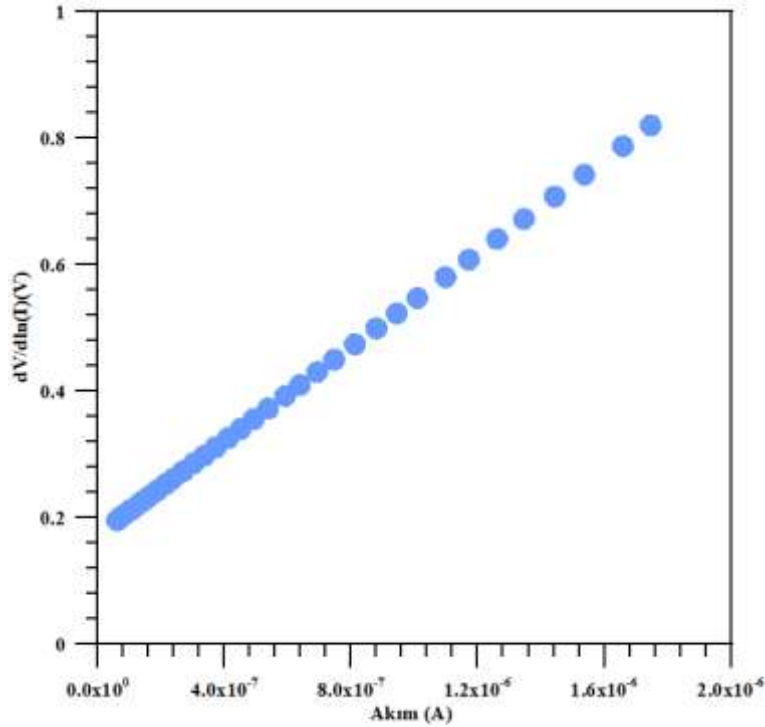
MY kontak yapısının doğru beslem I – V karakteristikleri hesaplanması için TE teorisinden farklı bir model ortaya konuldu [16]. Cheung fonksiyonlarıyla n , Φ_b ve R_s değerleri (9), (10), (11) eşitlikleri kullanılarak elde edilir.

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (9)$$

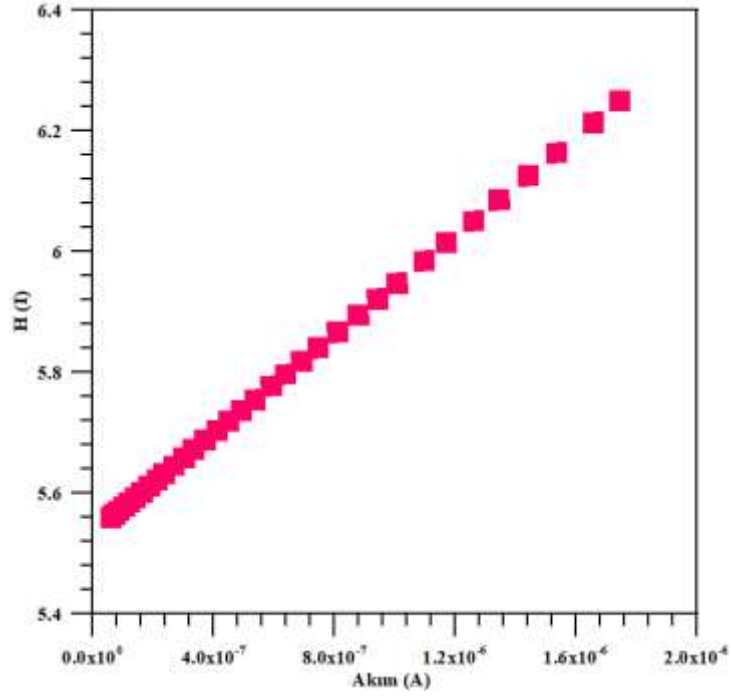
$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (10)$$

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (11)$$

$dV/d\ln(I)$ 'nın I 'ya göre grafiğinin eğimi R_s , doğrunun ordinat eksenini kestiği nokta ise n değerini verir. $H(I)$ fonksiyonu kullanılarak Φ_b değeri bulunur. Çizilen $H(I)$ - I grafiği bir doğru şeklindedir. Doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği noktadan da Φ_b elde edilir [17].



Şekil 7. Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag yapısının $d(V)/\ln(I)(V)$ - Akım(A) grafiği.



Şekil 8. Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag yapısının H(I)- Akım(A) grafiği

Tablo 1. Farklı metotlar kullanılarak hesaplanan kontak parametrelerinin karşılaştırılması

<i>I-V</i>	<i>I-V</i>	(dV/d(lnI))	(H(I))	F(V)
<i>n</i>	Φ_b (eV)	<i>n</i>	Φ_b (eV)	Φ_b (eV)
1,18	0,981	6,72	0,823	0,906

Farklı metotlar kullanılarak hesaplanan Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag aygıtının *n* ve Φ_b değerleri Tablo'1 de verilmiştir. Termoiyonik emisyon teorisiyle hesaplanan idealite faktörü değeri Cheung fonksiyonuyla hesaplanan değerden daha küçük çıkmıştır. Bunun sebebi hesaplama yapılırken termoiyonik emisyon metodunda *I-V* grafiğinde fit yapılan bölge ile Cheung fonksiyonunda fit yapılan bölgelerin birbirinden farklı olması, seri direnç etkisi, arayüzey halleri ve bu tabakadaki gerilim düşüşleridir [17-21].

IV. SONUÇ

400 µm kalınlığındaki n-GaP yarıiletkeni üzerine döndürerek kaplama yöntemi ile klorofil-a kaplanarak Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtı üretildi. Klorofil-a tabakasının optik ölçümleri değerlendirildi ve optik geçirgenlik oranının yaklaşık %95 olduğu bulundu. Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının 300 K'de akım-gerilim ölçümleri termoiyonik emisyon teorisi, Norde ve Cheung fonksiyonları kullanılarak elektriksel parametreleri hesaplandı. Yapının aydınlık ve karanlık ortamdaki karakteristik parametreleri olan *n*, Φ_b değerleri karşılaştırıldı. Karanlık ortamda hesaplanan *n* değeri 1,18 iken aydınlık ortamda hesaplanan değeri 1,05 olarak bulundu. Aydınlık ortamda hesaplanan idealite faktörü değerinin ideale daha yakın olduğu görüldü. Aygıtın aydınlık ortamda alınan ölçümlerden hesaplanan fotovoltajik parametreleri $V_{oc}=0,18$ V, $I_{sc}= 7,14 \times 10^{-4}$ µA olarak bulunmuştur. Ayrıca Norde ve Cheung fonksiyonuyla yapının karakteristik parametreleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırıldı. Oda sıcaklığında ve karanlıkta alınan akım-gerilim ölçümlerinden TE modeliyle

hesaplanan n ve Φ_b sırasıyla 1,18 ve 0,981 eV, Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan n değeri 6,72 ve Φ_b değeri ise 0,823 eV olarak bulunmuştur. Norde fonksiyonuyla elde edilen Φ_b değeri 0,823 eV ve R_s 9,876x10⁷Ω olarak hesaplandı. TE modeliyle hesaplanan değerler ile Cheung modeliyle hesaplanan değerler birbirinden farklı çıkmıştır. Bu farklılığın sebebi TE modeli ve Cheung Fonksiyonuyla $I-V$ grafiğinin farklı bölgeleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılması ve ara yüzey durumlarına atfedilmiştir. Aydınlik ve karanlık ortamda alınan ölçüm sonucuna göre klorofil-a tabakasının aygıtın performansını olumlu yönde etkilediği düşünülebilir. Elde edilen verilere göre klorofil-a tabakası aygıtın hem idealite faktörüne iyileştirici etkisi olmuş hem de ışıkla etkilemiştir. Sonuç olarak klorofil-a tabakasının ışığa duyarlı olduğu ve optoelektronik cihazlarda kullanmak için yeni bir malzeme olacağı düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Ismail, M. Boumedienne, and L. Lassabatere, "Schottky diode properties of Au/n-GaP (111) and (110) chemically etched surfaces," *Solid-State Electronics*, vol. 38, no. 2, pp. 497-501, 1995.
- [2] F. Lei Tan, C. L. Lee, C. Y. Chang, "Metal/n-GaP Schottky barrier heights," *Solid-State Electronics*, vol. 22, no.12, pp. 1035-1037, 1979.
- [3] H.Y. Lee, C.T. Lee, "The investigation for various treatments of InAlGaP Schottky diodes," *Optical Materials*, vol. 23, pp. 99-102. 2003.
- [4] K.W. Lin, H. Chen, C.C. Cheng, H.M. Chuang, C.T. Lu, W.C. Liu, "Characteristics of a new Pt/oxide/InGaP hydrogen-sensing Schottky diode," *Sensors and Actuators B*, vol. 94, pp. 145-151. 2003.
- [5] R.V. Ghita, V. Lazarescu, C. Logofatu, C.C. Negrila, M.F. Lazarescu, "Electrical characterization of thiols self-assembled layers on GaP (111) structure," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 11, pp. 394-397. 2008.
- [6] Y. A. Goldberg, D. N., Nasledov, "The techniques of manufacturing surface-barrier structure by chemical deposition of metals on semiconductor surface," *Pribory and Tekh. Eksp.*, pp. 207-209, 1971.
- [7] A. Queriagli, H. Kassi, S. Hotchandani, R. M. Leblanc, "Analysis of dark current-voltage characteristics of Al/chlorophyll a/Ag sandwich cells," *Journal of Applied Physics*, vol. 71. no.11 pp. 5523-5530, 1992.
- [8] S. Boussaad, S. Hotchandani, R. M.,Leblanc, "Influence of temperature on photocurrent of Al/chlorophyll a/Ag cells," *Applied Physics Letters*, vol. 63, no.13, pp. 1768-1770. 1993.
- [9] G. A. Corker, I., Lundström, "Trapped-electron doping of photovoltaic sandwich cells containing microcrystalline chlorophyll a," *Journal of Applied Physics*, vol. 49, no. 2, pp. 686-700, 1978.
- [10] C. W. Tang, A. C., Albrecht, "Photovoltaic effects of metal chlorophyll-a-metal sandwich cells," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 62, no. 6, pp. 2139-2149, 1974.

- [11] C. Coluzza, J. Almeida, T. Dell'Orto, F. Barbo, M. Bertolo, A. Bianco, S. Cerasari, S. Fontana, O. Bergossi, M. Spajer, D. Courjon, "Spatially resolved internal and external photoemission of Pt/n-GaP Schottky barrier," *Applied Surface Science*, vol. 104, pp.196-203, 1996.
- [12] E. Kabushemeyet, R. L. Van Meirhaeghe, W. H. Laflere, F. Cardon, "On the influence of a thin thermal oxide layer on MIS-type GaP Schottky diode behaviour," *Semiconductor Science and Technology*, vol. 4, no.7, pp. 543. 1989.
- [13] S. Hasiah, H.B. Senin, H. Mohamad. "Electrical Characterization Of Chlorophyll," *Journal of Sustainability Science and Management*, vol.2, no.1, pp.95-98, 2007.
- [14] F. Ş. Kaya, "Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al Yapılarının Akım–Gerilim, Kapasite–Gerilim ve Fotovoltaik Parametrelerinin Hesaplanması," Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018.
- [15] H. Norde, "A Modified Forward I-V Plot for Schottky Diodes With High Series Resistance," *Journal Applied Physics*, vol. 50, no. 7, pp. 5052-5053. 1979.
- [16] S.K. Cheung, N.W., Cheung, 1986. "Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics," *Applied Physics Letters*, vol. **58**, pp. 382.
- [17] F. Ş, Özçelik, "Akım-voltaj ölçümlerinden Ag/n-Si/Methyl-Green/Au diyotlarının karakteristik parametrelerinin hesaplanması," Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. 2013.
- [18] V. R., Reddy, "Electrical properties and conduction mechanism of an organic-modified Au/NiPc/n-InP Schottky barrier diode," *Applied Physics A*, vol. 116, pp. 1379-1387, 2014.
- [19] Ş. Karataş, A., Türüt, "The determination of electronic and interface state density distributions of Au/n-type GaAs Schottky barrier diodes," *Physica B*, vol. 381, pp. 199-203, 2006.
- [20] Orak İ. and Koçyiğit A., "The Electrical Characterization Effect of Insulator Layer between Semiconductor and Metal," *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* vol. 6, no.3, pp.57-67, 2016.
- [21] Ö. Demircioğlu, Ş. Karataş N. Yıldırım Ö. F. Bakkaloglu, A. Türüt, "Temperature dependent current–voltage and capacitance–voltage characteristics of chromium Schottky contacts formed by electrodeposition technique on n-type Si," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 509, pp. 6433-6439. 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

SCR Sistemlerinde Kullanılan Üre Mikserlerinin Akış Davranışlarının İncelenmesi

 Buğra BAŞIHOŞ^{a,*},  Suat SARIDEMİR^b

^a İmalat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bugrabasihos89@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.1291841

Öz

Günümüzde artan dünya nüfusu ile birlikte içten yanmalı motora sahip taşıtların sayıda artmaktadır. Bu nedenle taşıt egzoz emisyonu kaynaklı kirleticilerin oranı da artmaktadır. Bu zararlı emisyonların oluşturduğu çevre ve hava kirliliğinin azaltılması ve emisyon sınırlandırılması kapsamındaki normlara uyulması için, yanma sonrası emisyon kontrol sistemlerinin geliştirilmesi konularında çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda dizel motorlu araçlarda NOx emisyonlarını azaltmak için, ADblue katkı maddesi (amonyak) ve Seçici Katalitik Redüksiyon (SCR) sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. ADblue katkı maddesinin SCR sistemlerinde daha iyi karışması ve iyi sonuç alınması için üre mikseri kullanılmaktadır. Egzoz sistemlerinde geri basıncın yüksek olması, performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle SCR sistemlerinde kullanılan mikserlerin oluşturacağı geri basıncın düşük olması ve SCR sisteminin efektif çalışabilmesi için amonyak (NH₃) homojenlik indeksi (UI NH₃) değerinin yüksek olması gerekmektedir. Üre mikserlerinin kanat sayısı, kanat açısı ve kanat uzunluğu karışım oranına etki eden parametrelerdir. Bu çalışmada, öncelikle 27 farklı mikserin, geri basınca ve UI NH₃' e olan etkileri sayısal analiz yöntemiyle incelenmiştir. Parametrik çalışma için kanat uzunlukları, kanat açıları ve kanat sayıları değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Optimum mikser tasarımı için, geri basıncın 1 kPa'dan düşük olması ve UI NH₃ değerinin 0,85'ten yüksek olması hedeflenmiştir. 27 farklı mikser içinden, bu değerleri sağlayan 6 mikser prototip olarak imal edilmiş ve deneysel olarak geri basınç testleri ve UI NH₃ ölçümleri yapılarak sonuçlar doğrulanmıştır. Kanat sayısı ve uzunluğunun geri basıncı arttırdığı, ancak UI NH₃ değerine etkisinin olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: SCR, ADblue, Homojenlik indeksi, Geri basınç

Investigation of Flow Behavior of Urea Mixers Used in SCR Systems

ABSTRACT

Today, with the increasing world population, the number of vehicles with internal combustion engines is also increasing. Therefore, the proportion of pollutants caused by vehicle exhaust emissions is also increasing. Studies on the creation of post-combustion emission control systems are conducted in an effort to lessen the environmental and air pollution brought on by these harmful emissions and to conform to regulations regarding emission limitation. In this context, to reduce NOx emissions in cars with diesel engines, ADblue additive (ammonia) and Selective Catalytic Reduction (SCR) systems have been applied. To achieve superior results and improve ADblue additive mixing in SCR systems, a urea mixer is used. High back pressure in exhaust systems has a detrimental impact on performance. In order for the mixers used in SCR systems to have minimal back pressure and for the SCR system to function successfully, the ammonia (NH₃) homogeneity index (UI NH₃) value must be high. The

variables impacting the mixing ratio in urea mixers include; the quantity, angle, and length of the wings. First, using a numerical analysis method, the effects of 27 different mixers on back pressure and UI NH₃ were examined in this study. For the parametric study, the results were examined by changing the wing lengths, wing angles and wing numbers. The back pressure is aimed to be less than 1 kPa and the UI NH₃ value is intended to be greater than 0,85 for the optimal mixer design. Six of the 27 different mixers that provided these values were produced as prototypes, and the results of experimental back pressure tests and UI NH₃ measurements were confirmed. The number and length of the wings were found to increase back pressure but had no effect on the UI NH₃ value.

Keywords: SCR, ADblue, Homogeneity index, Back pressure

Geliş: 03/05/2023, Düzeltme: 19/06/2023, Kabul: 03/07/2023

I. GİRİŞ

Günümüzde ülkemiz ve dünya nüfusunun artması ile birlikte içten yanmalı motorlu taşıt sayısı da artmaktadır. Taşıt sayısındaki bu artış, içten yanmalı motorlu taşıt egzoz emisyonları kaynaklı çevre ve hava kirliliğinin artışına büyük oranda katkı sağlamaktadır. Motorlu taşıt kaynaklı hava kirliliği, motorda yanma sonrası oluşan egzoz emisyonlarının atmosfere atılmasıyla oluşmakta olup, canlı sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir [1]. İçten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtların yanmasıyla başlıca hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO_x) ve partikül madde emisyonları (PM) oluşmaktadır [2]. Benzinli motorlarda emilen hava miktarı gaz kelebeği konumuna bağlı olduğundan dolayı, HC ve CO emisyon oranları, dizel motorlara göre daha fazladır. Dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştıklarından dolayı, PM ve NO_x emisyonları benzinli motora göre daha fazladır [3]. Dizel motor veriminin, tork değerlerinin yüksek olması ve yakıt tüketim değerlerinin düşük olması, dizel motorları binek ve ticari taşıtlarda yaygın olarak kullanımını sağlamaktadır. Dizel motorlardaki kirleticilerin başlıcaları azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), kükürtlü bileşenler, hidrokarbonlar (HC), aldehitler ve partikül maddelerdir [4]. CO emisyonları, yakıt içindeki karbon tamamen yanmamasından oluşurlar. Dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştıkları için, CO emisyon oranları düşüktür. Azot oksitler, yanma odasında sıcaklığın 1800 °K'in üzerine çıktığı zaman havanın içerisindeki azot ve oksijenin kimyasal olarak birleşmesinden oluşurlar. Hidrokarbonlar, yakıtın tam yanmaması veya yakıtın buharlaşması sonucunda ortaya çıkarlar. Aldehitler, yakıt olarak kullanılan hidrokarbonların eksik yanmasının sonucudur. Partikül madde, is, yanmamış yakıt, yağ, metal, nitrat ve sülfattır. Karışım oranı ve yakıt cinsi partikül maddelerin oluşumuna sebep olmaktadır [5].

İçten yanmalı motor kaynaklı egzoz emisyonlarının belirli oranlarda tutulması amacı ile ilk düzenlemeler 1968 yılında Kaliforniya'da yapılmıştır. Bu konudaki ilk sınırlama ECE R 15 Regülasyonu ve EEC 72/220 yönetmeliği ile 1972 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde başlamıştır ve günümüzde Avrupa Birliği ülkeleri tarafından Euro normları oluşturulmuştur. Günümüzde tüm gelişmiş ve gelişme yolundaki dünya ülkelerinde, çeşitli regülasyonlarla (EEC/ECE, EPA, JIS) egzoz emisyonlarına denetimler uygulamaktadır [6]. Euro normları ile, içten yanmalı motor kaynaklı emisyonlara sınırlamalar getirilmiş olup, daha çok dizel motor kaynaklı olan NO_x emisyonlarının ve partikül madde emisyonlarının azaltılması gibi şartları da beraberinde getirmiştir. 2016 yılında AB tarafından yürürlüğe giren Euro 6 standartlarına göre, egzoz emisyonlarının sınırlandırılması gerekmektedir. Euro 6 standartlarına göre, dizel motorlarda yanma verimini düşürmeden özellikle Azotoksit (NO_x) emisyonlarının sınırlandırılması gerekmektedir. Bu standart, egzoz sistemine bir seçici katalitik indirgeme (SCR) sistemi ile egzoz gazı akışına özel bir üre-su çözeltilisi (UWS) veya Adblue çözeltilisinin enjekte edilmesi ile sağlanmıştır. Seçici katalitik indirgeme sistemleri, NO_x emisyon oranlarını azaltmak için teknik olarak geliştirilmiş, motor performansını ve verimini düşürmeden yanma sonrası uygulanabilen bir sistemdir [7]. Bu üre suyu çözeltilisinin NO_x emisyon oranlarını azaltmak için, egzoz gazı ile uygun bir şekilde karışması gerekmektedir [8]. Üre ayrışması üç aşamada gerçekleşir: ilk olarak üre su çözeltilisinden buharlaştırılır, ikinci olarak üre piroliz

reaksiyonu meydana gelir ve üçüncü olarak üre izosiyonik asit (HNCO) ve amonyağa (NH₃) ayrışır [9]. Amonyak indirgeyici bileşen olarak kullanılabilir fakat zehirli yapısı ve depolanamaz oluşu kullanım zorluğu oluşturmaktadır [10].

SCR sistemlerinde mikser, SCR katalizörünün girişinde püskürtülen ürenin homojen bir dağılım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Mikserler genellikle susturucu giriş borusunda ya da SCR katalizörünün belli bir mesafe önünde bulunurlar ve püskürtülen ürenin SCR katalizörünün tüm kanallarına ulaşmasını sağlamaktadırlar. SCR sisteminde, püskürtülen ürenin akış hacmi içerisinde homojen yayılmasını sağlayacak şekilde mikser tasarımı önem arz etmektedir. Literatürde, mikser tasarımının homojenlik indeksine (UI NH₃) ve geri basınca olan etkilerinin incelendiği farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Padula ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, altı kanatlı kılıç tip mikser ve 53 delikli mikserin UI NH₃ ve geri basıncına olan etkilerini incelenmiştir. Altı kanatlı kılıç tip mikserin, delikli yapıli mikserlere göre daha iyi UI NH₃ verdiği ve yüzey alanları birbirine yakın oldukları için geri basınç değerlerinin de birbirine çok yakın olduğu belirtilmiştir. Ayrıca enjekte edilen amonyağın kütleli büyüklüğünün, UI NH₃'e etkisinin çok az olduğunu gözlemlemişlerdir [11]. Taewha ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, SCR sistemlerinde mikser kullanımının, amonyak homojenlik indeksine (UI NH₃) etkisini mikserli ve miksersiz modelleri ile kıyaslamıştır. Mikser kullanılan SCR sistemlerinde UI NH₃ dağılımını, miksersiz modele göre büyük ölçüde iyileştirdiğini sayısal analiz yöntemleri ile tespit etmişlerdir [12]. Jeong ve arkadaşları SCR katalizörü ile üre enjektörü arasında kısa bir mesafe olmasından dolayı enjeksiyon açısı, enjektörün konumu ve enjeksiyon deliklerinin sayısının SCR katalizörü girişindeki amonyak dönüşüm oranı ve amonyak homojenlik dağılımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada; 60° ile 120° arasında üre enjeksiyonunun hem NH₃ dönüşüm oranının hem de maksimum NH₃ homojenlik indeksi verdiğini, 75° üre enjeksiyonu homojenlik endeksi için en yüksek sonucu ve 90° üre enjeksiyonu en yüksek NH₃ dönüşüm oranını verdiğini belirtmişlerdir. Püskürtülen ürenin konumunun SCR katalizörüne girmeden önce, kullanılan boru çapının en az 3 katı olması en yüksek %90 NH₃ homojenlik indeksini vermiştir [13]. Choi ve arkadaşları mikserin UI NH₃'e olan etkilerini incelemek için up-down tip mikser, girdap tip mikser, kısmi girdap tip mikser ve miksersiz olarak CFD analizleri çalışmaları yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada mikser kullanımının NH₃ homojenlik indeksini ciddi anlamda iyileştirdiğini ve en yüksek sonuçları girdap tipi mikser verdiğini görmüştür [14]. Mehdi ve arkadaşları girdap tip mikser, çizgi tip mikser ve ikisini arka arkaya kullanarak (hem girdap hem çizgi tip) sayısal analiz çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada çizgi tip mikserin UI Hız değerinin girdap tip mikserlere göre daha iyi sonuç verdiğini, girdap tip mikserin UI NH₃ değerinin çizgi tip mikserlere göre daha iyi sonuç verdiğini ve iki mikserinde arka arkaya kullanılması durumunda hem UI Hız değerinin hem de UI NH₃ değerinin tek mikser kullanıma göre daha iyi sonuç verdiğini yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmalarda görmüşlerdir [15]. Tan ve arkadaşları 45° açılı ve 8 kanata sahip mikserin üre dönüşüm oranına etkisini, üre karışım oranı ve UI NH₃ performansına etkilerini; miksersiz, tek mikser ve çift mikser kullanarak analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çift mikser kullanmanın en iyi performans verdiğini ve karışım oranının mikser konumundan uzaklaştıkça arttığını belirtmişlerdir [16]. Zhu ve arkadaşları dört farklı tip mikserin egzoz gazı akışına ve SCR performansına etkilerini analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada merkezi kavisli mikser, konik yelpazeli mikser, düzenli yukarı aşağı tip mikser ve düzensiz yukarı aşağı tip mikseri incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda mikserlerin geri basınca, UI NH₃'e ve UI Hız 'a olan etkilerini değerlendirmiş ve mikser kullanımının UI NH₃'e faydalı olduğunu ancak geri basınç oluşturduğunu ve mikserlerin akış girdaplarının SCR sistemlerinde performansı değiştirdiğini belirtmişlerdir [17]. Sung ve arkadaşları miksersiz, karışım çemberi, mikser ve karışım çemberi ile beraber mikser kullanımının SCR sistemlerindeki performansını deneysel ve analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada karışım çemberi ve mikseri bir arada kullanınca en iyi performans aldıklarını görmüşlerdir. Ancak bunun geri basınca etkisi olumsuz olduğundan dolayı, geri basınç açısından da değerlendirmesi gerektiğini belirtmişlerdir [18]. Hakkı ve arkadaşı, mikser kullanımının SCR sistemleri kullanılan egzoz sisteminde akışa etkilerini deneysel ve analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada vana tipi mikser kullanmışlardır. Bir egzoz hattına mikserden belirli bir uzaklıkta iki pencere açıp, üre enjektöründen püskürtülen ürenin mikserden sonraki hareketlerini

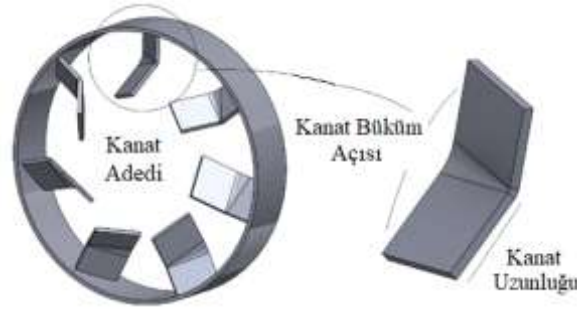
incelemişlerdir. Analiz çalışmalarında ise tetra ve holy mesh tiplerinin farklarını inceleyip, k-ε akış modelinde holy mesh tipinin daha doğru sonuç verdiğini ifade etmişlerdir [19]. Schiffmann ve arkadaşları, dört farklı tasarımlı mikserin deneysel yöntem ile oluşturdukları geri basınca ve UI NH₃ değerlerine bakmışlardır. Deneylerinde kılıç mikser, difüzör tip mikser, iki elemanlı mikser ve ters iki elemanlı mikser tipini kullanmışlardır. Bir hassas kamera ve optik düzenleyici ile görüntüleri yakalayan Philipp Schiffmann ve arkadaşları hesapları bu yöntem ile gerçekleştirmiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda debi değeri yükseldikçe mikserlerin oluşturduğu geri basınç değeri artmış ve en az geri basıncı kılıç tipi mikserde elde etmişlerdir. UI NH₃ değeri debiye bağlı fazla değişime uğramamış ve en iyi sonucu difüzör tip mikserde elde etmişlerdir [20].

Bu çalışmada, öncelikle 27 farklı mikserin, geri basınca ve UI NH₃'e olan etkileri sayısal analiz yöntemiyle incelenmiştir. Parametrik çalışma için kanat uzunlukları, kanat açıları ve kanat sayıları değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Optimum mikser tasarımı için, geri basıncın 1 kPa'dan düşük olması ve UI NH₃ değerinin 0,85'ten yüksek olması hedeflenmiştir. 27 farklı mikser içinden, bu değerleri sağlayan 6 mikser prototip olarak imal edilmiş ve deneysel olarak geri basınç testleri ve UI NH₃ ölçümleri yapılarak sonuçlar doğrulanmıştır. Kanat sayısı ve uzunluğunun geri basıncı arttırdığı, ancak UI NH₃ değerine etkisinin olmadığı görülmüştür.

II. MATERYAL VE METOD

A. AKIŞ ANALİZLERİ MODELİ

SCR sistemlerinde kullanılan mikserlere ait akış özellikleri kanat sayısı, kanat uzunlukları ve kanat açılarına göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kanat sayıları, kanat açıları ve kanat uzunlukları değiştirilerek mikserlerin akış özelliklerinin değişimi analiz yöntemiyle incelenmiştir. Akış analizleri tek fazlı akış analizleri ve çift fazlı akış analizleri olarak iki kısımda incelenmiştir. Mikser analiz parametreleri Şekil 1'de verilmiştir.

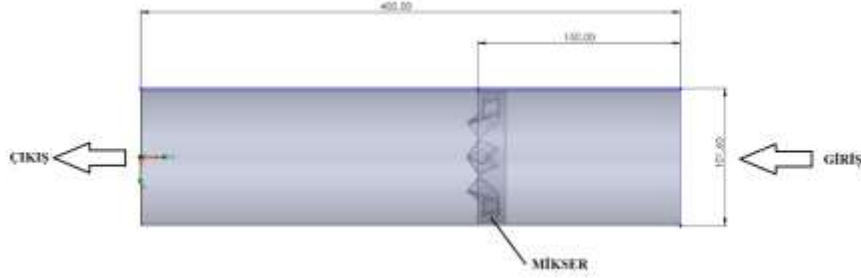


Şekil 1. Mikser analiz modeli.

Mikser tasarımı esnasında, deneysel çalışmalar yapılmadan önce mikserlerin oluşturacağı geri basınç ve UI NH₃ değerlerinin görülmesinde sayısal çalışmalar büyük önem teşkil etmektedir. Tek fazlı akış analizlerinde mikserlerin oluşturduğu geri basınç değerine bakılacak, çift fazlı akış analizlerinde ise püskürtülen ürenin boru kesitinde homojen dağılımı incelenecektir. Püskürtülen ürenin geri basınca etkisinin ihmal edilebilecek kadar az olduğundan dolayı tek fazlı akış analizi modellerine üre deliği modellenmemiştir ve çift fazlı akış analizlerinde ürenin dağılımına bakılacağı için çift fazlı akış analizli modeline dahil edilmiştir. Mikserlerin kanat uzunlukları 14, 18 ve 22 mm, kanat sayıları 6, 7 ve 8, kanat açıları 30°, 45° ve 60° olarak belirlenmiştir.

A. 1. Tek Fazlı Akış Analizleri

Tek fazlı akış analizleri kapsamında, mikserlerin geri basınca olan etkileri, Solidworks Flow Simulation programı ile analiz edilmiştir. Akış modelini oluşturmak için model Solidworks programı ile, CFD analizine uygun bir şekilde çizilmiştir. Tek fazlı akış analizi için mikserlerin kullanıldığı boru çapı ölçüleri Şekil 2’de verilmiştir. Mikserli borunun toplam uzunluğu, 400 mm olacak şekilde modellenmiştir. Mikser borunun girişinden 150 mm uzaklığa konumlandırılmıştır. Tek fazlı akış modelinde, üre püskürtülmesi dikkate alınmamış olup sadece giriş tarafından egzoz gazı akışı dikkate alınmıştır. Üre enjektörü için açılan delik çapının küçük olması, akış sonuçlarını etkilemeyeceği için, üre enjektörü deliği tek fazlı akış modeline eklenmemiştir.



Şekil 2. Mikser tek fazlı akış analiz modeli.

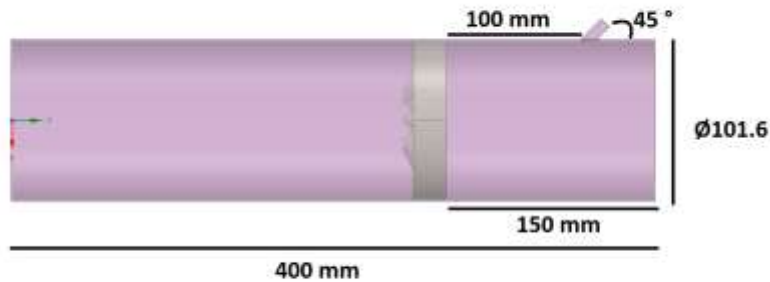
Tablo 1. Tek fazlı akış analizi sınır koşulları.

Akışkan	Giriş Kütleli Debi (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Akış Modeli	Çıkış Açık Hava Basıncı (Pa)
Hava	380	650	Türbülanslı	101325

Tablo 1’de tek fazlı akış analizi için sınır koşulları verilmiştir. Giriş tarafına 380 kg/h kütleli debi tanımlanmış, akışkan malzeme hava olarak tanımlanmış ve sıcaklığı 650 °C olarak belirlenmiştir. Akış modeli olarak türbülanslı akış seçilmiş ve çıkış tarafına açık hava basıncı tanımlanmıştır.

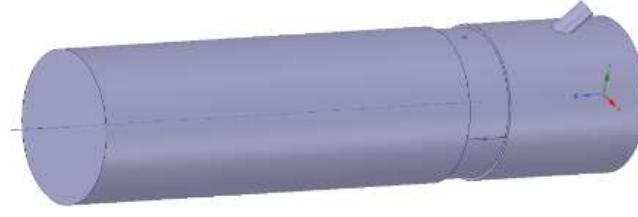
A. 2. Çift Fazlı Akış Analizleri

Çift fazlı akış analizleri kapsamında, mikserlerin kanat sayıları, kanat açıları ve kanat uzunlukları UI NH₃’e olan etkileri, Ansys Workbench programı kullanılarak incelenmiştir. Çift fazlı akış modelini oluşturmak için, model Solidworks programı ile CFD analizine uygun bir şekilde çizilmiştir. Çift fazlı akış analizi için mikserlerin kullanıldığı boru çapı ölçüleri Şekil 3’te verilmiştir. Mikser, borunun girişinden 150 mm uzaklığa konumlandırılmıştır. Çift fazlı akış modelinde ikinci faz akış için ürenin püskürtüleceği bölge modele eklenmiştir. UI NH₃ dağılımına ve değerine mikserden en uzak olan düzlemde bakılmıştır. Ürenin püskürtüleceği bölge, mikserden 100 mm öteye konumlandırılmıştır (Şekil 3).



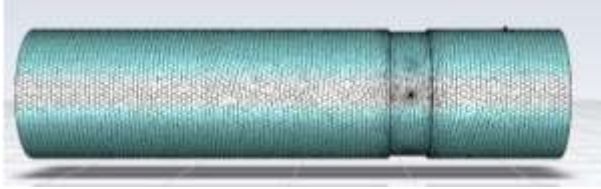
Şekil 3. Mikser çift fazlı akış analiz modeli.

Şekil 4’te model hazırlandıktan sonra çıkarılan çift fazlı akış hacmi (cavity) modeli verilmiştir. Ansys akış analizlerinde, cavity ile çözümlene yapılabilmektedir.

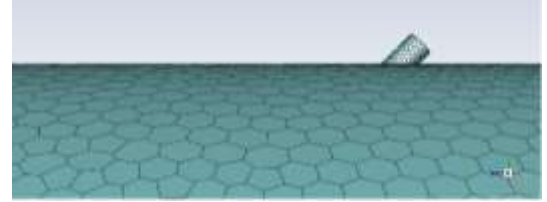


Şekil 4. Çift fazlı akış cavity modeli.

Bu çalışmada daha hassas mesh atabilmek ve daha hassas sonuçlar alabilmek için fluent with fluent meshin modülü ile çalışma yapılmıştır. Meshleme metodu olarak poly-hexcore mesh metodu kullanılmıştır. Çıkarılan cavity için yaklaşık 12 milyon adet mesh kullanılmıştır. Şekil 5’te Poly-hexcore mesh görünümü verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5. (a) Poly-hexcore mesh görünümü genel. (b) Poly-hexcore mesh görünümü detayı.

Tablo 2. Çift fazlı akış analizi sınır koşulları.

Faz 1	Giriş Debi (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Multi Phase	Mechanism	Çıkış Açık Hava Basıncı (Pa)
Hava	380	650	Volume of Fluid (Serbest Yüzey Modelleme)	Vof to Dpm	101325
Faz 2	Üre Püskürtme Hızı (m/sn)	Üre Sıcaklığı (°C)	Injection Type	Discrete Phase	
Üre	60	23	Cone	On	

Tablo 2’de çift fazlı akış sınır koşulları verilmiştir. Faz 1 akışkan malzemesi olarak egzoz gazına en yakın özellikleri taşıyan hava, faz 2 akışkan malzemesi olarak üre, egzoz gazı debisi 380 kg/h, sıcaklık 650 °C, üre sıcaklığı 23 °C olarak girilmiştir. Mikserli SCR sistemleri Stage-V ve Euro 5 normları ve daha yüksek seviye emisyon normlarını elde etmek için kullanılmaktadırlar. Seçilen sınır koşul değerleri, Stage-V ve Euro 5 normlarını sağlamakla birlikte, ülkemizde traktör üreticilerinin sıkça kullandığı bir motorun egzoz gazı çıkış değerleri ile aynıdır.

B. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tek fazlı ve çift fazlı akış analizlerinin doğrulanması amacıyla yapılan geri basınç ve UI NH₃ değerleri deneysel olarak da elde edilmiştir.

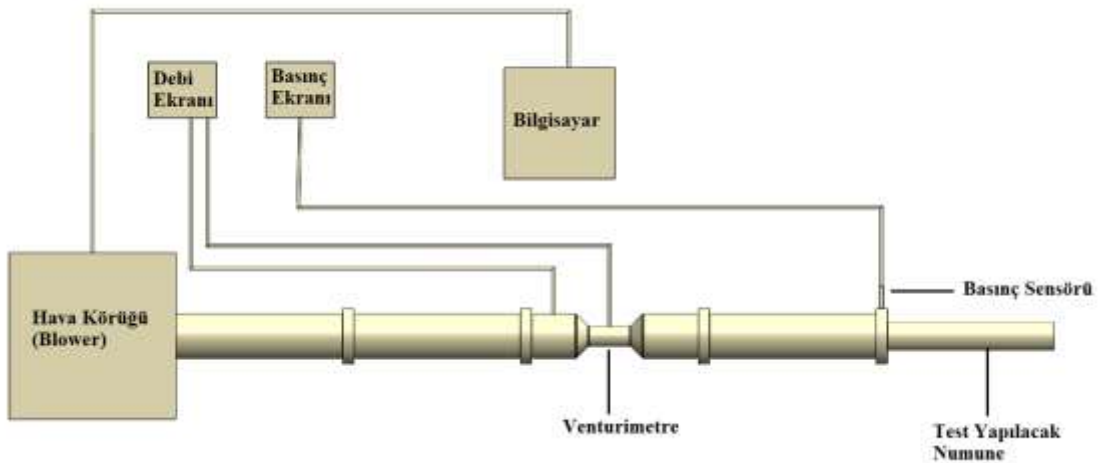


Şekil 6. Deneysel olarak kullanılan mikserlerin resimleri.

Şekil 6'da geri basınç ve UI NH₃ testlerinde kullanılacak mikserlerin görselleri verilmiştir. Mikserler lazer tezgahında kanatları açınım olarak kesilmiş, borularının çentikleri lazer tezgahında açılmış ve abkant tezgahında kanat açıları verilmiştir. Kanatlar boru yüzeylerindeki çentiklere kaynatılarak imal edilmiştir. Kanatların ölçüsel olarak kontrolleri yapılmış ve analiz modeli ile bire bir uyduğu görülmüştür.

B.1. Geri Basınç Deneyleri

Egzoz sistemleri egzoz gazının akışı sırasında belirli bir direnç yaratırlar, bu direnç geri basınç olarak adlandırılmaktadır ve motor üreticileri, ürettikleri motorun maksimum debi ve egzoz gazı sıcaklığında aşılmaması gereken bir geri basınç limiti belirlerler. Bu değeri egzoz sistemi tasarlarken geçmemek gerekmektedir. Geri basınç ölçümü yaparken istenilen hava debisini elde etmek için hava körüğü (blower) kullanılmıştır. Kullanılan hava kaynağı frekans değiştiricisi ve bilgisayar yardımı ile devir sayısı ayarlanarak akış hızları ayarlanmıştır. Bilgisayar ile devir sayıları birer kademe artırılarak her kademe için kayıtlar alınmıştır. Alınan kayıtlar doğrultusunda debi-geri basınç grafiği elde edilmiştir. Şekil 7'de geri basınç test düzeneği verilmiştir.



Şekil 7. Geri basınç test düzeneği şeması.

Akış sırasında kütleli debinin hesaplanması için sisteme uygun venturimetre tasarlanmıştır. Ventürimetreler çalışma prensibi olarak gelen akış geniş kesit alanından, dar kesit alanına geçer ve

kesit alanı farklılarından dolayı basınç değişimi oluşur. Kütleli debi; oluşan basınç farkı değerlerine bağlı olarak Eşit.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \epsilon \frac{\pi}{4} d_b^2 \sqrt{2\Delta P_V} \rho_1 \quad (1)$$

Bu eşitlikte geçen q , m , C , β , ϵ , d_b , ΔP_V , ρ_1 terimleri sırası ile kütleli debiyi, boşaltım katsayısını, küçük çapın büyük çapa oranını, genişleme faktörünü, boğaz çapını, ventürimetrede ölçülen basınç farkını ve girişteki yoğunluğu ifade etmektedir.

Borunun giriş çapı ve girişteki yoğunluk değeri kullanılarak, kütleli debi yardımı ile akış hızında hesaplanabilmektedir. C ile ifade edilen boşaltım katsayısı ventürimetrede ki basınç kayıpları, ϵ ile ifade edilen genişleme faktörü ise havanın özelliklerinin değişmesine bağlı olan katsayıdır. Bu değerler ventürimetrenin geometrisine, akışkanın özelliklerine bağlıdır ve standartlara göre deneysel yollarla elde edilen ifadeler esas alınarak belirlenmiştir. Şekil 8’de geri basınç test düzeneği resmi verilmiştir.



Şekil 8. Geri basınç test düzeneği resmi.

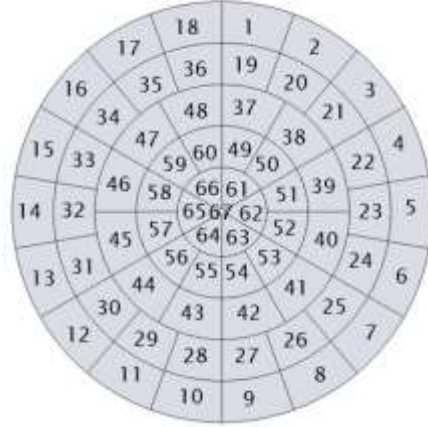
B.2. UI NH₃ Ölçüm Deneyleri

Şekil 9’da UI NH₃ ölçümü için kurulan test düzeneği verilmiştir. UI NH₃ ölçüm düzeneği bir dizel motor yardımı ile çalışmaktadır. Bu motor ile, akış analizlerinde kullanılan egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz gazı debisi karşılanmaktadır. Motorun egzoz manifoldu çıkışına ölçümü yapılacak olan mikserli egzoz hattı yerleştirilmiştir. Üre enjektörü çift fazlı akış analizleri ile aynı olması için mikserden 100 mm öncesine 45° açı ile konumlandırılmıştır.



Şekil 9. UI NH₃ ölçüm test düzeneği resmi.

SCR sistemlerinde mikser SCR katalizöründen önce kullanıldığı ve püskürtülen ürenin akış içerisinde her yere eşit dağılması gerektiği için ölçümü tek bir noktadan yapmak sonuçlarda hataya neden olur. Bu çalışmada egzoz borusu içerisine püskürtülen ürenin mikserden sonra boru kesiti üzerinde her yere ulaşip ulaşmadığını görmek için NH₃ sensörü ile, pitot tüpü yardımıyla toplamda 67 noktadan ölçüm yapılmıştır. Bu noktalar Şekil 10'da gösterildiği gibi, pitot tüpünün borunun en dış yüzeyinden merkezine doğru 10' ar mm hareket ettirilerek, 20° farka sahip 18 farklı noktanın seçimi ile elde edilmiştir.



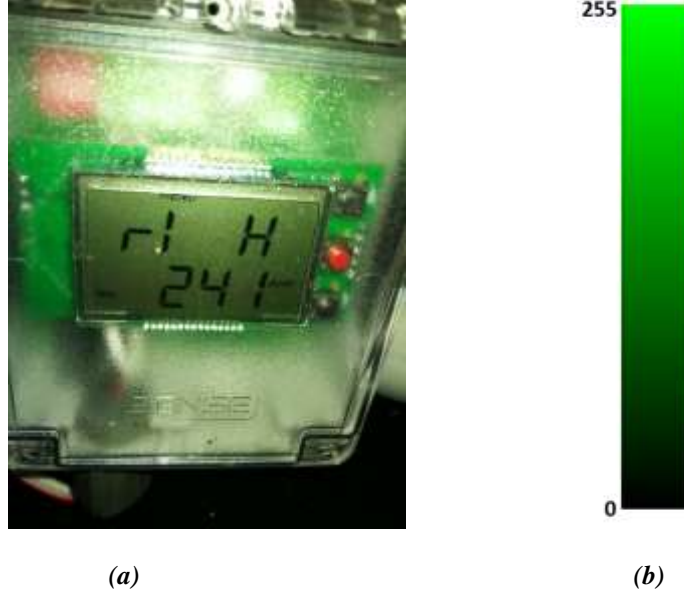
(a)



(b)

Şekil 10. (a) NH₃ ölçüm noktaları ve (b) Pitot tüpü ve cetveli.

Numaralandırılan 67 noktadan pitot tüpünün cetveli ve dijital açı ölçer ve Sense marka yüksek hassasiyetli NH₃ ölçüm sensörü yardımı ile ölçüm yapılmıştır. NH₃ ölçüm sensörü, NH₃ miktarına göre 0 ile 255 arasında değer vermektedir. Bunun için 0 ile 255 arası renk skala cetveli oluşturulmuştur. Şekil 11'de örnek ölçüm fotosu ve renk skalası verilmiştir.



Şekil 11. (a) Örnek ölçüm fotosu ve (b) Renk skalası.

Ölçülen 6 mikserin ölçüm kayıtları Solidworks çizim programı yardımıyla renk kodları olarak girilerek modelde noktaların yüzeyleri boyanmıştır.

UI NH₃ değerini hesaplamak için 0 değeri 0 ve 255 değeri 100 kabul edilmiştir. Noktaların yüzey alanları farklı olduğu için ağırlıklı ortalama alınarak UI NH₃ değeri Eş. 2 kullanılarak yüzdesel olarak hesaplanmıştır.

$$UI NH_3 = \frac{\sum(YA \times \ddot{O}D)}{TYA} \times \frac{100}{255} \quad (2)$$

Eş. 2’de YA, ÖD, TYA sırasıyla ölçüm alınan noktanın bulunduğu yüzeyin alanı, ölçüm değeri ve toplam yüzey alanını ifade etmektedir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

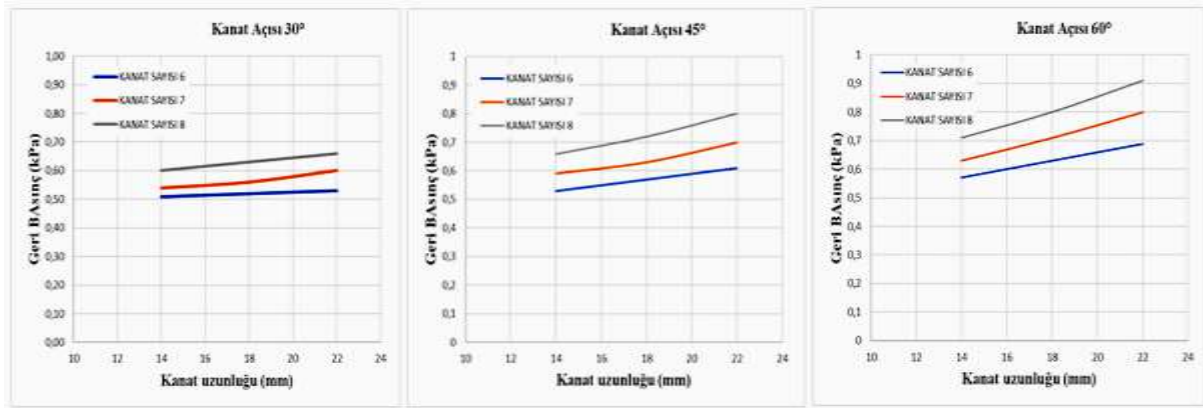
Kanat sayılarının, kanat açılarının ve kanat uzunluklarının mikser performansını belirleyen geri basınç ve UI NH₃’e olan etkileri analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Tablo 3’te analiz sonuçlarına göre elde edilen tek fazlı ve çift fazlı akış değerleri verilmiştir. Geri basınç değerleri tek fazlı akış analizlerinden, UI NH₃ sonuçları çift fazlı akış analizlerinden elde edilmiştir.

Tablo 3. Tek fazlı ve çift fazlı akış analizleri sonuçları.

Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)	Geri Basınç Sonuçları (kPa)	UI NH₃ Sonuçları
Mikser 1	6	30	14	0,51	0,919
Mikser 2	6	30	18	0,52	0,939
Mikser 3	6	30	22	0,53	0,908
Mikser 4	6	45	14	0,53	0,886
Mikser 5	6	45	18	0,57	0,910
Mikser 6	6	45	22	0,61	0,926

Mikser 7	6	60	14	0,57	0,941
Mikser 8	6	60	18	0,63	0,865
Mikser 9	6	60	22	0,69	0,902
Mikser 10	7	30	14	0,54	0,916
Mikser 11	7	30	18	0,56	0,927
Mikser 12	7	30	22	0,60	0,933
Mikser 13	7	45	14	0,59	0,897
Mikser 14	7	45	18	0,63	0,902
Mikser 15	7	45	22	0,70	0,948
Mikser 16	7	60	14	0,63	0,838
Mikser 17	7	60	18	0,71	0,846
Mikser 18	7	60	22	0,80	0,851
Mikser 19	8	30	14	0,60	0,914
Mikser 20	8	30	18	0,63	0,924
Mikser 21	8	30	22	0,66	0,929
Mikser 22	8	45	14	0,66	0,872
Mikser 23	8	45	18	0,72	0,890
Mikser 24	8	45	22	0,80	0,883
Mikser 25	8	60	14	0,71	0,859
Mikser 26	8	60	18	0,80	0,873
Mikser 27	8	60	22	0,91	0,915

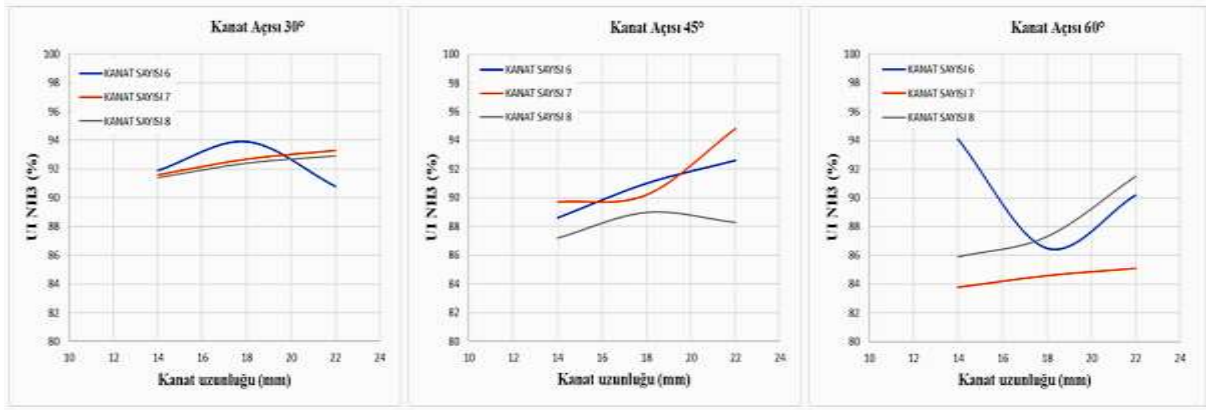
Analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre, Şekil 12’de, mikserlerin 30°, 45° ve 60° kanat açıları için, kanat sayılarına ve kanat uzunluğuna bağlı olarak değişen geri basınç değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 12. Mikserlerin 30°, 45° ve 60° kanat açıları için, kanat sayılarına ve kanat uzunluğuna bağlı olarak değişen geri basınç değerleri.

Şekil 12’de görüldüğü gibi, tüm kanat açısı değerleri için geri basınç değerleri, kanat sayısı ve kanat uzunluğu ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu durum kanat sayısı, kanat açısı ve kanat uzunluğunu artırmanın, yüzey alanındaki kapalı alan oranını artırmasından kaynaklanmaktadır. Boru içerisindeki kapalı alan oranının artması, geri basınç değerini artırmaktadır. 30° kanat açısı ile en küçük geri basınç değerleri elde edilir iken, 60° kanat açısı ile en büyük geri basınç değerleri elde edilmiştir. Bu durum kanat açıları yükseltildikçe, mikserin borunun kesitinde oluşturduğu kapalılık oranı arttırdığından kaynaklanmaktadır.

Şekil 13’te analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre mikserlerin 30°, 45° ve 60° kanat açıları için, kanat sayılarına ve kanat uzunluğuna bağlı olarak değişen UI NH₃ değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



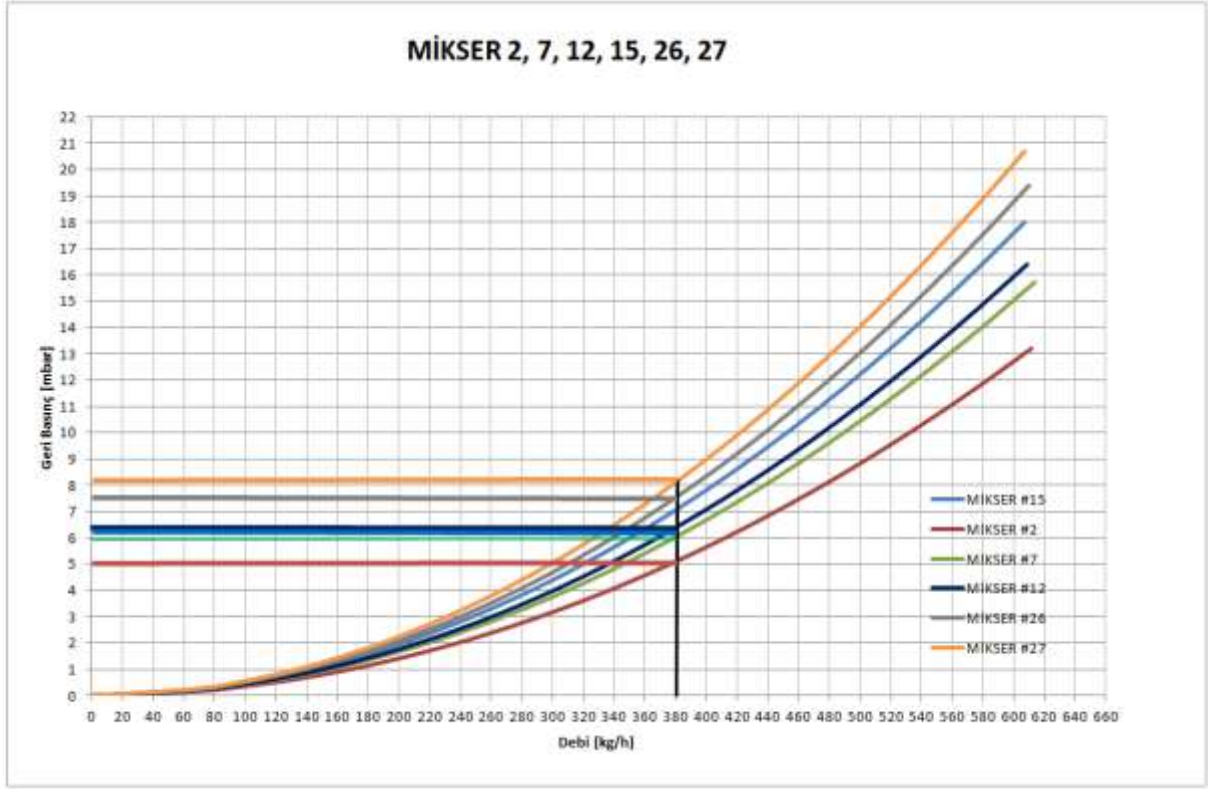
Şekil 13. Mikserlerin 30°, 45° ve 60° kanat açıları için, kanat sayılarına ve kanat uzunluğuna bağlı olarak değişen UI NH₃ değerleri.

Şekil 13'te görüldüğü gibi, mikserin 30° kanat açısı için 7 ve 8 kanatlı mikserlerde, UI NH₃ değerinin kanat uzunluğuna bağlı olarak yükseldiği, 6 kanatlı mikserde ise, UI NH₃ değerinin 18 mm kanat uzunluğuna kadar yükseldiği ve 18 mm'den sonra düşüşe geçtiği görülmektedir. Mikserin 45° kanat açısı için, 6 kanatlı mikser için kanat uzunluğu arttıkça UI NH₃ değerinin yükseldiği, 7 kanatlı mikserin UI NH₃ değerinin 18 mm kanat uzunluğuna kadar yaklaşık aynı olduğu, 18 mm'den sonra ise yükseldiği, 8 kanatlı mikserde ise UI NH₃ değerinin 18 mm kanat uzunluğuna kadar yükseldiği ve 18 mm'den sonra düşüşe geçtiği görülmektedir. Mikserin 60° kanat açısı için, 7 ve 8 kanatlı mikserler için kanat uzunluğu arttıkça UI NH₃ değerinin yükseldiği, 6 kanatlı mikser için ise 18 mm kanat uzunluğuna kadar UI NH₃ değerinin düştüğünü ve 18 mm'den sonra yükselişe geçtiği görülmüştür. 30 ve 60 kanat açısı için 6 kanatlı mikserdeki görülen kanat uzunluğuna bağlı UI NH₃ değerlerindeki değişimlerin, dairesel hareketle kendi eksenini etrafında dönen egzoz gazı hareketlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Optimum mikser tasarımı için, geri basıncın 1 kPa'dan düşük olması ve UI NH₃ değerinin 0,85'ten yüksek olması hedeflenmiştir. 27 farklı mikser içinden, bu değerleri sağlayan 6 mikser prototip olarak imal edilmiş ve deneysel olarak geri basınç testleri ve UI NH₃ ölçümleri yapılarak sonuçlar doğrulanmıştır. Tablo 4'te analizi yapılan 27 farklı mikser içinden seçilen 6 mikserin tek fazlı akış analizlerinden elde edilen geri basınç sonuçları ile deneysel yöntemle elde edilen geri basınç sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. Tek fazlı analiz ve geri basınç test sonuçları.

Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)	Geri Basınç Analizi (kPa)	Geri Basınç Deneyi (kPa)
Mikser 2	6	30	18	0,52	0,50
Mikser 7	6	60	14	0,57	0,60
Mikser 12	7	30	22	0,60	0,64
Mikser 15	7	45	22	0,70	0,72
Mikser 26	8	60	18	0,80	0,76
Mikser 27	8	60	22	0,91	0,82



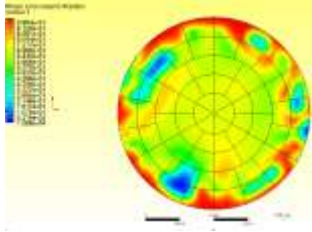

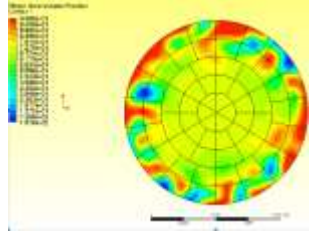
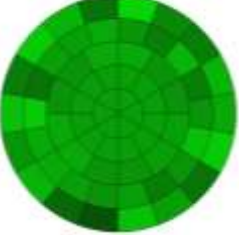
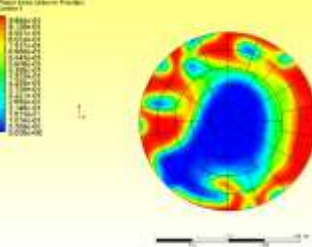

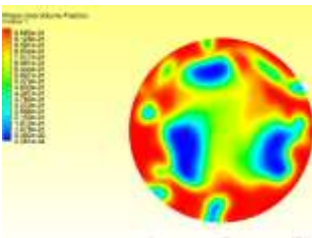
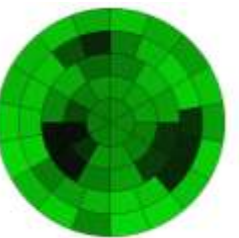
Şekil 14. Geri basınç deney sonuçları

Şekil 14’de geri basınç deneyleri yapılan 6 mikserin geri basınç grafikleri görülmektedir. Tablo 4’te, analiz ve test sonuçları çok yakın çıktığı görülmektedir. Geri basınç eğrisi ve analiz koşullarındaki girdilere denk gelen geri basınç değerlerine bakıldığında, en yüksek geri basıncı 27 numaralı mikser oluşturmaktadır. Kanat sayısı, kanat açısı ve kanat uzunluğu düşürüldükçe geri basınç değeri düşmektedir.

Tablo 5’te UI NH₃ deney ve analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. UI NH₃ analiz ve deney sonuçları.

Mikser	UI NH ₃ Analiz Görseli	UI NH ₃ Analiz Değeri	UI NH ₃ Deney Görseli	UI NH ₃ Deney Sonucu
Mikser 2		0,939		0,915
Mikser 7		0,941		0,920

Mikser 12		0,933		0,908
Mikser 15		0,948		0,924
Mikser 26		0,873		0,857
Mikser 27		0,915		0,898

Yapılan çalışmalarda analiz ve deney sonuçlarının birbiri ile uyum sağladığı görülmüştür. En düşük geri basınç değerini Mikser 1 vermesine karşılık, en yüksek UI NH₃ değerini Mikser 15 vermiştir. Bu sonuçlara göre en ideal olan mikserin, hem geri basınç olarak yüksek değer vermemesi hem de UI NH₃ değeri olarak yüksek performans sergilemesi nedeni ile Mikser 15 olduğu görülmüştür.

IV. SONUC

Çalışmada farklı mikserlerin, geri basınca ve UI NH₃'e olan etkileri sayısal analiz ve deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Parametrik çalışma için kanat uzunlukları, kanat açıları ve kanat sayıları değiştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Mikserler egzoz sistemlerinin toplam geri basınçlarına direkt etki ettiğinden dolayı, komple sistemin izin verdiği geri basınç limitini aşmamak ve aynı zamanda en yüksek UI NH₃ değerini yakalamak için mikser tasarımı yaparken motor üreticisinin vereceği limitleri göz önünde bulundurmamak gerekmektedir. Bu çalışmada, SCR sistemlerinde kullanılan mikserlerin kanat sayıları, kanat açıları ve kanat uzunlukları değiştirilerek mikser tasarımının geri basınca ve UI NH₃'e olan etkileri akış analizleri ile ve deneysel olarak incelenmiştir. Kanat sayısı, kanat açısı ve kanat uzunlukları değiştirilerek farklı mikser tasarımları yapılmıştır. Bu kapsamda 6,7, 8 kanat sayılı, 30°, 45°, 60° kanat açılı ve kanat 14, 18, 22 mm kanat uzunluklu mikserler tasarlanmıştır.

Analiz ve deney sonuçlarına göre, kanat sayısının, kanat açısının ve kanat uzunluklarının artması mikser geri basınçını artırdığı görülmüştür. Kanat sayısı 6, kanat açısı 30° ve kanat uzunluğu 14 mm olan

Mikser 1 geri basınç değeri olarak 0,51 kPa, kanat sayısı 8, kanat açısı 60° ve kanat uzunluğu 22 mm olan Mikser 27 geri basınç değeri olarak 0,91 kPa vermiştir.

7 kanatlı mikserlerin genel olarak en iyi UI NH₃ performansı verdiği görülmüştür. Kanat sayısı 7, kanat açısı 45° ve kanat uzunluğu 22 mm olan Mikser 15'in en iyi UI NH₃ değerini (0,948) verdiği görülmüştür.

Oluşturdukları geri basınç ve UI NH₃ değeri açısından bakıldığında en optimum mikser, en yüksek UI NH₃ ve ortalama geri basınç oluşturmasından dolayı Mikser 15 olduğu görülmüştür. Geri basınç olarak düşük sonuç veren (0,52 kPa) ve UI NH₃ değeri olarak yüksek (0,939) bulunan Mikser 2'inde performans olarak iyi sonuç verildiği görülmektedir.

Bu çalışma farklı mikser tasarımlarının geri basınç ve UI NH₃ üzerindeki etkilerini incelemekte ve sonuçlarını sunmaktadır. Gelecekte bu çalışmayı ilerletmek ve daha kapsamlı hale getirmek için; farklı parametrelerin (kanat şekli, kanat aralıkları gibi.) etkisi incelenebilir, daha fazla mikser parametresi ile daha kapsamlı sonuçlar elde ederek, daha fazla deneysel veriler toplanarak çalışma kapsamı genişletilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Ayhan Vezir, "Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun NO_x ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [2] Yunus Özkan, "Farklı özellikteki duvar akışlı dizel partikül filtrelerinin basınç kaybına etkilerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2016.
- [3] Cem Soruşbay, Egzoz gazları emisyonu, *Ders Notları*, İstanbul, 2015.
- [4] A. Keskin, S. Sağıroğlu, "Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri," *Mühendis ve Makina*, c. 51, sayı 606, ss. 1-8, 2010.
- [5] A. Keskin, "Dizel motorlarından partikül madde emisyon kontrolü ve gelişmeler," 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, IATS 2009, Karabük, Türkiye, 2009, ss. 1-7.
- [6] T. V. Johnson, "Diesel emission control in review." *Journal Of Fuels and Lubricants*, c. 116, sayı 4, ss. 76-87, 2007.
- [7] P. Schiffmann, M. Lecompte, O. Laget, "Experimental Investigation of Novel Ammonia Mixer Designs for SCR Systems," *IFP Energies Nouvelles*, SAE Technical Paper, United States, ISSN 0148-7191, 2018.
- [8] G. Mehdi, S. Zhou, Y. Zhu, A. Shah, K. Chand, "Numerical Investigation of SCR Mixer Design Optimization for Improved Performance," *Processes*, c. 7, sayı 3, ss. 168-177, 2019.
- [9] C. Zhao, D. Lou, Y. Zhang, K. Lu, S. Liu, "Application Study on a New Hybrid Canning Structure of After-Treatment System for Diesel Engine," *Energies*, c. 12, sayı 6, ss. 733-746, 2020.
- [10] C. Zhang, C. Sun, M. Wu, K. Lu, "Optimisation design of SCR mixer for improving deposit performance at low temperatures," *Fuel*, c. 237, sayı 1, 465-474, 2019.
- [11] G. Padula, P. Schiffmann, M. Lecompte, Olivier Laget, "Computational Fluid Dynamics

Study of Gaseous Ammonia Mixing in an Exhaust Pipe Using Static Mixers," *SAE International Journal of Engines*, c. 10, sayı 4, ss. 1894-1902, 2017.

[12] T. Park, Y. Sung, T. Kim, I Lee, G. Choi, "Effect of static mixer geometry on flow mixing and pressure drop in marine SCR applications," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, c. 6, Sayı 1, ss. 27-38, 2014.

[13] S.J. Jeong, S.J. Lee, and W.S. Kim, " Numerical Study on the Optimum Injection of Urea–Water Solution for SCR DeNO_x System of a Heavy-Duty Diesel Engine to Improve DeNO_x Performance and Reduce NH₃ Slip," *Environmental Engineering Science*, c. 25, sayı 7, ss. 1017-1035, 2007.

[14] C. Choi, Y. Sung, G. Min Choi, and D. J. Kim, "Numerical Analysis of Urea Decomposition with Static Mixers in Marine SCR System," *Journal of Clean Energy Technologies*, c. 3, sayı 1, ss. 39-42, 2015.

[15] G. Mehdi, S. Zhou, Y. Zhu, A. Shah, K. Chand, "Numerical Investigation of SCR Mixer Design Optimization for Improved Performance," *Processes*, c. 7, sayı 3, ss. 168-177, 2019.

[16] L. Tan, P. Feng, S. Yang, Y. Guo, S. Liu, Z. Li, "CFD studies on effects of SCR mixers on the performance of urea conversion and mixing of the reducing agent," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, c. 123, sayı 1, ss. 82-88, 2018.

[17] Y. Zhu, T. Li, C. Xia, Y. Feng, S. Zhou, "Simulation analysis on vaporizer/mixer performance of the high-pressure SCR system in a marine diesel," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, c. 148, sayı 1, ss. 1-5, 2020.

[18] Y. Sung, M. Choi, T. Park, C. Choi, Y. Park, G. Choi, "Synergistic effect of mixer and mixing chamber on flow mixing and NO_x reduction in a marine urea-SCR System," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, c. 150, sayı 3, ss. 1016-1020, 2020.

[19] İ. H. Savcı, M. Z. Gül, "A methodology to assess mixer performance for selective catalyst reduction application in hot air gas burner," *Alexandria Engineering Journal*, c. 61, sayı 9, ss. 6621-6633, 2022.

[20] P. Schiffmann, M. Lecompte, O. Laget, "Experimental investigation of Novel Ammonia Mixer Designs for SCR Systems," *SAE World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2018, ss 343-356.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Determination of The Most Suitable Milking Machine with Macbeth and Gray Relational Analysis Methods

Hakan Murat ARSLAN^{a,*}, İsmail DURAK^b, Adem KÖSE^c

^a *Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İşletme Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

^b *İşletme Bölümü, İşletme Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

^c *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muratarслан@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1309193

ABSTRACT

Milking machines are an important element of the livestock sector, which is one of the main activities of the countries. Milking machines have become a part of the life of livestock keepers. Such equipment can be considered as applications of mechanical engineering on the livestock sector. Especially livestock enterprises are going through a difficult process in supplying such machines with optimum features and maximum benefit. In terms of productivity, competitiveness and sustainability of livestock sector enterprises, decision-making processes should be scientific. With this perspective, in this study, the problem of determining the optimum milking machine was evaluated with Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. In the study, six different milking machines were analyzed with two different MCDM methods according to eight criteria. In this frame, the criterion weights of the related decision problem were calculated by the MACBETH method. Moreover, MACBETH and Gray Relational Analysis (GIA) methods were used separately to determine the most suitable milking machine. Furthermore, rankings obtained+- by different methods were tested with Spearman Rank Correlation Analysis and the result was found to be highly positive. The results of the study were shared with the decision makers. Besides, academic, and sectoral suggestions were made for future studies on similar topics.

Keywords: *Milking Machines, MACBETH Method, Gray Relational Analysis Method*

Macbeth ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri İle En Uygun Süt Sağım Makinesinin Belirlenmesi

ÖZ

Süt sağım makineleri, ülkelerin temel faaliyetlerinden olan hayvancılık sektörünün önemli bir unsurudur. Sağım makineleri, hayvancılık ile uğraşan bakıcıların hayatının bir parçası haline gelmiştir. Bu tür ekipmanlar makine mühendisliğinin hayvancılık sektörü üzerine uygulamaları olarak düşünülebilir. Özellikle hayvancılık işletmeleri bu tür makinelerin optimum özellikte ve maksimum fayda sağlayacak olanının tedarik edilmesi konusunda zorlu bir süreç geçirmektedirler.

Hayvancılık sektörü İşletmelerinin verimliliği, rekabet edebilirliği ve sürdürülebilirliği açısından karar

verme süreçlerinin bilimsel olması gerekmektedir. Bu düşünce ile çalışmada, optimum süt sağım makinesinin belirlenmesi problemi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada altı farklı süt sağım makinesi, sekiz kritere göre iki farklı ÇKKV yöntemi ile analiz edilmiştir. İlgili karar probleminin kriter ağırlıkları MACBETH yöntemi ile hesaplanmıştır. En uygun süt sağım makinesinin belirlenmesinde ise MACBETH ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemleri ayrı ayrı kullanılmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen sıralamalar Spearman Sıra Korelasyon Analizi ile test edilmiş ve sonuçların pozitif yönde birbiriyle yüksek düzeyde ilişkili olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar karar verici konumundaki yetkililerle paylaşılmıştır. Gelecekte yapılacak benzer konudaki çalışmalar için akademik ve sektörel önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Süt Sağım Makineleri, MACBETH Yöntemi, Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

I. INTRODUCTION

There are innumerable kinds of applications carried out in the field of mechanical engineering. When evaluated together with hybrid approaches, mechanical applications can be made in many different sectors. Milking machines, which have an important place in the livestock sector, are also a product of mechanical thinking. Such milking machines provide great convenience to the users.

Because during the supply process, users report the positive or negative aspects of the product to the vendors. Vendors also inform the relevant user opinions to the enterprises where the machines are produced. Thus, engineers again take over the milking machine and realize the new design in line with the received opinions. When evaluated from this aspect, the supply problem of milking machines can be considered as an engineering design process.

When statistics were examined, it is clear that more than half of livestock enterprises are small-scale, and the most important source of income of these enterprises was milk followed by meat [1]. Milking dairy cows by hand is cumbersome. However, milking machines provide a lot of convenience in this work. In addition, these machines can increase the efficiency as they complete the milking work under optimum benefit conditions for both the animal and the keeper. The general opinion for milking machines in the livestock sector is that "What the tractor is in farming, the milking machine is in the dairy industry". The need for such machines in Turkey has been identified through extensive field research [2]. More specifically, in the last ten years, the number of sheep and goats has increased by 78%, while the number of cattle has increased by 45% in Turkey [3]. In parallel with this, while the number of milking equipment has increased by 65%, the number of milking facilities has increased by 15% [4]. When looked more closely, the number of small cattle in the sample of Duzce, where the research was conducted, increased by 129% in the last ten years, while the number of cattle increased by 20% [5]. These data reveal the increase in the number of cattle and sheep in Turkey in the last ten years, but also reflect the increase in the number of machinery and facilities in dairy production. It is predicted that the number of milking facilities will increase by 38% [6]. This supports how important milking machines are. Furthermore, one of the most important supply problems faced by livestock sector enterprises is how to obtain a milking machine that will provide optimum benefit [7].

When it pertains to environmental and natural compatibility, milking machines offer a significant benefit to their customers. One of the main reasons for this is because, according to their functioning principles, they do not produce any hazardous waste for the environment or nature. Further, they perpetually contribute to the relevant businesses in terms of their sustainability.

However, it has been discovered that traditional ways of supplying such machinery are used by the relevant small and medium-sized dairy farms. More specifically, these farms used a limited number of criteria when choosing the machinery. Since this approach does not offer a multi-faceted evaluation opportunity, it may cause harm rather than benefit to the relevant business as of the results. Scientific

decision-making procedures, on the other hand, can be utilized to overcome such supply issues [8]. MCDM methods are among the scientific decision-making methods. There was no study discovered in the literature that employed MCDM, MACBETH, and Gray Relational Analysis methodologies in a hybrid way to solve a supply problem in the livestock industry.

In this study, criteria and alternatives were determined for the problem of determining the most suitable milking machine by using the data obtained from the enterprises selling all livestock equipment in Düzce province, Turkey. The main reason why Düzce was chosen as a sample is that small and medium-sized enterprises milking in the livestock sector are often located in this province. In the study, officials of the relevant enterprises were selected as decision makers. The criteria and alternatives for the problem were determined by scanning the decision makers and the relevant. In the analysis part, the weights of the criteria were analyzed and determined by the MACBETH method. Then, the priority order of the relevant alternatives was determined separately by MACBETH and Gray Relational Analysis method. In addition, the consistency of the analysis results performed with these two different methods was tested with Spearman Rank Correlation Analysis.

The current study is expected to fill the gaps in the literature with several ways; 1- It is the first study to determine the most suitable milking machine with MCDM methods, 2- It is the first study to determine the most suitable milking machine among the applications of MACBETH and Gray Relational Analysis methods, 3- It is the first study to redesign milking machines in line with user opinions in terms of mechanical engineering.

From a sectoral standpoint, this research is expected to improve awareness that MCDM methodologies may be used to a variety of supply difficulties faced by relevant businesses. In the next parts of the study, literature review, methodology, application of the research and the results in the last part are given respectively.

II. LITERATURE REVIEW

A. DEBUT OF MILKING MACHINES

In 1860, American Lee Colvin started to work on a new system to both eliminate the problems in milking and increase the workforce. In Colvin's mechanism, hoses with rubber caps were attached to the cow's udder and then attached to a bucket and bellows. As a result of belching, milk could be milked from the cow. Most of the milking machines work with the same logic. Today, depending on the developing technology, the majority of milking machines are controlled via computers [9].

Machine milking is a method applied in large enterprises to save time and labor by ensuring that all milk is milked in a short time. More and healthier milk can be obtained in machine milking [10]. In machine milking, success in milking can be achieved by using the machine with the appropriate technical features correctly, without harming the health of the animal, without leaving any leftover milk and by milking in an appropriate time. For efficient milking, it is crucial to have a milking machine with suitable technical features and to use this machine correctly. Milking machines are in direct contact with living organisms during operation and are used every day, at least twice a day. For this reason, these machines should be checked and maintained at certain time intervals. Machines should be cleaned after each milking and attention should be paid to their technical performance [11].

B. MECHANICAL STRUCTURE OF MILKING MACHINES

The milking machine consists of five parts, namely vacuum pump and motor, vacuum hoses, pulsator, milking heads and vats where milk is collected. While the vacuum pump has a similar effect to the sucking movement of the calf, the pulsator part provides the massage effect of the calf with its tongue,

and thus the milk is taken out. Figure 1 shows the working principle of the milking machine. Although the working principles are the same, there are different types and capacities of milking machines [12].

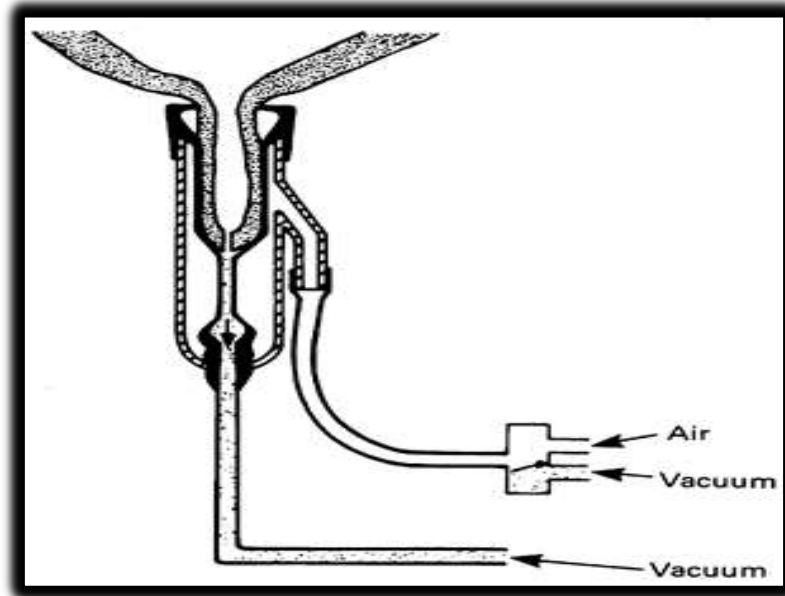


Figure 1. Working Principle of Milking Machine

C. MCDM METHODS IN THE SELECTION OF MILKING MACHINES IN THE LIVESTOCK SECTOR

Today, the rapid increase in technological developments shows itself in the livestock sector as well as in every sector. Reaching these developments with the right tools at the right time provides great convenience in reducing costs and increasing production. Technological and technological equipment that develops as innovations are preferred in related businesses because they reduce costs and have positive reflections on customer satisfaction.

When milking enterprises are considered, there are tools and equipment that must be provided during the establishment of these enterprises. Milking machines or fixed milking units are also vital parts for these operations, considering the establishment projects of dairy farms and the quantity of animals that may be milked according to these projects.

One of the most important aspects of creating a strong supply chain management system is selecting suppliers and allocating orders [13]. This is due to the fact that, in order to acquire a cost-effective product quality, firms rely increasingly on suppliers. Furthermore, because purchasing expenditures account for more than half of all internal costs, it is one of the most important jobs for firms [14] [15]. It is considered a multidimensional, multi-criteria decision-making process since many and often contradictory factors must be reviewed and analyzed in order to designate consistent providers. As a result of the literature review, since there was no study on the determination of MCDM methods and milking machines, the study was continued with the other parts.

D. STUDIES WITH GRA AND MACBETH

In a study [16] presented a new framework for the comparative assessment of the effectiveness of integrated municipal solid waste management. The fuzzy MACBETH multi-criteria decision-making model, which was used to look into the ambiguities and inefficiencies connected to solid waste management systems, was incorporated in the framework. The model's applicability was evaluated in the South European region, and the weights of the most important criteria were established. In another study[17] aimed to show the usability of MCDM methods in the decision problems faced by the administrators of educational institutions and to raise awareness among researchers working on this

subject. In the study, students who would receive an award in a secondary education institution operating in a province were evaluated with the MACBETH method. One of the related studies [18] aimed to merge the MACBETH and MULTI-MOORA methods-based MCDM methodology. In this mixed method, the weights of the criteria were established using the MACBETH technique, and the final ranking of the alternatives was then calculated using the MULTI-MOORA method. As a consequence of the study, an application of the car selection of a marble firm was also supplied to demonstrate the applicability of the suggested technique.

One of another related studies [19] used GRA to rate the product end-of-life choices in the face of uncertainty in relation to a number of material-level parameters. The threshold technique and GRA were combined [20] for the purpose of choosing green suppliers. In a similar study, a researcher [21] aimed to describe and assess a country's well-being more precisely. Using Gray Relational Analysis, Better Life Index (BLI) 2017 data from 35 OECD member nations and 3 non-member states were examined for this purpose (GRA). She reached the conclusion that the nations with the greatest scores were Norway, Australia, United States, Canada, Iceland, Switzerland, Denmark, and Sweden, while the nations with the lowest ratings were South Africa, Turkey, Mexico, and Greece. In order to compare the financial performance outcomes with the corporate governance rankings and brand values determined by Brand Finance, some researchers [22] measured the financial performance of six banks that were traded on the Borsa Istanbul Corporate Governance Index (XKURY) using MCDM methods. They used the GRA, TOPSIS, ARAS, and MOORA techniques to examine the financial performance of the relevant banks. They concluded that there were contradictions and inconsistencies in the financial performance rankings created within the context of the relevant integrated MCDM ranking findings.

III. METHODOLOGY

A. THE MAIN PROBLEM OF THE STUDY

The main problem is that the user of milking machines needs more scientific and optimum criteria for selection of milking machine. The currently used methods does not provide a comprehensive and optimum evaluation opportunity since such machines were supplied by small and medium-sized dairy farms and individual farmers in traditional methods or utilizing a limited number of criteria. As a result, it could be destructive to the firm rather than beneficial. Thus, using MCDM methods for selection of milking machine would provide a higher and optimum benefit for milking machine users. After choosing Turkey as the universe and Düzce province as a sample in the research, first of all, the milking machine brands in the firms selling milking machine in the province were examined. Among these, the six most commonly used milking machines in the sector were determined as alternatives. As a consequence of the discussions with the necessary authorities, it was determined that using the names exactly would be unethical. In addition, criteria were established based on the decision makers' judgments as well as the relevant research. More specifically, opinions of the decision makers were determined by making a survey to narrow down criteria and ask them to add any relevant criteria that is beneficial in relation in the sector. Lastly, the data of the survey were examined by the authors and then it was finalized by comparing it with the literature. Thus, the six criteria were determined. The hierarchical model expressing the purpose, alternatives and criteria of the study is shown in Figure 2.

The following are the study's criteria in the model:

Criteria: K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8

In the criteria: K1=Price, K2=Support Services Fee, K3=Vacuum Power, K4=Vacuum Tank Volume, K5=Claw Capacity, K6=Size, K7=Weight and K8=Customer Advice.

It is useful to explain some of the criteria given below, apart from the obvious ones. Accordingly, after the milking machines have been milked for a certain period of time, especially the filters connected to

the vacuum tank and the equipment that makes the milking and claw movement break down. The support services see criterion (K2) in the basic data matrix of the study was calculated as the average of the replacement and repair costs of the above-mentioned filter and claw equipment for each alternative from the technical service businesses in the sample. Moreover, while determining the data for the customer advise (K8) criterion in the basic data matrix, the businesses in the sample were asked to score the customer satisfaction out of 100 about each alternative. The geometric mean of the scores obtained for each alternative was taken and placed in the data matrix.

Alternatives are shown as A1, A2, A3, A4, A5, A6.

In the alternatives: A1=Brand A, A2=Brand B, A3=Brand C, A4=Brand D, A5=Brand E and A6=Brand F

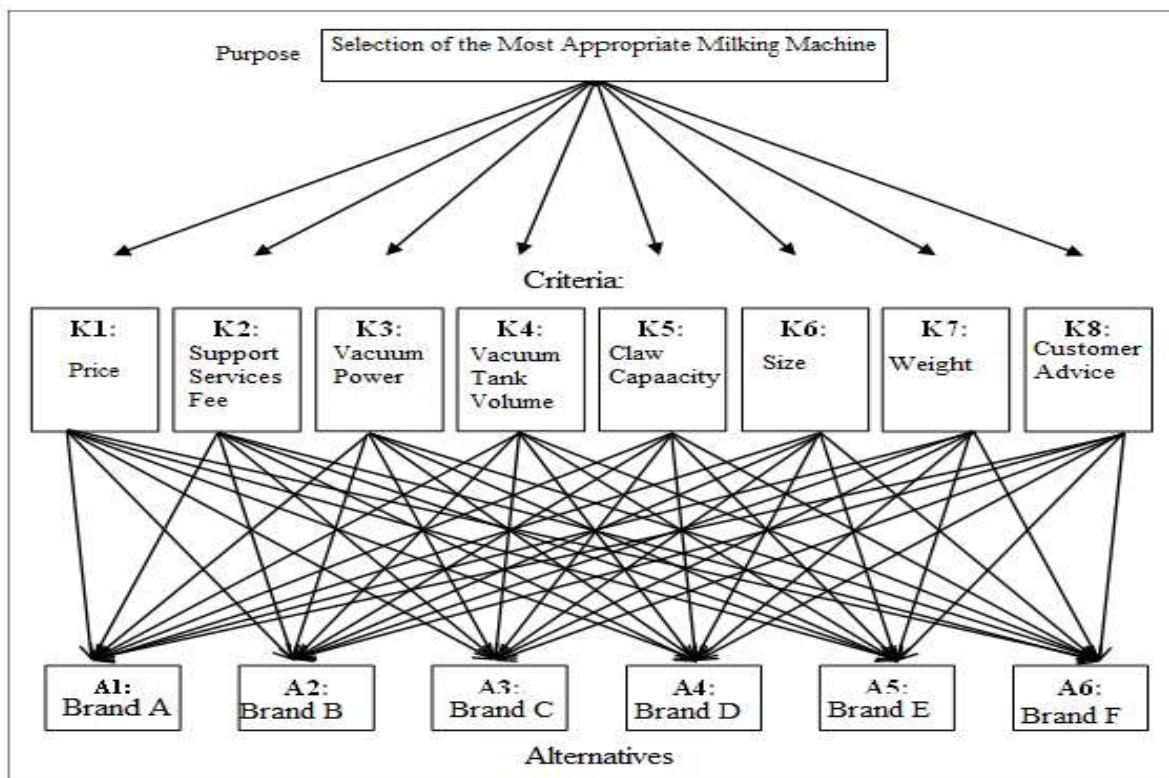


Figure 2. The Most Appropriate Dairy Milking Machine Selection Model

B. SAMPLE OF THE STUDY AND DATA COLLECTION METHOD

The theoretical background of this study includes MCDM methods with MACBETH and Gray Relational Analysis methods, and supplier selection problems. While the universe of the research is Turkey, the sample is enterprises selling livestock equipment in Düzce. Data were obtained based on the opinions of the expert personnel of Düzce Province Agriculture and Livestock Directorate and 13 company officials who were decision makers. The created model was applied to all enterprises selling livestock sector equipment in Düzce. Thus, a full count was made for the sample.

C. ANALYSIS METHOD OF THE STUDY

In this study, MACBETH and GRA methods were used among the MCDM methods for the supplier selection problem suitable for the research purpose. MACBETH and GRA method have been used in the research as it has several advantages. First, MACBETH technique, in contrast to other traditional decision-making methods [16] [23] does not call for the use of extra tools to analyze the characteristics, making it appropriate for dealing with complicated issues. Second, in GRA, simple mathematical relations are utilized in gray relational analysis to deal with ambiguous, poor, and

incomplete data. By integrating all of the performance attribute values being taken into account for each alternative into one, single value, it resolves multi-attribute decision-making difficulties [24]. In addition, Spearman Rank Correlation Analysis was applied for the consistency of the obtained rankings.

While analyzing the data, the M-MACBETH decision support program adapted according to the solution stages of the MACBETH method was used. In addition, Microsoft EXCEL program was used for the analysis of the GRA method and Spearman Rank Correlation Analysis.

C. 1. Macbeth Method

The MACBETH method was developed in the 1990s to create a range scale and to calculate the relative preference levels among alternatives. [25]. In this method, decision makers are asked to make judgments about the difference in attractiveness between two alternatives at the same time from a set of semantic scale sets with seven categories, namely extreme, very strong, strong, moderate, weak, very weak, and none. This method calculates relative attractiveness using verbal judgments. In this way, decision makers do not need to make numerical interpretations when comparing alternatives.

The steps of the MACBETH method can be expressed as follows [18];

Step 1. First, the decision criteria are defined, and the value tree is created.

Step 2. After creating the value tree, alternatives are determined. Then the performance levels of the alternatives are defined. At least two levels are determined as the upper reference (good) and the lower reference (neutral) level. In this method, 100 points are defined as the upper reference and zero points as the lower reference [26]

Step 3. A matrix is created to compare the alternatives among themselves. The matrix is sorted with the most important alternative to the left and the least important alternative to the right. The procedure is done for the alternatives is repeated for the criteria.

Step 4. Pairwise comparisons are created for both alternatives and criteria. The following semantic judgments are used in the MACBETH method [26] [27].

Table 1. Semantic Judgements

Semantic Categories	Quantitative Scale	Descriptions
No	0	No differences between alternatives
Very Weak	1	One alternative is very weakly important over the other
Weak	2	One alternative is very weakly important over the other
Moderate	3	One alternative is reasonable important over the other
Strong	4	One alternative is strongly important over the other
Very Strong	5	One alternative is very strongly important over the other
Extreme	6	One alternative is extremely important over the other

Step 5. The consistency of the created judgments is checked. If there is any inconsistency, the M-MACBETH program detects where the inconsistency is [28].

Step 6. After checking that the generated judgments are consistent, these judgments are displayed as a numerical scale using linear programming models. With the help of this scale, the scores of the alternatives are determined.

Step 7. By multiplying the criterion weights and alternative scores as a matrix, the total scores of all alternatives are determined and the alternative with the highest score is selected. Using the following formulas [I] and [II], the final overall score is obtained [29] [25].

$$V(A_j) = \sum_{j=1}^n w_j (v_j(A_j)) \quad [I]$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j > 0 \text{ and } \begin{cases} v_j(A_j^{good}) = 100 \\ v_j(A_j^{neutral}) = 0 \end{cases} \quad [II]$$

W_j : the weight of the j th criteria.

$V(A_j)$: Point value of element A_j

C. 2. Gray Relational Analysis Method

Gray Relational Analysis method is a decision-making method based on Gray System Theory, developed by Deng in 1982 [30]. In Gray System Theory, the expression ‘Grey’ refers to understanding the system. If there is a situation in a system where the information is not known at all, the system is expressed as ‘Black’. If there is sufficient information, the system is expressed as ‘White’ [31]. Gray Relational Analysis uses this situation to determine the correlation of similarities and differences between the reference series in a system and the factor series to be compared [32].

Gray Relational Analysis is an effective method that can be used in discrete data, incomplete and uncertain information. Therefore, the GRA (Gray Relational Analysis) method emerges as a methodology that can be used in solving weak, incomplete, and uncertain systematic problems. The main purpose of Gray Relational Analysis is to make the decision-making process easier in cases where there is insufficient or no information by establishing a relationship between natural sciences and social sciences [30].

The application steps of the gray relational analysis method are given below [33] [24].

Step 1: Creating the Decision Matrix: In the first step of the method, as in other MCDM methods, the data set for the decision problem is created. The initial matrix (X) consisting of x_i alternative values and $x_i(j)$ values for each criterion value corresponding to alternative values is expressed in equation [III].

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & I & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & I & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m(1) & x_m(2) & I & x_m(n) \end{bmatrix} \quad [III]$$

$i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n$ such that,

Step 2: Creating the Reference Series: In this step, reference values are determined to make comparisons between attributes. In the decision matrix, the reference series is formed by choosing the highest value if the j th attribute is beneficial, and the smallest value if it is cost oriented. The comparison matrix is obtained by adding the reference values determined with the help of Equation [IV] to the decision matrix.

$$X_0 = (x_0(j)) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad [IV]$$

Step 3: Creating the Normalization Matrix: In the data set created for the decision problem, there are values in different dimensions and units obtained from different sources. For this reason, the normalization process is applied to reduce the data set with different values in a wide range to smaller intervals. The normalization process enables the data set to be drawn to comparable values and facilitates the analysis. This process is called ‘gray relational generation’ in gray theory.

The normalization process is performed in three different ways: benefit, cost, and optimal situation, according to the preference indexes of the attributes.

If the criterion is utility-oriented, normalization is performed with the equation [V].

- If the criterion is utility-oriented, normalization is performed with the equation [V].

$$X_{ij}^* = \frac{x_i(j) - \min x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad [V]$$

- If the cost-oriented criterion contributes positively to the purpose, normalization is made according to the equation [VI].

$$X_{ij}^* = \frac{\max x_i(j) - x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad [VI]$$

- If the criterion is optimal, normalization is performed according to a determined optimal value ($x_{0b}(j)$), such as equality [VII].

$$X_{ij}^* = \frac{|x_i(j) - x_{0b}(j)|}{\max x_i(j) - x_{0b}(j)}, \quad \min x_i(j) \leq x_{0b}(j) \leq \max x_i \quad [VII]$$

The normalized decision matrix created as a result of the normalization process is shown in equation [VIII].

$$X^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & I & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & I & x_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & I & x_m^*(n) \end{bmatrix} \quad [VIII]$$

Step 4: Creating the Absolute Value Table: The differences between the normalized reference series and the normalized criterion values are calculated with the equation [IX], and the absolute value table is created.

$$\Delta_{0i} = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| \quad I = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad [IX]$$

Step 5: Creating the Gray Relational Coefficient Matrix: The gray relational coefficient represents the distance of the value of each alternative from the reference series. The distances of the absolute value elements created in the previous step to the reference series are determined using the equation [X].

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \delta\Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(j) + \delta\Delta_{\max}} \quad [X]$$

Δ_{\max} and Δ_{\min} values in the equation [X] are calculated using equation [XI].

$$\Delta_{\max} = \max_I \max_j \Delta_{0i}(j)$$

$$\Delta_{\min} = \min_I \min_j \Delta_{0i}(j) \quad \text{[XI]}$$

The parameter δ expressed in Equation [X] is defined as the ‘discriminant factor’ or ‘contrast control factor’. The discriminant coefficient is used to set the difference between Δ_{0i} and Δ_{\max} . That is, gray relational degrees expand or narrow the range of gray relational coefficients. Although it is frequently used as $\delta=0.5$ in the literature, the δ parameter can take different values between 0-1. A value of $\delta=0$ indicates no contrast, and a value of $\delta=1$ indicates a high level of discrimination. The discrimination coefficient can be adjusted by the decision maker. Different discriminant coefficient values do not change the overall ranking but produce different GRA results. In cases where the differences in the data set are large, values close to zero can be chosen for the discriminating coefficient to reduce the contrast.

Step 6: Calculation of Gray Relational Degrees and Ranking of Alternatives: The relationship between the reference series (x_0^*) and the comparable series (x_i^*) in a system is measured by gray relational degrees. If the gray relational degree is large, it can be deduced that the relationship between (x_0^*) and (x_i^*) is strong.

If it is assumed that all attributes are of equal importance, gray relational degrees are calculated as in equation [XII].

$$\Gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j) \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad \text{[XII]}$$

If the criteria have different degrees of importance, the gray relational degrees are calculated using equation [XIII].

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [w_j(j) \cdot \gamma_{0i}(j)] \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad \text{[XIII]}$$

The gray relational degrees calculated as a result of the method are ordered in descending order and the most suitable option for the decision problem is determined [34].

C. 3. Spearman Rank Correlation Analysis

Spearman rank correlation analysis was used to measure and analyze the linear relationship between two different ordinal variables that are not normally distributed. The coefficient value set of Spearman rank correlation analysis is [-1,1]. As the coefficient gets closer to 1 in absolute value, the strength of the relationship increases, and as it gets closer to 0, the strength of the relationship decreases. In addition, the Spearman rank correlation analysis coefficient is symmetrical, the correlation coefficient does not change when the X and Y ordinal variables are swapped [35].

Spearman rank correlation analysis can be defined as: Let the values of the X and Y variables be determined from randomly selected samples with n diameters. The values of the sample units in terms of the variable X are given their order of magnitude and these orders of magnitude are represented by $R(x_i)$. Likewise, the values of the sample units in terms of the Y variable are given the order of magnitude and these orders of magnitude are represented by $R(y_i)$. Thus, the ρ statistic, which is the rank correlation coefficient depending on the values of $R(x_i)$ and $R(y_i)$, is as follows.

$$P = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)},$$

$$\sum d_i^2 = \sum d_i^2 (R_{(xi)} - R_{(yi)})^2 \quad \text{[XIV]}$$

At a significance level defined using the statistical test in formula [XIV], the H0 hypothesis, which claims that there is no relationship between the X and Y variables, is tested against the H1 hypothesis, which claims that there is a relationship (same or opposite) between the X and Y variables [36].

IV 4. FINDINGS AND COMMENTS

A. DETERMINING THE CRITERION WEIGHTS IN THE MOST APPROPRIATE MILKING MACHINE MODEL

Eight criteria were determined after reviewing the relevant literature and consulting the decision makers. These criteria were recorded in the M-MACBETH 2.5.0 program, which is an application of the MACBETH method. In the program, the criteria are defined as “K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8” respectively. In addition, 6 alternatives identified are defined as “A1, A2, A3, A4, A5, A6” to the relevant interface in the program, respectively. Originally, the alternatives are “Brand A, Brand B, Brand C, Brand D, Brand E and Brand F” respectively.

The geometric mean of the opinions of 13 decision makers about the criteria was calculated. Then, these average values were processed into the relevant interfaces in the M-MACBETH program and the final weight values of the criteria were calculated as expressed in Table 2.

Table 2. Evaluations of the Decision Makers’ Criteria and Final Weight Values

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Final Weights
K1	no	v.weak	v.weak-weak	strong-v.strong	strong-v.strong	v.strong-extreme	extreme	extreme	31,340
K2	v.weak	no	v.weak	v.weak-weak	strong-v.strong	strong-v.strong	strong	strong-v.strong	25,370
K3	v.weak-weak	v.weak	no	v.weak-strong	v.weak	weak	weak	weak	16,410
K4	strong-v.strong	v.weak-weak	v.weak-strong	no	v.weak	weak	v.weak-weak	weak	13,430
K5	strong-v.strong	strong-v.strong	v.weak	v.weak	no	v.weak-weak	v.weak	v.weak	7,460
K6	v.strong-extreme	strong-v.strong	weak	weak	v.weak-weak	no	v.weak	v.weak	2,990
K7	extreme	strong	weak	v.weak-weak	v.weak	v.weak	no	no	1,500
K8	extreme	strong-v.strong	weak	weak	v.weak	v.weak	no	no	1,500

Many visual analyzes can be made using the outputs of the M-MACBETH program. The histogram view of the criteria weights from these analyzes is shown in Figure 3.

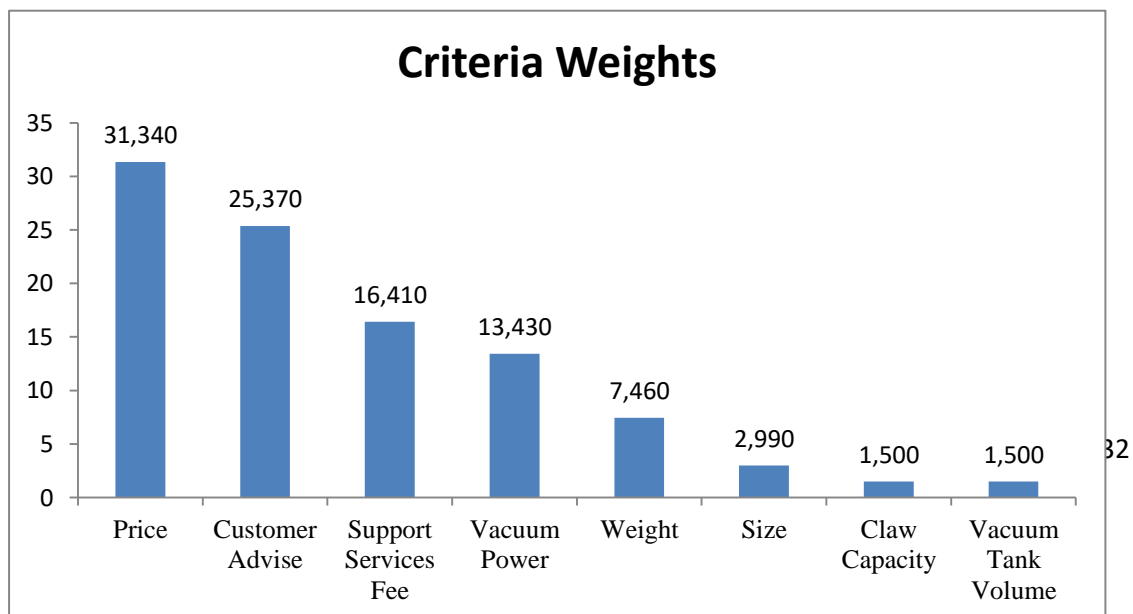


Figure 3. Histogram View of Criterion Weights

B. DETERMINATION OF THE MOST APPROPRIATE MILKING MACHINE WITH MACBETH METHOD

After determining the weights of the criteria by using the M-MACBETH program, priority ranking was made among the alternatives with the same method and program. The final ranking that emerges when the relevant processes of the program were carried out were as seen in Table 3. When the results in Table 3 were evaluated, it was discovered that the "Brand E" option had the highest score of 78.040.

Table 3. Final Ranking of Alternatives by MACBETH Method

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Final Ranking
Brand A	62,500	100,000	100,000	42,860	66,670	33,330	83,330	0,000	58,280
Brand B	50,000	54,550	0,000	14,290	0,000	100,000	66,670	50,000	45,480
Brand C	0,000	0,000	42,860	85,710	33,33	88,890	0,000	100,000	35,570
Brand D	75,000	90,910	14,290	100,000	100,000	0,000	33,330	50,000	58,510
Brand E	87,500	68,180	42,860	0,000	66,670	77,780	66,670	100,000	78,040
Brand F	100,000	81,820	28,570	28,570	50,000	44,440	100,000	16,670	62,800
Criteria Weights:	0,313	0,164	0,134	0,015	0,015	0,030	0,075	0,254	

C. DETERMINATION OF THE MOST APPROPRIATE MILKING MACHINE WITH THE GRA METHOD

In order to apply the solution steps of the GRA method using 8 criteria and 6 alternatives in the study, it should be expressed together with the performance values in the basic data set. In this direction, the data set showing the performance values of each alternative within the framework of the criteria is expressed in Table 4.

Table 4. Basic Data Set for the Problem of Determining the Most Appropriate Milking Machine

	(Min.) K1	(Min.) K2	(Max.) K3	(Max.) K4	(Max.) K5	(Min.) K6	(Min.) K7	(Max.) K8
A1	2360	68,3	230	22	240	0,751	52,5	0
A2	2450	72,8	180	18	110	0,545	55,0	5
A3	2950	79,3	200	28	180	0,584	62,0	9
A4	2315	69,0	185	30	300	0,839	58,0	5
A5	2150	70,6	200	17	240	0,585	55,0	9
A6	2110	69,1	190	20	200	0,702	50,0	1

C.1. Generating the Gray Relational Coefficient Matrix

After the absolute value table was created, Δ_{\max} and Δ_{\min} values were determined by using the values in this table, and $\zeta=0.5$, which was suggested in the literature, was used as the discriminating coefficient. The data matrix of the gray relational coefficients created using the calculated parameters was given in Table 5.

Table 5. Gray Relational Coefficients Data Table

	(Min.) K1	(Min.) K2	(Max.) K3	(Max.) K4	(Max.) K5	(Min.) K6	(Min.) K7	(Max.) K8
A1	0,627	1,000	1,000	0,448	0,613	0,416	0,706	0,333
A2	0,553	0,550	0,333	0,351	0,333	1,000	0,545	0,529
A3	0,333	0,333	0,455	0,765	0,442	0,790	0,333	1,000
A4	0,672	0,887	0,357	1,000	1,000	0,333	0,429	0,529
A5	0,913	0,705	0,455	0,333	0,613	0,786	0,545	1,000
A6	1,000	0,873	0,385	0,394	0,487	0,484	1,000	0,360
Δ_{\max}	1							
Δ_{\min}	0							
ζ	0,5							

C.2. Calculating Gray Relational Degrees

There are two different ways to calculate gray relational degrees. In the first way, the criterion weights are used. In the second way, the weight of each criterion is considered equal and the calculation is made under this condition. In this study, the first way was followed. Accordingly, the criteria weights were obtained in the application of the MACBETH method and were used exactly at this stage of the analysis. In this case, the gray relational degrees of the alternatives were expressed in Table 6

Table 6. Gray Relational Grades of Alternatives and Final Ranking of Alternatives

w_i	0,313	0,164	0,134	0,015	0,015	0,030	0,075	0,254	Final Ranking
	(Min.) K1	(Min.) K2	(Max.) K3	(Max.) K4	(Max.) K5	(Min.) K6	(Min.) K7	(Max.) K8	
A1	0,627	1,000	1,000	0,448	0,613	0,416	0,706	0,333	0,660
A2	0,553	0,550	0,333	0,351	0,333	1,000	0,545	0,529	0,523
A3	0,333	0,333	0,455	0,765	0,442	0,790	0,333	1,000	0,541
A4	0,672	0,887	0,357	1,000	1,000	0,333	0,429	0,529	0,610
A5	0,913	0,705	0,455	0,333	0,613	0,786	0,545	1,000	0,795
A6	1,000	0,873	0,385	0,394	0,487	0,484	1,000	0,360	0,702

D. INTERPRETATION OF FINDINGS

As stated in Table 6, the most suitable milking machine for the final ranking formed by calculating the Gray Relational Degrees was again A5. Also, according to the result of this method, alternative A2 was evaluated as the worst choice. If the results obtained with two different methods were compared, the findings would be interpreted more accurately. In this frame, the ranking results derived by two separate MCDM algorithms were subjected to Spearman Ranking Correlation Analysis. The results of the associated analysis were shown in Table 7.

Table 7. Spearman Rank Correlation Analysis Results

	Y: (Values of MACBETH)	X: (Values of GRA)	y: (MACBETH Ranking)	x: (GRA Ranking)	d: (Ranking Differences)	d²: (Square of Differences)
Brand A	58.280	0,660	4	3	1	1
Brand B	45.480	0,523	5	6	-1	1

Brand C	35.570	0,541	6	5	1	1
Brand D	58.510	0,610	3	4	-1	1
Brand E	78.040	0,795	1	1	0	0
Brand F	62.800	0,702	2	2	0	0
Sum of Squares of Differences ($\sum d_i^2$):						4

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)} \text{ (Spearman rank correlation analysis coefficient)}$$

$$\sum d_i^2 = 4 \text{ (The sum of the squares of the differences)}$$

$n = 6$ (Total number of alternatives)

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot 4}{6 \cdot (6^2 - 1)}$$

$$= 1 - \frac{24}{210}$$

$$\approx 1 - 0.114$$

$$\approx 0.886$$

The Spearman Rank Correlation Analysis showed that the association (correlation) between the ranks generated by two separate MCDM approaches was near to 1 and strong. Thus, the study was consistent in terms of reliability.

V. CONCLUSION AND EVALUATION

The main aim of the study was to employ scientific techniques to supply dairy farms with milking equipment. The associated data was evaluated independently using the MACBETH and GRA methodologies, both of which are MCDM approaches. Six options and eight criteria for the most suitable milking machine selection problem were determined as a consequence of the relevant literature and the opinions of the decision makers. The MACBETH technique was used to establish the weights of the criterion. As a result, "Price" received the greatest weight (K1), followed by "Customer recommendation" (K8). These findings corroborate the decision-makers' initial assessments.

When the findings of both the MACBETH and GRA techniques were compared, it was discovered that the best milking machine (A5) in the alternative rankings was "Brand E". As a result, the most suitable mobile milking machine (A5) was "Brand E". In addition, Spearman rank correlation analysis, which is a statistical test, was performed to determine the consistency of the results obtained with these two methods. The result of the analysis was positive, and the relations of the results were high. That is, the findings of these two techniques were obviously consistent, with the first two rankings remaining the same and the third and fourth places being swapped. As a result, it was demonstrated that MCDM approaches might be utilized to solve supplier selection challenges in milking operations. These results were similar to the results of the Spearman correlation analysis used by [37] to determine the relationships between financial performance rankings using MCDM methods ARAS and WASPAS. In other words, similar to this study, in the authors' study, it was determined that there was a strong positive relationship between the ranking results of the companies involved in the two methods. Similarly, in the study of [22], the ranking results of the GIA, TOPSIS, ARAS, MOORA and Copeland methods were determined by Spearman rho analysis for the relationships between corporate governance and brand values. They determined that there were differences and

contradictions between the financial performance rankings made within the framework of the related integrated MCDM ranking results.

It is quite expected that the study's findings will close a significant gap in the literature. The following are suggestions for further research. Especially in livestock sector decision problems, the model of the study can be revised and used. Firstly, the criteria and alternatives of the study can be expanded and applied to more different problems in this sector. Secondly, the created model can be analyzed with different and up to date MCDM methods like CRITIC and MABAC [38] Thirdly, different analysis programs can be used by writing code with programs such as MATLAB. Fourthly, methods such as Entropy or AHP, which are frequently used in the literature, can be preferred in order to determine the weights of the criteria, Last but not least, different MCDM methods can be applied in hybrid form and the results obtained can be compared with previous similar studies.

VI. REFERENCES

- [1] M. Kayhan, “Hayvansal Üretimdeki Gelişmeler”, Son 10 yılda Türkiye Tarımı Sempozyumu, 2012 ,Ege Üniversitesi, İzmir, Turkey, January 10.
- [2] A. Köse, “ MACBETH ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri ile Hayvancılık Sektöründe En Uygun Süt Sığırcılığı Sağım Makinesi Markasının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce, 2021.
- [3] DPS (Data Portal for Statistics), Animal production statistics (years 2011, 2021), 2022a, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>
- [4] DPS (Data Portal for Statistics. Agricultural equipment and machinery statistics (years 2011, 2021), 2022b. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111>
- [5] Duzce Agricultural Investment Guide. Ministry of agriculture and forestry strategy development department agricultural investor advisory office, 2021. https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/duzce.pdf
- [6] J. M. Kıyıcı, “Türkiye’de süt sağım teknolojisi projeksiyonu”, Alinteri J Agriculture Science, vol. 33, pp. 7-11, 2018.
- [7] A. D. Costa, D.J. Reinemann, “The purpose of the milking routine and comparative physiology of milk removal”, Proc. Natl. Mastitis Council Annu. Mtg., Charlotte, NC. National Mastitis Council, Verona, WI, pp.189-197, 2004.
- [8] D. Von Winterfeldt, “Bridging the gap between science and decision making. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 110, no. 3, pp.14055–14061, 2013.
- [9] <https://steemit.com/kusadasi/@blueones/gida-ve-tarim-alaninda-ilkler>, 1999.
- [10] K. V. S. Verma, S. Garai, S. Maiti, B. S. Meena, M. Bhakat and K.S. Kadian, “Demand driven livestock extension services: Farmers’ participatory assessment in Eastern Haryana”, Indian Journal of Animal Sciences, vol. 90, no.5, pp. 792-797, 2020.
- [11] J. A. Jacobs and J.M. Siegford, “Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare”, Journal of Dairy Science, vol. 95, no. 5, pp. 2227–2247, 2012.

- [12] S. Khatri, K. P. Pokharel, G. Bhandari, A. Mishra, S.K. Jha, S. Ansari and S. Shrestha, "Performance evaluation of portable milking machine on machine economy , milk yield, milking time, and milk constituents of Nepalese Cattle", *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* , vol. 23, no. 4, pp. 78–90, 2021.
- [13] A. Mohammed, "Towards a sustainable assessment of suppliers: an integrated fuzzy TOPSIS possibilistic multi-objective approach", *Annals of Operations Research*, vol. 293, pp. 1-30, 2020.
- [14] M. Yazdani, S. Hashemkhani Zolfani and E. K. Zavadskas, "New integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers" *Journal of Business Economics and Management*, vol. 17, no. 6, pp. 1097-1113, 2016.
- [15] A. Mohammed, I. Harris and A. Dukyil, "A trasilient decision making tool for vendor selection: a hybrid-MCDM algorithm", *Management Decision*, vol. 57, no. 2, pp. 372-395, 2018.
- [16] D. Pamucar, L. Vasin and L. Lukovac, "Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA model", *XVI International Scientific-Expert Conference on Railway-Railcon. Niš. Serbia*, 2014, 89-92.
- [17] H. M. Arslan, A. Köse and İ. Durak, "Çok kriterli karar verme yöntemleri ile eğitim kurumları karar problemlerinin çözümü", *Electronic J Vocational Colleges* vol. 8, pp. 27-34, 2018.
- [18] N. Kundakçı, "Combined Multi-Criteria Decision-Making Approach based on MACBETH and Multi-MOORA Methods", *Alphanumeric Journal*, vol. 4, no.1, pp. 17–26, 2016.
- [19] J. W. Chan, "Product end-of-life options selection: grey relational analysis approach", *Int J Production Research*, vol.46, pp.2889-2912, 2008.
- [20] X. Li and C. Zhao, "Selection of suppliers of vehicle components based on green supply chain", *16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Beijing, 2009, pp. 1588–91.
- [21] D. Murat, "The analysis of the well-being levels of OECD countries with grey relational analysis", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol.41, pp. 83-107, 2020.
- [22] H. Ergun, M. Ç. Sucu, M. C. Yaralı M. C, et al, "Finansal performans, kurumsal yönetim ve marka değeri arasındaki ilişki: borsa istanbul kurumsal yönetim endeksi kapsamındaki bankalar üzerine bir uygulama", *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, vol.12 no.2, pp. 852-869, 2022.
- [23] E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas A. Banaitis A, et al, "Housing credit access model: the case for Lithuania", *Eur J Oper Res* vol. 155, pp.335–352, 2004.
- [24] Y. Kuo, T. Yang and G.W. Huang, "The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 55, pp. 80–93, 2008.
- [25] C.A.Bana e Costa, P.A. Da Silva PA and F.N. Correia, "Multicriteria evaluation of flood control measures: the case of ribeira do livramento. London: Working Paper (LSEOR 03.62)", *The London School of Economics and Political Science*, 2004.
- [26] P. Karande and S. Chakraborty, "Using Macbeth Method for Supplier Selection in Manufacturing Environment" *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol.4, no. 2, pp. 259-279, 2013.
- [27] C. A. Bana e Costa, M.P. Chagas, "A Career Choice Problem: An Example of How to Use MACBETH to Build a Quantitative Value Model Based on Qualitative Value Judgments", *London: Working Paper (LSEOR 02.53), The London School of Economics and Political Science*, 2003.

- [28] C. A. Bana e Costa, C. S. Oliveira and V. Vieira, "Prioritization of Bridges and Tunnels in Earthquake Risk Mitigation Using Multicriteria Decision Analysis: Application to Lisbon", *Omega*, vol. 36, no. 3, pp. 442-450, 2008.
- [29] P. Karande and S. Chakraborty, "A facility layout selection model using MACBETH method", *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2014, 7-9 January, Indonesia, Bali.
- [30] Y. Ayrıçay, M. Özçalıcı and A. Kaya, "Gri İlişkisel Analizin Finansal Kıyaslama Aracı Olarak Kullanılması: İMKB-30 Endeksindeki Finansal Olmayan Firmalar Üzerinde Bir Uygulama" *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, vol.10, no.1, pp. 219-238, 2013.
- [31] F. Ecer, "Türkiye'deki Özel Bankaların Finansal Performanslarının Karşılaştırılması: 2008-2011 Dönemi", *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 13, no.2, pp. 171-189, 2013.
- [32] C. C. Yang and B.S. Chen, "Supplier Selection Using Combined Analytical Hierarchy Process and Grey Relational Analysis" *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 17, no. 7, pp. 926-941, 2006.
- [33] B. F. Yıldırım, "Gri İlişkisel Analiz, Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Bursa: Dora Yayınları, 2018.
- [34] R. Arslan, H. Bircan and Ö. Arslan, "Tekstil Firmalarında Finansal Performansın Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Ağırlıklandırılmış Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Değerlendirilmesi" *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 19-36, 2017.
- [35] Y. Karagöz, "İlişki Katsayıları ile Öğrenci Başarısını Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi", *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, vol.9, no. 32, pp. 425-446, 2010.
- [36] H. Gamgam, "*Parametrik Olmayan İstatistiksel Teknikler*", Ankara: Gazi Üniversitesi Yayınları.
- [37] H. Bağcı and İ. Sarıay, "Halka açık piyasa değeri ve piyasa değerinin işletme performansındaki rolü: BIST halka arz endeksi'nde bir uygulama", *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi* vol. 13, pp. 36-54, 2021.
- [38] M. Orhan and H. T. Mutlu, "Ülkelerin COVID-19 Pandemisine Karşı Mücadelesinin CRITIC Tabanlı MABAC Yöntemiyle Değerlendirilmesi" *Nicel Bilimler Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 173-189, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Enlem-Rakım-Boylam İlişkisinin Soğutma Yüküne Etkisinin Ege Bölgesi İlleri İçin Araştırılması

Sinan TUNA, Kemal ERMİŞ^b, Mustafa ERTÜRK^b

^a Lisansüstü Eğitim Ens., Teknoloji Fak., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üni., Sakarya, TÜRKİYE

^b Makina Mühendisliği Böl., Teknoloji Fak., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üni., Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sinantuna98@hotmail.com

DOI:10.29130/dubited.1095493

Öz

Konutların enerji ihtiyacını tahmin etmek, iklimlendirmeye bağlı uygulamalarda talep edilen enerjinin karşılanması ve gerekli konfor şartlarının sağlanabilmesi adına gerçekleştirilecek hesaplarda en pratik yollardan birisi derece saat yöntemidir. Ege Bölgesine ait olan bu çalışmada; bölgede bulunan Afyon, Aydın, Denizli, İzmir, Kütahya, Manisa, Uşak ve Muğla illerinin farklı İç Ortam Referans Sıcaklığına (İORS) göre Soğutma Derece Saat (SDS) değerleri üzerine rakım, enlem ve boylam etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; SDS değerlerinin İzmir ve Afyon illeri hariç rakımla ters orantılı olduğu saptanmıştır. Rakım arttıkça SDS değerleri düşmektedir. İzmir ve Afyon illerinde bu orantıdan sapmalar söz konusudur. Ayrıca SDS-rakım grafiğinin ters orantı içerisinde olduğunu gösteren doğru denklemi Origin 2019 yazılımıyla elde edilmiştir. Bu doğrunun 18 °C, 22 °C ve 26 °C referans sıcaklıkları için ayrı ayrı determinasyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre determinasyon katsayıları sırasıyla 0,9291, 0,9219 ve 0,8612 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Soğutma derece saat, Rakım, Boylam, Enlem, Enerji ihtiyacı

Research of the effect of the Latitude-Altitude-Longitude relationship on the Cooling Load for the Aegean Region

ABSTRACT

One of the most practical ways of estimating the energy needs of houses, meeting the demanded energy in air-conditioning applications, and providing the necessary comfort conditions is the degree hour method. In this study, which belongs to the Aegean Region; the effects of altitude, latitude, and longitude on the Cooling Degree hour (SDS) values of Afyon, Aydın, Denizli, İzmir, Kütahya, Manisa, Muğla, and Uşak provinces in the region according to different Indoor Reference Temperature (İORS) were investigated. According to the results of the research, SDS values were found to be inversely proportional to altitude, except for İzmir and Afyon provinces. SDS values decrease as the altitude increases. There are deviations from this ratio in İzmir and Afyon provinces. In addition, the line equation showing that the SDS-altitude graph is in inverse proportion was obtained with the Origin 2019 software. The determination coefficients of this line were calculated separately for the reference temperatures of 18 °C, 22 °C, and 26 °C. According to the calculation results, the determination coefficients were found to be 0.9291, 0.9219, and 0.8612, respectively.

Keywords: Cooling degree hour, Latitude, Longitude, Altitude Energy needs

I.GİRİŞ

Soğutma ve iklimlendirme projeleri tasarımında maksimum verime ulaşmak için dış hava verileri önemli parametreleri oluşturmaktadır [1]. Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin tasarım, performans simülasyonları yapılırken rastgele seçilen aylar ve yıllar yerine performansın maksimum düzeyde istenilen dönemleri için uzunca ve geniş aralıklarla iklim bilgilerinin girilmesi ileriye dönük daha gerçekçi ve spesifik sonuçlar alınmasına imkân sağlar. Bu sebeple enerji analizleri için farklı ve geniş kapsamlı iklim verileri dikkate alınmalıdır [2], [3], [4]. Çalışmanın yapılacağı şartlardaki iklim verilerinin doğruluğu ve ulaşılabilir olması, çalışmanın güvenilirliği ve enerji verimi açısından oldukça yüksek öneme sahiptir. Değişik enerji analizleri ve çalışmanın özgün olarak kabul görebilmesi için farklı iklim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır [5]. Enerji üretim, tüketim tahminleri ve planlaması ülkelerin kısa, orta, uzun dönem enerji planlaması ve tesis yatırımları için çok önem arz etmektedir [6]. Derece zaman değerleri ısıtma-soğutma enerji gereksiniminden, optimum izolasyon kalınlığının tespitine kadar birçok alanda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Literatüre bakıldığında derece saat değerleri sezonluk olarak (ısıtma veya soğutma) farklı iç ortam referans sıcaklıklarında hem Türkiye hem de dünyanın birçok ülkesi için verilmiştir.[7], [8], [9], [10]. Sıcak iklim bölgesinde bulunan Antalya ili için güneş radyasyonu etkisini de hesaba katarak ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıklarını, ısıtma ve soğutma yükleri belirli bir denge sıcaklığında derece saat yöntemine göre hesaplanmıştır [11]. Balıkesir ili için on bir farklı iç ortam sıcaklığına göre IDS değerleri hesaplanıp ısıtma ihtiyacının karşılanmasında en yaygın biçimde kullanılan üç yakıt tipi göz önüne alınarak biri yalıtımlı diğeri yalıtımsız olmak üzere iki bina incelemeye tabi tutmuşlardır. İç ortam sıcaklığının 22°C' den 21°C' ye düşürülmesi ile toplamda enerji, maliyet ve emisyon açısından %7'lik bir azalma olabileceği hesaplanmıştır [12]. Binalarda ısıtma enerji ihtiyacı bir bölge için güvenilir meteoroloji kayıtlarıyla ve temel insan konforu şartlarına göre derece saat yöntemlerine göre İstanbul'un enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimini pratik olarak detaylı enerji ihtiyacını tahmin edilmiştir [13]. Bu tahmin metodunun dünyanın her bir boşluğu için ender uygulamalarda kolaylıkla kullanılabileceğini açıklamışlardır. Konutların enerji ihtiyacını karşılama ve insanların konfor şartları altında yaşayabilmesi adına yapılan analizlerin temelini iklim verileri oluşturur. Konfor şartlarını sağlamak için gerekli enerji analizleri ancak iklim verileri ışığında gerçek değerlere yakınsar. Derece zaman değerleri iklim verileri kullanılarak elde edilir. Buna bağlı olarak yaşam alanlarının soğutma, iklimlendirme amaçlı saatlik, aylık, sezonluk ve yıllık enerji gereksinimi, gerekli konfor şartı verileri hesaplanabilmektedir [14]. Marmara Bölgesi'nde bulunan 11 ilin (Kocaeli, Yalova, Çanakkale, İstanbul, Sakarya, Balıkesir, Kırklareli, Bursa, Bilecik, Tekirdağ, Edirne) ısıtma derece saat (IDS) ve soğutma derece saat (SDS) değerleri baz alınarak enlem, boylam ve rakım ilişkisi nümerik yöntemlerle analiz edilmiştir [15]. Gelecek 10, 20 ve 30 yıl sonraki küresel ısınmaya bağlı ısıtma ve soğutma yüklerindeki değişimi Karabük ili için tahmin edilmiştir [16].Termal sistem tasarımında kullanılan meteorolojik verilerin tüm Türkiye'yi temsil edecek şekilde elli il için tahmini yapılmıştır [17]. Türkiye için nem, sıcaklık, güneş radyasyonu haritaları oluşturulmuştur. Bu haritaların Meteoroloji Genel Müdürlüğü haritalarıyla uyumlu olduğu açıklanmıştır [18]. Isıtma derece-gün değeri yöntemi kullanılarak yalıtım kalınlığının ekonomik analizi için yapay sinir ağları yöntemiyle literatüre farklı bir yaklaşım sunmuşlardır [19].

Bu çalışmada, Ege bölgesindeki illerin soğutma derece saat değerlerine meteorolojik verilerin etkisinin incelenmesi adına rakım, enlem ve boylam ilişkisi araştırılmıştır. Origin (2019) yazılım programı yardımıyla yapılan çalışmada nümerik modelleme yapılmıştır. Yapılan nümerik modelleme yönteminde sonuçların yakınsaması ve uzaksamasına neden olan etkenler incelenerek sonuçlar ortaya koyulmuştur.

Bu makalenin diğer çalışmalardan farkı;

- I. Ege Bölgesindeki soğutma sezonundaki ayların SDS değerleri oransal olarak değil her ay için sayısal değer olarak verilmiştir.

- II. On bir farklı iç ortam referans sıcaklığına bağlı SDS değerlerinin değişimi 11 il için toplu olarak bir grafik halinde verilmiştir.
- III. Literatürde Ege Bölgesi Enlem-Rakım-Boylam İlişkisinin Soğutma Yüküne Etkisi konusunda bir çalışma yoktur.
- IV. Literatürde rakım arttıkça SDS değerleri artış eğiliminde olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada bu teoriye aykırı olan Afyon ve İzmir illeri için durum tespiti yapılmıştır.
- V. Literatürde Akdeniz bölgesi SDS değerleri rakım ilişkisinde denklemin uygunluğunu veren belirleme katsayısı R^2 değeri 0,59 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada R^2 değeri 0,86 olarak bulunmuştur.

A. MATERYAL VE YÖNTEM

Seksen bir il için 2012 yılında yapılan bir çalışmada, her il için on bir farklı iç ortam sıcaklığına göre aylık ve toplam sezonluk olarak dış sıcaklık dağılımının ortalama değerleri hesaplanmıştır [20]. Bu çalışmada Ege bölgesindeki illerin derece saat değerlerine enlem, boylam ve rakım ilişkisi Origin 2019 yazılımı yardımıyla analiz edilip matematiksel olarak modellenmiştir. Matematik modelleme esnasında hedeflenen sonuçtan sapmaya sebep olan faktörler incelenmiştir.

A.1. Derece Zaman Yöntemi

Derece zaman yöntemi; konutların ve iklimlendirme sistemlerinin soğutma yükleri hesaplanmasında, her il için ayrı ayrı soğutma sezonları belirlenmesinde, iklimlendirme sistemleri için boru hatları boyutlandırılmasında, konutların veya illerin soğutma amaçlı enerji gereksinimi hesaplanmasında, tarım faaliyetlerinin yüksek verimde gerçekleşeceği dönemin belirlenmesinde, hangi ürünün nasıl ve nerede yetiştirileceğinin belirlenmesinde, toprak kirliliğine karşı mücadelenin hangi günlerde olacağı tahmin edilmesinde ve gübreleme dönemlerinin tayininde kullanılmaktadır [20]. Literatürde derece zaman yöntemi; bin, derece-gün veya derece saat yöntemi olarak da tanımlanmaktadır. Derece gün ve bin metotları, yerini saatlik simülasyon hesaplarına bırakmakta ve saatlik hassas iklim verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada derece saat yöntemi kullanılmış olup yöntem detaylı olarak açıklanmıştır.

A.2. Derece Saat Yöntemi

Derece saat yönteminde, öncelikle belirli bir denge noktasına göre derece saat değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde bir yıl içerisinde toplam 8760 saatlik ölçüm değerlerinin olması gerekir. Denge noktası sıcaklığı, bir binada ısıtmaya veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı durumdaki dış ortam sıcaklığıdır. Enerji hesaplamaları, dış ortam sıcaklığının, denge sıcaklığından daha düşük olduğu sürelerde gerçekleştirilir. Yalıtımsız binalarda derece saat değerleri; ısıtma amaçlı 18 °C, soğutma amaçlı 22 °C denge sıcaklığı için hesaplanır [5].

.

A.3. Soğutma Derece Saat (SDS) Yöntemi

SDS yöntemi ile kapalı hacimlerin soğutulması için gerekli enerji miktarı kolaylıkla tahmin edilebilir. Bu yöntemde ısıtma ve soğutma amaçlı gerekli olan enerjinin, dış ortam sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığı arasındaki fark ile orantılı olduğu kabul edilir. SDS yönteminde, en az on yıl geçmişe yönelik yıllık 8760 saatlik ortalama ölçüm değerlerinin olması gereklidir [3]. Denge noktası sıcaklığı, bir binada soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı durumdaki dış ortam sıcaklığıdır[1]. Genelde, yalıtımsız bir bina için derece saat değerleri soğutmada Dış Ortam Referans Sıcaklığı (DORS) 25 °C için hesaplanır. SDS hesaplamaları için Eşitlik 1 kullanılmıştır [21].

$$SDS = (1 \text{ saat}) \sum_{\text{saatler}}^M (T_{DORS} - T_{IORS})^+ \quad (1)$$

Burada; M Soğutma dönemindeki toplam gün sayısıdır. Soğutma gerektirmeyen günler bu sayılara dahil edilmemektedir. Eşitlikte ayraçın üstündeki + sembolü hesaplamalarda yalnızca pozitif sayıların dikkate alınacağını ifade etmektedir. T_{DORS} saatlik dış ortam referans sıcaklığı (°C), $T_{İORS}$ saatlik iç ortam referans sıcaklığı (İORS) göstermektedir. Soğutma enerjisi gereksinimi (QS) Eşitlik 2'den hesaplanabilir [1].

$$Q_s = \frac{K_{top}}{COP} SDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (2)$$

Burada; QS Soğutma enerjisi gereksinimi (kWh), K_{top} Binanın toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2), COP Binada kullanılan soğutma sisteminin etkinlik katsayısını göstermektedir.

Derece gün yöntemine benzer olarak, derece saat yönteminde de bir binanın soğutulması için gerekli olan enerjinin, dış ortam sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığı arasındaki farkla doğru orantılı olduğu kabul edilir. Böylelikle binaların soğutulması için gerekli enerji, kolaylıkla tahmin edilebilmektedir. Eşitlik 1'de denge noktası sıcaklığı ile dış ortam sıcaklık farkı saatlik olarak SDS değerleri hesaplanmaktadır [20].

II. BULGULAR VE TARTIŞMA

B. EGE BÖLGESİNDEKİ SEKİZ İLİN FARKLI İÇ ORTAM REFERANS SICAKLIĞINA GÖRE SOĞUTMA DERECE SAAT DEĞERLERİ

Ege bölgesindeki iller için on bir farklı iç ortam referans sıcaklığına göre soğutma derece saat değerleri sezonlardaki aylara göre ve toplam sezonluk olarak Tablolar halinde verilmiştir. Bu Tablolardaki hesaplamalar, bölgedeki tüm binaların yalıtımsız olduğu varsayılarak, 22 °C dış ortam sıcaklığının üstündeki dış hava sıcaklıkları temel alınarak soğutma derece saat değerleri hesaplanmıştır. Ege bölgesindeki tüm illerde soğutma sezonu Mayıs ayında başlayıp Ekim ayında sona erdiği, aylık ve sezonluk on bir farklı İç Ortam Referans Sıcaklığında (İORS) ayrıntılı SDS değerleri 8 il için Tablo 1'den 8'e kadar verilmiştir.

Bu Tablolarda soğutma sezonundaki her ay için SDS değeri sezonluk SDS değerine göre oransal olarak verilmiştir. Bu Tabloların kullanımıyla ilgili açıklama Tablo 1'deki Afyon ili için açıklanmıştır. Afyon ili için on bir farklı İORS'na göre en yüksek SDS değerinin Ağustos ayında, en düşük SDS değerinin Ekim ayında olacağı görülmektedir.

Tablo 1'de 24 °C İORS'na göre sezonluk SDS değeri 3430 derece saat olarak görülmektedir. Soğutma sezonundaki her ay için SDS değeri de Denklem 3'te verilmiştir.

$$SDS_{Aylık} = SDS_{Sezonluk} \times SDS_{oransal} \quad (3)$$

Burada; $SDS_{Aylık}$ Soğutma dönemi aylık SDS değerini, $SDS_{Sezonluk}$ Sezonluk SDS değerini ve $SDS_{oransal}$ Oransal aylık SDS değerini göstermektedir.

Örnek olarak; 24°C İORS'na göre Ağustos ayı SDS değeri Denklem (3) ile hesaplanarak aşağıda verilmiştir.

Ağustos ayı SDS değeri: $(3430 \times 0,418) = 1391,94$ (°C -saat)

Ekim ayı SDS değeri : $(3430 \times 1,3) = 44,59$ (°C-saat) olarak en yüksek ve en düşük SDS değerleri Afyon ili 24 °C sıcaklık için bulunmaktadır.

Tablo 1. Afyon İlinin Soğutma Sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

AFYON							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdeler (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
18	6,2	15,9	27,4	33,4	13,4	3,7	12410
19	5,6	15,5	28,0	34,6	13,0	3,3	10388
20	5,0	15,1	28,6	35,9	12,6	2,9	8588
21	4,3	14,6	29,3	37,2	12,1	2,5	7004
22	3,7	14,0	30,1	38,6	11,5	2,1	5626
23	3,1	13,3	30,9	40,1	10,8	1,7	4439
24	2,5	12,5	31,8	41,8	10,0	1,3	3430
25	2,0	11,6	32,8	43,5	9,1	1,0	2582
26	1,5	10,5	34,0	45,2	8,1	0,7	1887
27	1,1	9,3	35,2	47,0	6,9	0,4	1332
28	0,8	8,1	36,5	48,7	5,7	0,2	901

Tablo 2. Aydın ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

AYDIN							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdeler (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
18	9,8	20,0	25,7	23,4	14,6	6,5	27986
19	9,4	20,1	26,4	23,7	14,3	6,1	24601
20	8,9	20,2	27,1	24,1	14,1	5,6	21430
21	8,5	20,3	27,7	24,4	13,8	5,2	18501
22	8,0	20,5	28,4	24,7	13,6	4,8	15833
23	7,5	20,6	29,2	25,1	13,3	4,3	13429
24	7,0	20,7	30,0	25,5	13,0	3,8	11278
25	6,4	20,8	30,9	25,9	12,6	3,3	9365
26	5,8	20,8	31,9	26,4	12,2	2,9	7679
27	5,2	20,8	33,1	26,9	11,6	2,4	6199
28	4,5	20,8	34,4	27,5	10,8	2,0	4907

Tablo 3. Denizli ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

DENİZLİ							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdeler (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
18	0,8	21,1	29,3	27,7	15,6	5,4	22772
19	0,6	21,0	30,0	28,2	15,2	4,9	19882
20	0,4	21,0	30,8	28,8	14,7	4,4	17181
21	0,3	20,9	31,5	29,2	14,2	3,9	14686
22	0,2	20,8	32,2	29,7	13,7	3,4	12415
23	0,1	20,6	32,9	30,2	13,2	3,0	10372
24	0,1	20,5	33,7	30,7	12,6	2,5	8559
25	0,0	20,2	34,6	31,2	11,9	2,1	6966
26	0,0	19,9	35,5	31,8	11,2	1,7	5584
27	0,0	19,5	36,5	32,4	10,3	1,3	4398
28	0,0	19,0	37,7	33,0	9,3	1,0	3392

Tablo 4. İzmir ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

İZMİR							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdelik dağılımı (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
18	8,8	19,7	25,9	24,6	15,0	5,9	27555
19	8,2	19,9	26,8	25,4	14,5	5,2	23918
20	7,5	20,0	27,9	26,1	14,0	4,5	20474
21	6,9	20,0	28,9	26,9	13,4	3,9	17256
22	6,2	20,1	30,1	27,7	12,7	3,9	14296
23	5,5	20,1	31,2	28,4	12,0	3,9	11621
24	4,9	20,1	32,4	29,2	11,2	3,9	9255
25	4,2	20,0	33,7	29,9	10,4	3,9	7211
26	3,6	19,9	35,0	30,6	9,5	3,9	5489
27	3,0	19,7	36,4	31,3	8,5	3,9	4072
28	2,4	19,4	37,9	31,9	7,5	3,9	2929

Tablo 5. Manisa ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

MANİSA							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdelik dağılımı (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
18	9,1	19,8	26,2	25,0	14,6	5,3	27648
19	8,6	19,9	27,0	25,5	14,2	4,8	24263
20	8,1	20,0	27,7	26,1	13,8	4,3	21074
21	7,6	20,0	28,5	26,6	13,4	3,8	18100
22	7,2	20,1	29,2	27,1	13,0	3,4	15363
23	6,7	20,2	30,0	27,7	12,5	3,0	12882
24	6,1	20,3	30,7	28,2	12,1	2,6	10662
25	5,6	20,3	31,6	28,7	11,5	2,2	8706
26	5,0	20,4	32,6	29,3	10,9	1,8	7013
27	4,4	20,3	33,6	29,9	10,2	1,5	5562
28	3,8	20,2	34,8	30,6	9,4	1,1	4330

Tablo 6. Muğla ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

MUĞLA							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdelik dağılımı (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
18	7,2	18,0	27,9	26,8	14,9	5,1	21742
19	6,7	17,9	28,7	27,4	14,6	4,7	18793
20	6,2	17,8	29,4	28,0	14,3	4,3	16065
21	5,8	17,6	30,2	28,6	14,0	3,9	13575
22	5,3	17,4	31,0	29,2	13,6	3,5	11337
23	4,7	17,2	31,8	29,9	13,3	3,0	9348
24	4,2	16,9	32,8	30,7	12,8	2,6	7602
25	3,6	16,6	33,8	31,5	12,2	2,2	6088
26	3,1	16,1	35,0	32,5	11,5	1,8	4793
27	2,6	15,5	36,4	33,5	10,6	1,4	3700
28	2,1	14,8	37,8	34,6	9,6	1,1	2786

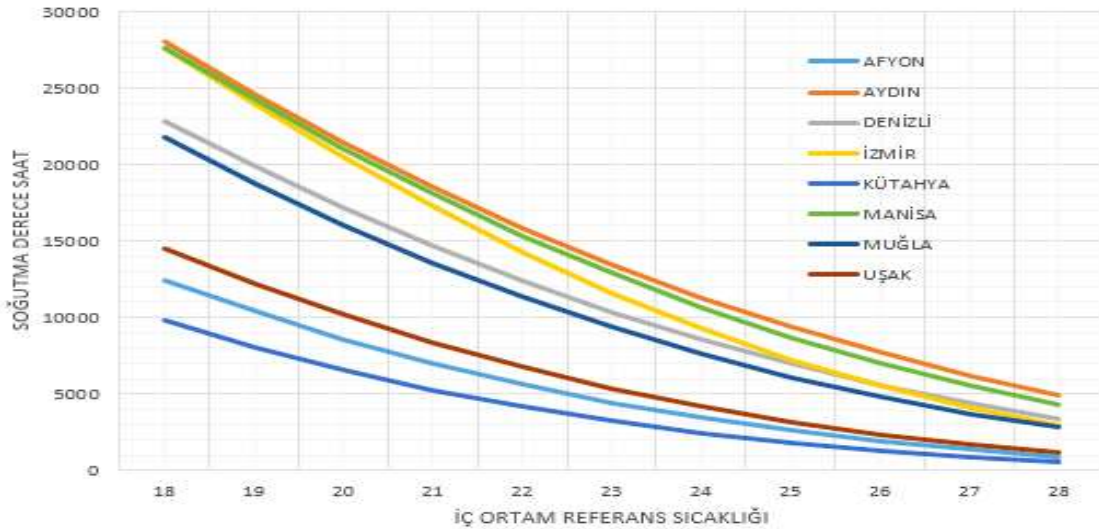
Tablo 7. Kütahya ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

KÜTAHYA							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdeler (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	
18	7,6	17,9	28,3	27,9	14,0	4,4	9766
19	7,0	17,7	29,0	28,6	13,8	4,0	8052
20	6,4	17,4	29,7	29,4	13,5	3,6	6553
21	5,7	17,1	30,5	30,3	13,2	3,2	5257
22	5,1	16,6	31,5	31,4	12,8	2,7	4151
23	4,4	16,0	32,5	32,5	12,3	2,3	3212
24	3,7	15,4	33,6	33,7	11,7	1,9	2429
25	3,0	14,5	34,8	35,1	10,9	1,6	1788
26	2,5	13,5	36,2	36,5	10,1	1,2	1279
27	2,0	12,4	37,7	37,8	9,1	0,9	885
28	1,4	11,1	39,5	39,4	7,9	0,6	588

Tablo 8. Uşak ilinin soğutma sezonundaki aylara göre, sezonluk SDS değerleri.

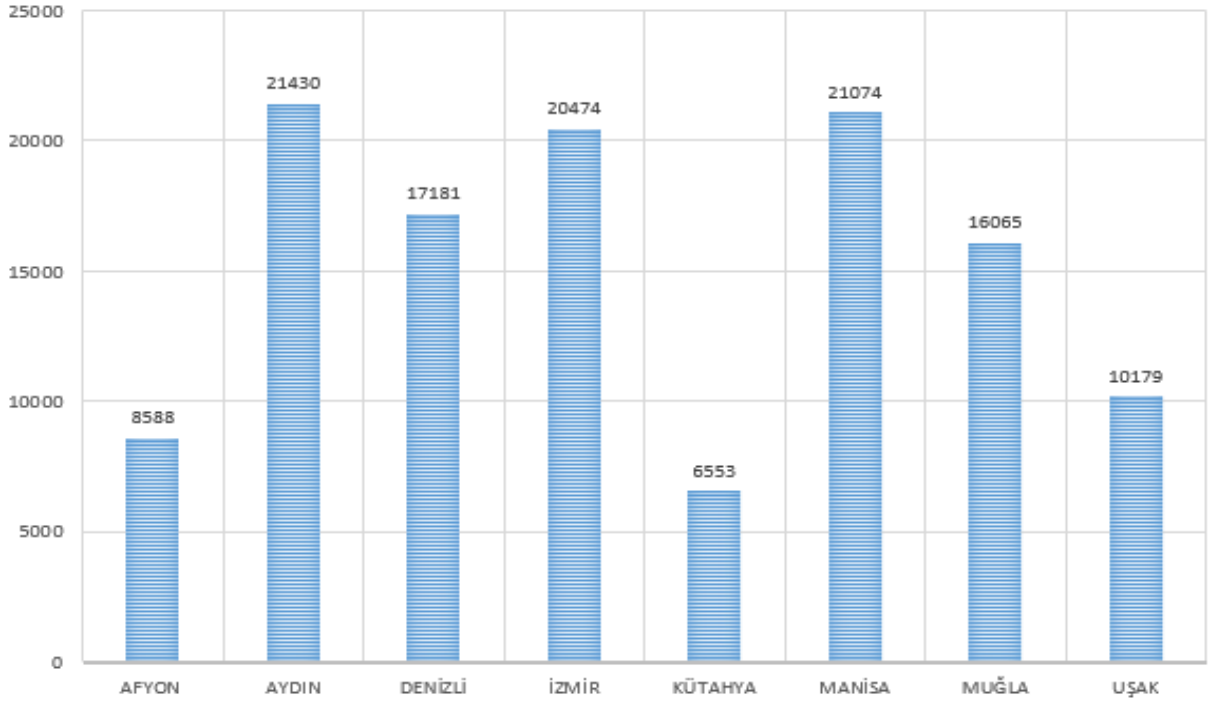
UŞAK							
İORS (°C)	Ayların toplam içindeki yüzdeler (%)						SDS [°C -saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	
18	6,5	17,1	28,9	28,6	14,5	4,4	14523
19	5,9	16,9	29,7	29,3	14,2	4,0	12233
20	5,3	16,6	30,6	30,1	13,9	3,6	10179
21	4,6	16,2	31,6	31,0	13,4	3,1	8354
22	4,0	15,8	32,7	31,9	12,9	2,7	6757
23	3,4	15,3	33,8	32,9	12,3	2,2	5374
24	2,8	14,7	35,1	34,0	11,6	1,8	4190
25	2,2	13,9	36,4	35,2	10,7	1,5	3188
26	1,7	13,0	37,9	36,5	9,7	1,1	2359
27	1,2	11,9	39,6	37,8	8,6	0,8	1687
28	0,8	10,7	41,4	39,2	7,4	0,6	1156

On bir farklı İORS'nın sezonluk SDS değerlerine etkisi Şekil 1'de sekiz il için verilmiştir.



Şekil 1. On bir farklı iç ortam sıcaklığına göre sezonluk SDS değerlerinin değişimi.

Şekil 1’de İORS (İç Ortam Referans Sıcaklığı) düşükçe SDS değerinin tüm illerde arttığı, 25 °C İORS için İzmir ve Denizli için aynı olduğu, 18-19 °C’de İORS içinde İzmir, Aydın ve Muğla illeri için eğrilerin birbirini kestiği görülmektedir. Şekil 2’ de 20 °C’de İORS’na göre SDS değerleri verilmiştir.



Şekil 2. 20 °C iç ortam sıcaklığına göre Ege Bölgesi illeri SDS değerleri.

B.1. Ege Bölgesindeki İllerin SDS Değerlerine Etkisinin Rakım, Enlem, Boylam İlişkisi Analizi

Ege bölgesindeki sekiz ilin sezonluk SDS değerleriyle rakım, enlem, boylam ilişkisi analiz edilmiştir. Analiz sonuçları tablo ve grafikler haline getirilmiştir. Ege Bölgesinde bulunan illere ait on bir farklı İORS’na göre toplam SDS değerleri, rakım, enlem ve boylamları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Farklı denge sıcaklığına göre sezonluk SDS değerleri.

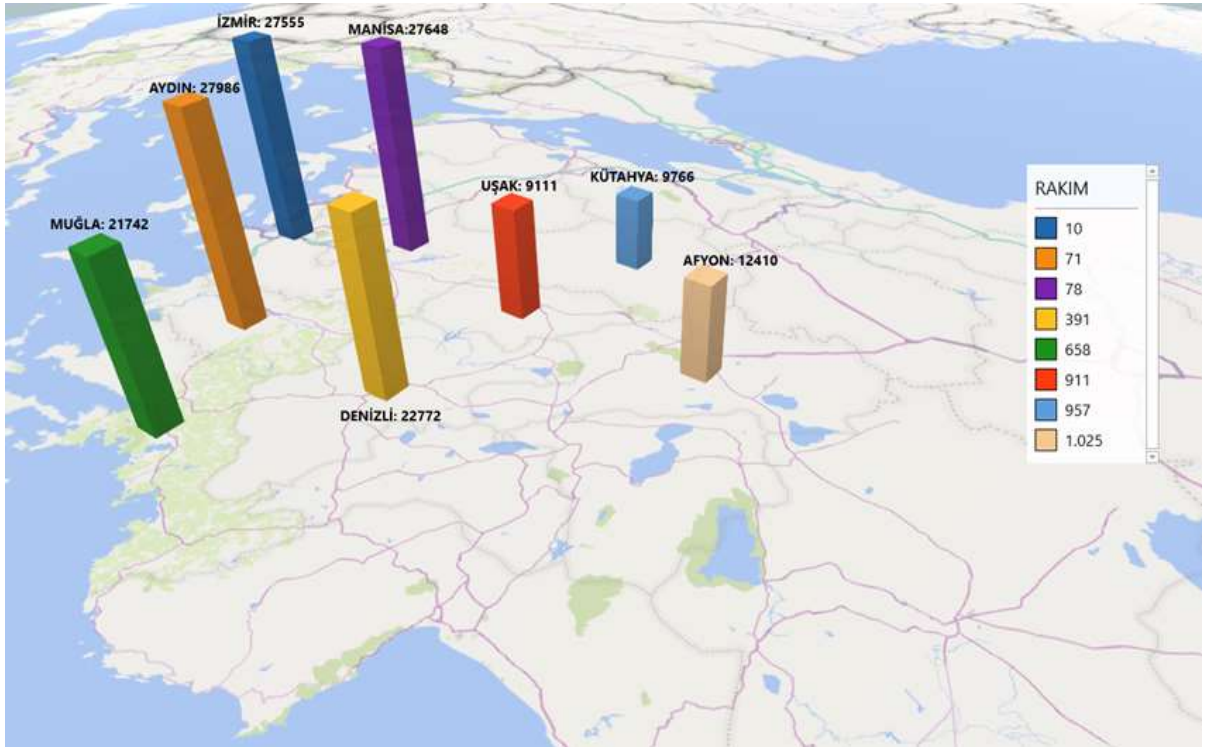
11 FARKLI İÇ ORTAM REFERANS SICAKLIĞINA GÖRE SOĞUTMA DERECE SAAT [°C -saat]														
İL	Enlem	Boylam	Rakım	İÇ ORTAM REFERANS SICAKLIĞI [°C]										
				18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
AFYON	38 45	30 33	1025	12410	10388	8588	7004	5626	4439	3430	2582	1887	1332	901
AYDIN	37 51	27 51	71	27986	24601	21430	18501	15833	13429	11278	9365	7679	6199	4907
DENİZLİ	37 46	29 06	391	22772	19882	17181	14686	12415	10372	8559	6966	5584	4398	3392
İZMİR	38 25	27 09	10	27555	23918	20474	17256	14296	11621	9255	7211	5489	4072	2929
KÜTAHYA	39 25	29 59	957	9766	8052	6553	5257	4151	3212	2429	1788	1279	885	588
MANİSA	38 36	27 26	78	27648	24263	21074	18100	15363	12882	10662	8706	7013	5562	4330
MUĞLA	37 12	38 22	658	21742	18793	16065	13575	11337	9348	7602	6088	4793	3700	2786
UŞAK	38 41	29 25	911	14523	12233	10179	8354	6757	5374	4190	3188	2359	1687	1156

Bölge içerisindeki tüm illerin derece saat değerlerinin farklı olduğu, Kütahya en küçük SDS değerlerine, Aydın'ın ise en büyük SDS değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 20°C iç ortam referans sıcaklığı (İORS) göz önüne alındığında illerin SDS değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 3'te Türkiye haritası üzerinde Ege bölgesindeki sekiz ilin rakım değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye Haritası üzerinde Ege Bölgesinin Rakımları (m).

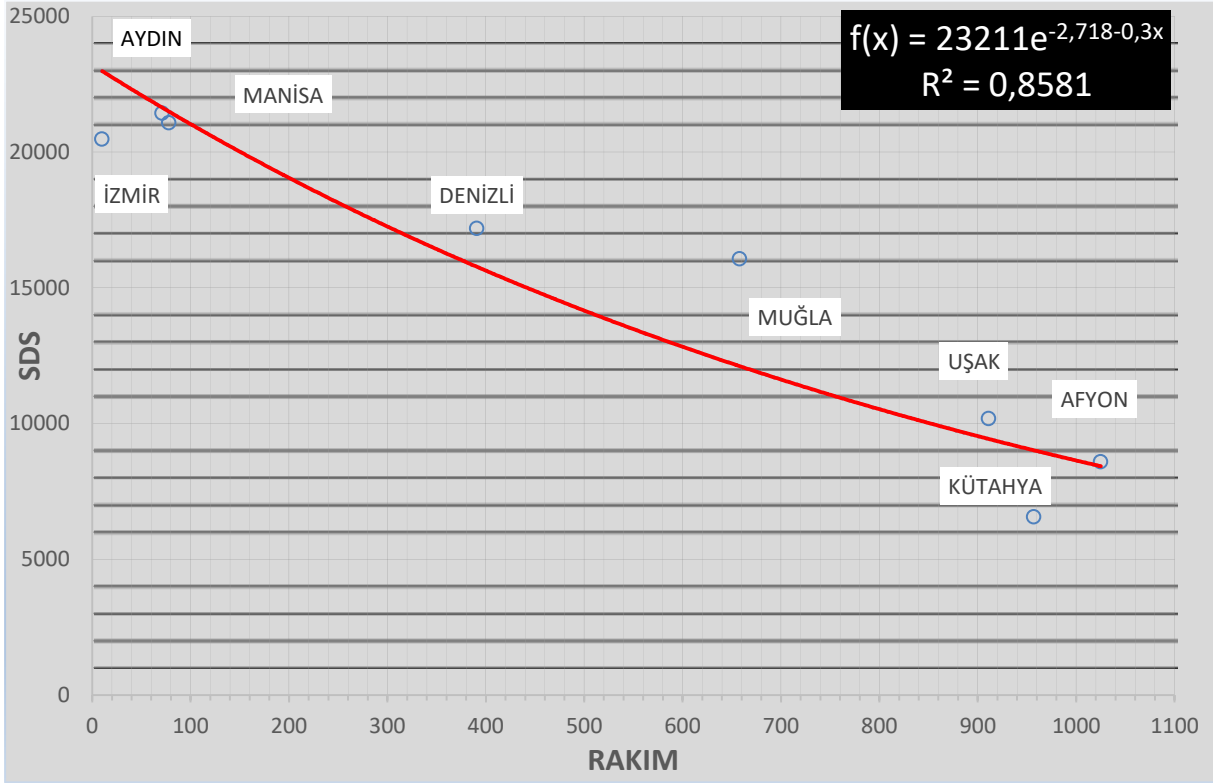
Şekil 4'te Ege bölgesi üzerinde sekiz ilin SDS değerleri verilmiştir. Şekil 4'te Rakımın SDS değerine etkisi görülmektedir.



Şekil 4. Ege bölge haritası üzerinde SDS-Rakım ilişkisinin gösterilmesi.

Şekil 4'te görüldüğü üzere rakım arttıkça SDS değerinin azaldığı görülmektedir. Tablo 9'da Afyon ve İzmir ili hariç bu durum açıkça görülmektedir. 20°C İORS için rakım SDS değeri ilişkisi Şekil 5'te verilmiştir. Bu şekilde yapılan eğri uyarlanan ve matematik modelleme işlemi sonucu Denklem 4 elde edilmiştir.

$$f(x) = 23211e^{-2,718-0,3x} \quad (4)$$



Şekil 5. Ege Bölgesi illeri için SDS rakım ilişkisi.

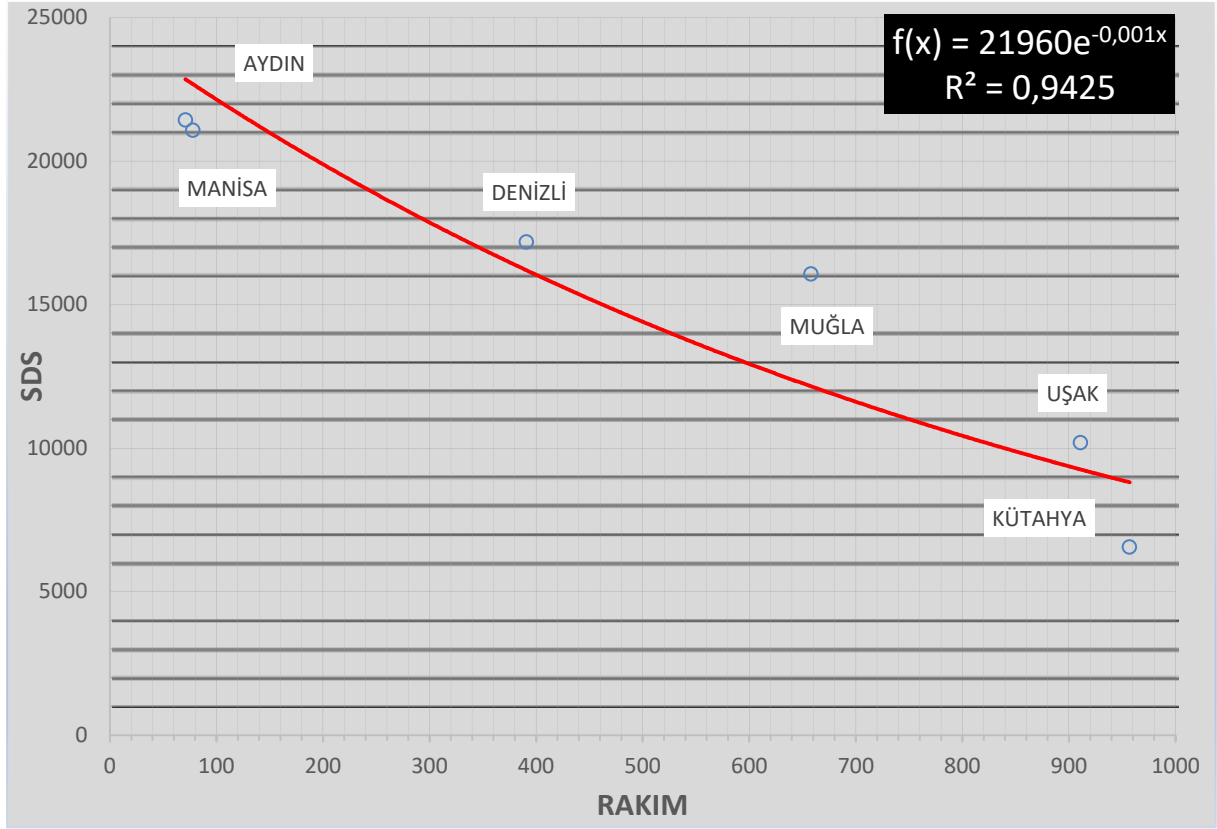
Şekil 5'te görüleceği üzere rakım arttıkça SDS değeri Denklem 4'teki gibi bir fonksiyon karakterinde yükselme-düşme davranışı göstermektedir. Uyarlanan eğri ve denklemin gerçek değerlere yakınlık ölçütü olan determinasyon katsayısı R^2 değeri 0,8581 olarak bulunmuştur. Gerçeğe yakınlık değerinin düşük çıkmasına sebep olan İzmir ve Afyon illerinin rakıma bağlı SDS davranışının Ege Bölgesindeki diğer illerin davranışlarından farklı olduğu tespit edilmiştir. İzmir ve Afyon illerine ait SDS değerleri çıkartılarak SDS ve rakım arasındaki ilişki Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'ya uyarlanan eğriyle Denklem 5 elde edilmiştir.

$$f(x) = 21960e^{-0,001x} \quad (5)$$

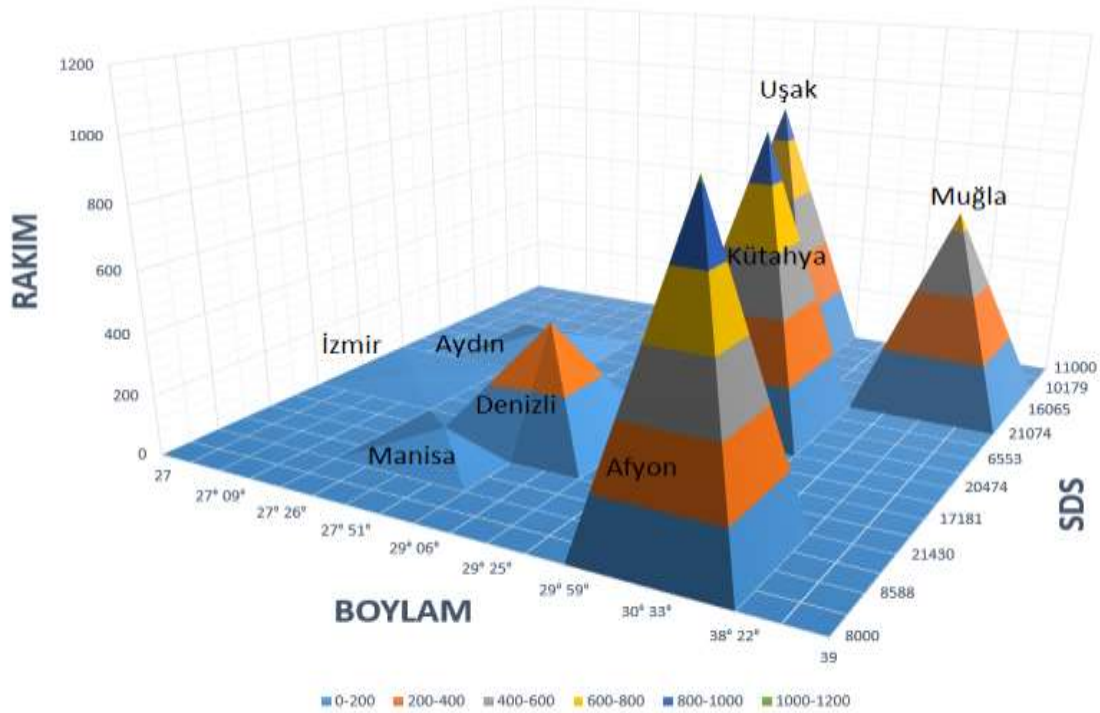
İzmir ve Afyon illerinin çıkarılmasının ardından yapılan modelleme sonucu uyarlanan eğrinin R^2 determinasyon katsayısı 0,9425 olarak belirlenmiştir. Alınan dataların gerçek zamanlı ve filtresiz datalar olduğu göz önünde bulundurulduğunda yapılan analizin gerçeğe yakın olduğu görülmektedir.

İzmir ve Afyon illerine ait SDS değerlerinin rakım ile değişim davranışı, diğer illerden farklı olduğu ve rakımına göre beklenenden yüksek olduğu görülmüştür. Karşılaşılan bu durumun İzmir için nem, Kütahya için beklenenden küçük çıkmasının nedeninin bakı etkisinden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. İzmir ve Afyon değerleri çıkarılmış olarak SDS rakım ilişkisi.

Ege bölgesindeki 8 ilin SDS değeri rakım, boylam ilişkisinin daha iyi anlaşılması için Şekil 7 oluşturulmuştur.



Şekil 7. Ege Bölgesinde bulunan illerin SDS-Rakım-Boylam ilişkisi.

Şekil 7’de Ege Bölgesinde bulunan 8 farklı il için SDS değerlerinin rakım ve enleme bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafikte X eksenini Rakım değerlerini, Y eksenini Boylam değerlerini, Z eksenini ise SDS değerlerini göstermektedir. X eksenine bağlı olarak rakım değerleri her piramit için farklı renklere ulaşmaktadır. Grafikteki her bir renk belirli rakım aralığını temsil eder. 8 il olduğundan 8 ayrı piramit elde edilmiştir. Rakım arttıkça piramit yüksekliği artmış ve renkleri iller bazında değişmiştir. Grafikteki piramitler okunacak olursa en küçük rakım İzmir iline ait olduğu en fazla rakımın ise Afyon iline ait olduğu görülmektedir. Bununla birlikte piramitlerin en uç noktası ait olduğu rakım, SDS ve enlem değerlerinin çakışma noktasıdır. Örnek olarak Afyon ili için değerler okunacak olursa; X ekseninde piramit renginden de belli olacağı üzere 1025 yüksek rakım değeri, piramit uç noktasının kestiği Y değeri 30° 33’ boylam değerini, Z eksenini kesen piramit uç değeri ise 8588 SDS değeri okunmaktadır.

III. SONUÇ

SDS Analiz çalışmaları sonucunda; SDS ile Rakım arasındaki ilişki İzmir ve Afyon illerinin etkisi olmadan Eşitlik 5’teki karakterde değiştiği görülmektedir. Bu illerin karakteristiğini bozan davranışının İzmir’de bağımlı nenden kaynaklandığı, Afyon’da ise enlem ve rüzgâr etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SDS ile rakım boylam ilişkisinin karakteristik olarak gösterdiği bir davranış tespit edilememiştir.

Sonuç olarak, yeryüzündeki sıcaklık dağılımını etkileyen önemli parametrelerden olan rakım ve enlem etkisinin yanında; bakı, nem, rüzgâr ve güneş şiddeti gibi etkilerinde dağılıma etki ettiği bilinmektedir. Enerji tüketim haritaları belirlenmesinde ve bölgelerin sınıflandırılmasında bu etkilerinde göz önünde bulundurulmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Nitekim Binalarda Isı Yalıtım Kurallarının esas alındığı TS825’te 1.Bölgede gösterilen İzmir ve 3.Bölgede gösterilen Afyon illerinin, Ege Bölgesindeki illerden daha farklı davranışlar gösterdiği saptanmıştır.

Ayrıca Ege Bölgesi için yapılan çalışmada elde edilen formülde gerçeğe yakınsama olarak bilinen determinasyon katsayısının %94 olduğu ortaya konulmuştur. Formülde bulunan ve rakım değerini belirten x parametresi ile birlikte rakımı bilinen herhangi bir yerleşim biriminin SDS değerini bulmak mümkün olacaktır. Elde edilebilecek SDS değerinin gerçek SDS değerine yakınsaması %94 olarak tespit edilmiştir.

IV.KAYNAKLAR

- [1] H. Bulut, O. Büyükalaca ve T. Yılmaz, “Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün bölgeleri,” *16.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, Türkiye, 2007, ss.1-6.
- [2] K. Papakostas and N. Kyriakis, “Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki,” *Greece Renewable Energy*, vol. 30, pp. 1873-1880, 2005.
- [3] H. Bulut, O. Buyukalaca and T. Yılmaz, “Determination and application of the data used in energy estimation methods for Istanbul,” *Proceedings of 5th International HVAC&R Technology Symposium*, İstanbul, Türkiye, pp.1-11, 2002.
- [4] H. Bulut, O. Büyükalaca and T. Yılmaz, “New Outdoor Cooling Design Data for Turkey,” *Energy*, vol. 27, no.10, 2002, pp. 923-946.
- [5] H. Bulut, O. Büyükalaca and T. Yılmaz, “New Outdoor Cooling Design Data for Turkey,” *Energy*, vol. 27, no.10, pp. 923-946, 2002.
- [6] N. Nakicenovic, A. Grübler, A. McDonald, (Eds.). *Global Energy Perspectives*. Cambridge University. 299, (1998).
- [7] Z. Oktay, C. Coskun, I. Dincer, “A new approach for predicting cooling degree hours and energy requirements in buildings,” *Energy, Elsevier*, vol. 36(8), pages 4855-4863 (2011).
- [8] C. Coskun, “A novel approach to degree-hour calculation: Indoor and outdoor reference temperature based degree-hour calculation,” *Energy* 35, pp. 2455-60,2010.
- [9] A. Satman and N. Yalçinkaya “Heating and cooling degree-hours for Turkey. *Petroleum and Natural Gas Engineering Department, Istanbul Technical University,*” *Istanbul, Turkey*, 24, 833–840, (1999).
- [10] V. Badescu and E. Zamfir, “Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures. Elsevier Energy Conversion And Management Journal,” 40(8), 885-900, (1999).
- [11] A. Bolattürk, ve C. Dağdır, “Güneşlenme şiddeti dikkate alınarak sıcak iklim bölgelerindeki binalarda optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi,” *Ulusal İklimlendirme Kongresi ve Fuarı*, Antalya, (2011).
- [12] C. Coşkun, Z. Oktay, M. Ertürk, “Konutların Isıtma Sezonunda Seçilen İç Ortam Sıcaklık Parametresinin Enerji-Maliyet-Çevre Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama Örneği,” *Tesisat Mühendisliği*, 10(22), 11-18, (2011).
- [13] A. Durmazayaz, M. Kadioğlu, Z. Şen, “An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul,” *Energy, Elsevier*, 25, 12, 1245-1256(12), (2000).
- [14] A. Durmayaz, M. Kadioğlu, “Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey,” *Energy Conversion and Management*, (2003).
- [15] M. Ertürk, H.A. Kurt, A. Kılıç, S. Kaya, “Isıtma ve Soğutma Derece Saat Hesaplamalarında Enlem-Boylam-Rakım İlişkisinin Marmara Bölgesi İçin Araştırılması,” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, s150,ss.36-52, 2015.

- [16] C. Coşkun, M. Ertürk, K. Balcı, Z. O. Coşkun, “Isıtma ve Soğutma Yüklerindeki Değişimin Uzun Dönemli tahmini: Karabük Örneği,” *1st International Conference on Energy Systems Engineering (ICESE'17)*, . Karabük, Türkiye,2017, ss. 60-65
- [17] E. Işık & M. İnallı, “Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems approaches to forecast the meteorological data for HVAC: The case of cities for Turkey,” *Energy*, 154, 7-16. (2003).
- [18] E. Işık, M. İnallı, E. Celik, “ANN and ANFIS approaches to calculate the heating and cooling degree day values: The case of provinces in Turkey,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(9), 7581-7597, (2019).
- [19] E. Işık, M. İnallı, “An artificial neural network-based approach for economic analysis of insulation thickness using heating degree-day value. *Fresenius Environmental Bulletin*,” 29 (09/2020), 7412-7424, (2020).
- [20] M. Ertürk, “Isıtma ve Soğutma Derece Saat Hesaplamalarında Farklı Bir Yöntemin Araştırılması ve Geliştirilmesi,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2012.
- [21] H. Bulut O, Büyükalaca, T. Yılmaz ve M.A. Aktacir, “GAP bölgesi için detaylı iklim verileri,” *Harran Üniversitesi GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, Şanlıurfa, Türkiye, 2002c, ss. 183-191.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

In Silico Analysis of Pulmonary Arterial Hypertension to Identify Key Biomarkers at Protein and RNA Levels

 Sevinç AKÇAY^{a,*}

^a Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Art and Sciences, Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: sevinc.akcay@ahievran.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1103902

ABSTRACT

Pulmonary arterial hypertension (PAH) is a chronic cardiopulmonary disorder marked by a raised hypertension in the pulmonary arteries. There is no remedy for PAH, existing medications can help reduce the disease's progression. This research aimed to investigate potential protein and RNA biomarkers of PAH by bioinformatic analysis. Two PAH datasets accessed from the publicly available Gene Expression Omnibus (GEO) database were used to research differentially expressed genes (DEGs). Gene Ontology (GO) and Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) pathway analyses for common DEGs were conducted by the DAVID tool. Cytoscape was used to create the protein-protein interaction (PPI) and pick the top 10 hub genes. The transcription factors (TFs) and microRNAs (miRNAs) that target DEGs and hub genes were investigated using the JASPAR database. Potential therapeutics targeting the best hub genes were researched with DGIdb database. Ten hub genes were identified to be linked to the pathogenesis of PAH (*CCL5*, *TLR4*, *TLR1*, *SPP1*, *CYBB*, *HGF*, *IGF1*, *SELL*, *CD163*, and *POSTN*). "Positive regulation of tumor necrosis factor biosynthetic process" and a "toll-like receptor signaling pathway" are the most enriched GO term and KEGG pathway, respectively. "hsa-mir-26b-5p, hsa-mir-146a-5p, hsa-mir-335-5p" and FOXC1, YY1, GATA2 are the top TFs targeting hub genes. 21 drugs targeting ten hub genes have been identified. Our results would help to identify the pathogenesis of PAH and hub genes, miRNAs, and ten TFs that might serve as potential therapeutic targets at protein and RNA levels for PAH patients.

Keywords: Pulmonary Arterial Hypertension, Biomarkers, Transcription Factors, MicroRNAs, Differentially Expressed Genes

RNA ve Protein Seviyelerinde Temel Biyobelirteçleri Belirlemek İçin Pulmoner Arteriyel Hipertansiyonun In Silico Analizi

ÖZET

Pulmoner arteriyel hipertansiyon (PAH), pulmoner arterlerde yüksek hipertansiyon ile işaretlenmiş kronik bir kardiyopulmoner bozukluktur. PAH hastalığı için kesin bir tedavi yöntemi yoktur, mevcut ilaçlar ise sadece hastalığın ilerlemesini azaltmaya yardımcı olabilir. Bu araştırma, biyoinformatik analiz yoluyla PAH'nin potansiyel protein ve RNA biyobelirteçlerini araştırmayı amaçlamıştır. Herkese açık Gene Expression Omnibus (GEO) veri tabanından erişilen iki PAH veri seti, diferansiyel olarak eksprese edilmiş genleri (DEG'ler) belirlemek için kullanıldı. Yaygın DEG'ler için Gen Ontoloji (GO) ve Kyoto Genler ve Genomlar Ansiklopedisi (KEGG) yolak analizleri DAVID aracıyla yapıldı. Cytoscape, protein-protein etkileşimini (PPI) oluşturmak ve ilk 10 aday genini seçmek için kullanıldı.

DEG'leri ve hub genlerini hedefleyen transkripsiyon faktörleri (TF'ler) ve mikroRNA'lar (miRNA'lar), JASPAR veri tabanı kullanılarak araştırıldı. En iyi ilk 10 aday geni hedefleyen potansiyel terapötikler DGIdb veritabanı ile araştırıldı. On aday geninin PAH patogeneziyle bağlantılı olduğu bulundu (*CCL5*, *TLR4*, *TLR1*, *SPP1*, *CYBB*, *HGF*, *IGF1*, *SELL*, *CD163* ve *POSTN*). “Tümör nekroz faktörü biyosentetik sürecinin pozitif regülasyonu” ve “TOLL benzeri reseptör sinyal yolu” sırasıyla en zenginleştirilmiş GO terimi ve KEGG yolağıdır. “hsa-mir-26b-5p, hsa-mir-146a-5p, hsa-mir-335-5p” ve *FOXC1*, *YY1*, *GATA2*, aday genlerini hedefleyen en iyi TF'lerdir. On aday geni hedef alan 21 ilaç belirlendi. Sonuçlarımız, PAH hastaları için protein ve RNA seviyelerinde potansiyel terapötik hedefler olarak hizmet edebilecek PAH ve aday genleri, miRNA'lar ve on TF'nin patogenezi belirlemeye yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Pulmoner Arteriyel Hipertansiyon, Biyobelirteçler, Transkripsiyon Faktörleri, MikroRNAlar, Diferansiyel Olarak Ekspres Edilen Genler

Received: 15/04/2022, Revised: 16/11/2022, Accepted: 05/12/2022

I. INTRODUCTION

Pulmonary arterial hypertension (PAH) is a chronic and rare disorder that reduces blood flow and enhances pulmonary arterial pressure (PAP) and pulmonary vascular resistance (PVR) [1]. The systolic pulmonary artery pressure in typical, healthy adults is 22–30 mmHg, the diastolic pulmonary artery pressure is 9–22 mmHg, and the mean PAP is 15–18 mmHg. The PAP in PAH patients is frequently > 25 mmHg at rest and > 30 mmHg with exercise [2].

Although recently, several investigations have been carried out to discover the etiology of PAH, its exact etiology of PAH is still unknown. The diverse etiology of PAH includes genetic, environmental, and biological components. Vasoconstriction, arterial wall remodeling, and in situ thrombosis are the important causes of PAH. Although there are different treatment options, PAH is still not completely curable. The rate of the clinical worsening of the disease can be reduced and the survival rate can be partially extended with PAH treatment. The goals of the PAH treatment are to restore the patient's functional stage, ease clinical deterioration, improve quality of life, and prolong survival. Although current treatment options improve the patient's symptoms, none of them fully treat the disease, and the mortality rate is still high. So, identifying new and reliable biomarkers that contribute to the pathogenesis of PAH is urgently needed.

Bioinformatics analysis has been extensively employed to uncover potential biomarkers of diseases by analyzing the differentially expressed genes (DEGs) in patients and normal samples [3]. Thanks to the advancement of microarray technology, identifying DEGs has become easier and faster. The quantity of Gene Expression Omnibus (GEO) data produced by microarray technology has risen recently. Several biomarkers and possible biological pathways linked to PAH have recently been uncovered [4; 5]. However, the mortality rate is still high. As a result, it's critical to find novel biomarkers for therapeutic and diagnostic purposes in PAH disease using more GSE datasets.

This study searches for biomarkers, biological pathways, and regulators using in silico tools in PAH patients. We found common DEGs across PAH patients and normal samples using two publicly available PAH GEO datasets. Additionally, we performed Gene Ontology (GO) and Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) enrichment analyses, and PPI networks of the identified DEGs were established. miRNA and TFs were also identified. Finally, possible therapeutic targets for the 10 hub genes were examined to aid in the characterization of new PAH therapeutic techniques.

II. MATERIALS AND METHODS

A. IDENTIFICATION OF DEGs FROM THE TWO DATASETS

GSE113439 and GSE117261, publicly available datasets downloaded from the GEO database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/>) [6]. While the GSE113439 dataset includes 15 PAH patients and 11 controls, the GSE117261 dataset includes 58 PAH patients and 25 controls. Information about the datasets is given in Table 1.

DEGs were found in both the patient and control datasets by the GEO2R statistical tool. The following criteria were used to choose DEGs: p -value < 0.01 , $\log_2FC \geq 1$ (up-regulated DEGs) or p -value < 0.01 and $\log_2FC \leq -1$ (down-regulated DEGs). The online Venn diagram tool was used to find common DEGs by detecting overlapping DEGs between two datasets. PANTHER database was utilized to discover the over-representation of protein categories [7]. Figure 1 illustrates the steps of our study.

Table 1. GEO datasets analyzed in the study

GEO ID	Tissue type	Case-control group	Experiment Type	Platform
GSE113439	Lung tissue	15 PAHs - 11 Control	“Expression profiling array”	by “Affymetrix Human Gene 1.0 ST Array”
GSE117261	Lung tissue	58 PAHs - 25 Control	“Expression profiling array”	by “Affymetrix Human Gene 1.0 ST Array”

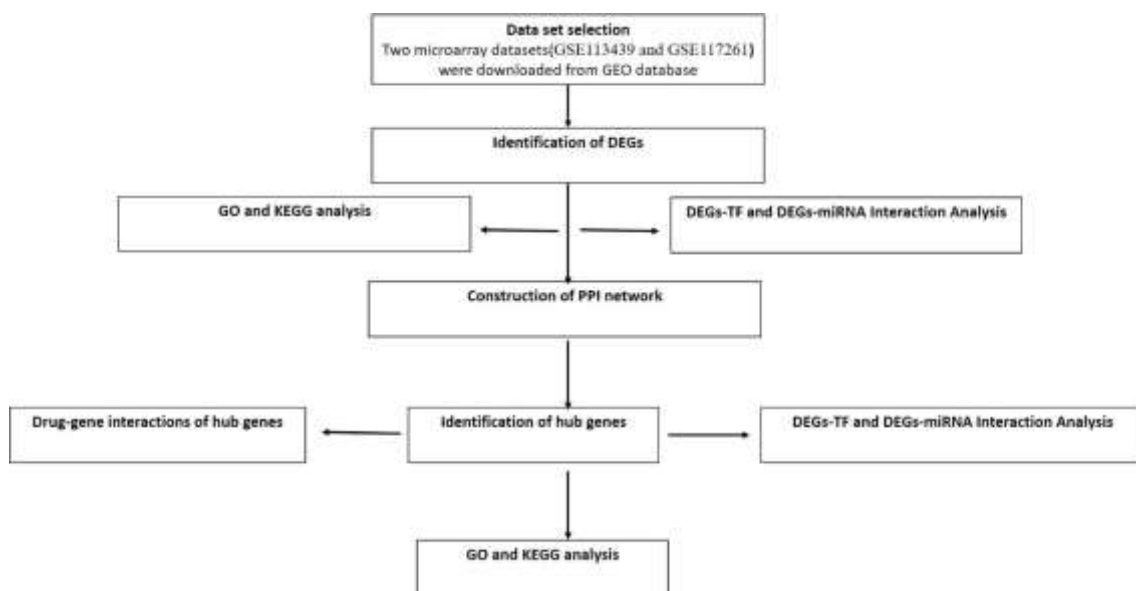


Figure 1. The workflow of the study

B. GENE ONTOLOGY AND KEGG ENRICHMENT ANALYSIS

The DAVID (The Database for Annotation, Visualization and Integrated Discovery) tool evaluated molecular pathways and their aggregation in biological processes in two datasets [8]. We accepted a *p*-value < 0.05 as the cut-off to choose GO enrichment terms (biological processes (BP), molecular functions (MF), and cellular components (CC)) and KEGG pathways.

C. PROTEIN-PROTEIN INTERACTION NETWORK ANALYSIS AND 10 HUB GENE DETECTION

The STRING tool (<https://string-db.org/>) created the protein-protein interaction (PPI) network. The PPI network was created by the PPI confidence scores greater than 0.7. The Cytohubba plug-in in Cytoscape (Cytoscape v3.7.1) software was used to get the picture of the network, and hub genes were detected. 12 methods were used by the CytoHubba plugin to find hub genes. The "degree" technique was used to choose the 10 hub genes. Furthermore, the GeneMANIA database (<https://genemania.org/>) was utilized to predict gene function and identify functionally comparable genes [9].

D. DEVELOPMENT OF TF-miRNA-GENE NETWORK

The JASPAR [10; 11] and miRTarBase [12] databases were used to look for TFs and miRNAs that influence DEGs at the transcriptional and posttranscriptional levels, respectively. The top 10 TFs and miRNAs that target common DEGs and hub genes were discovered. The NetworkAnalyst tool was also used to create DEG-TF and DEGs-miRNA networks [13].

E. DRUG-HUB GENE INTERACTION

To find prospective therapeutic targets for the top hub genes identified in our investigation, we used the DGIdb (The Drug Gene Interaction Database) database (<http://dgidb.genome.wustl.edu/>) [14]. DGIdb is a database that uses DrugBank, TDD, ChEMBL, Drug Target Commons, and PharmGKB to provide probable drug-gene interactions.

III. RESULTS

A. DEG ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF COMMON DEGs

Because of the analysis of the GSE113439 and GSE117261 datasets, 3870 DEGs in the GSE113439 datasets and 422 DEGs were identified in the GSE117261 dataset. By comparing DEGs in two datasets, 122 common DEGs were identified (Fig. 2A). While 41 DEGs were down-regulated and 81 DEGs were up-regulated in GSE113439 dataset, 57 DEGs were down-regulated and 65 DEGs were up-regulated in GSE117261 dataset. Based on their roles, 122 common DEGs were divided into 14 protein classes, including cell adhesion molecule (% 4.5), defense/immunity protein (% 4.5), extracellular matrix protein (% 4.5), gene-specific transcriptional regulator (% 10.2), intercellular signal molecule (% 14.8), metabolite interconversion enzyme (% 27.3), nucleic acid metabolism protein (% 2.3), protein modifying enzyme (% 9.1), protein-binding activity modulator (% 5.7), scaffold/adaptor protein (% 2.3), transfer/carrier protein (% 2.3), transmembrane signal receptor (% 4.5), transporter (% 6.8), and viral or transposable element protein (% 1.1) (Fig. 2B).

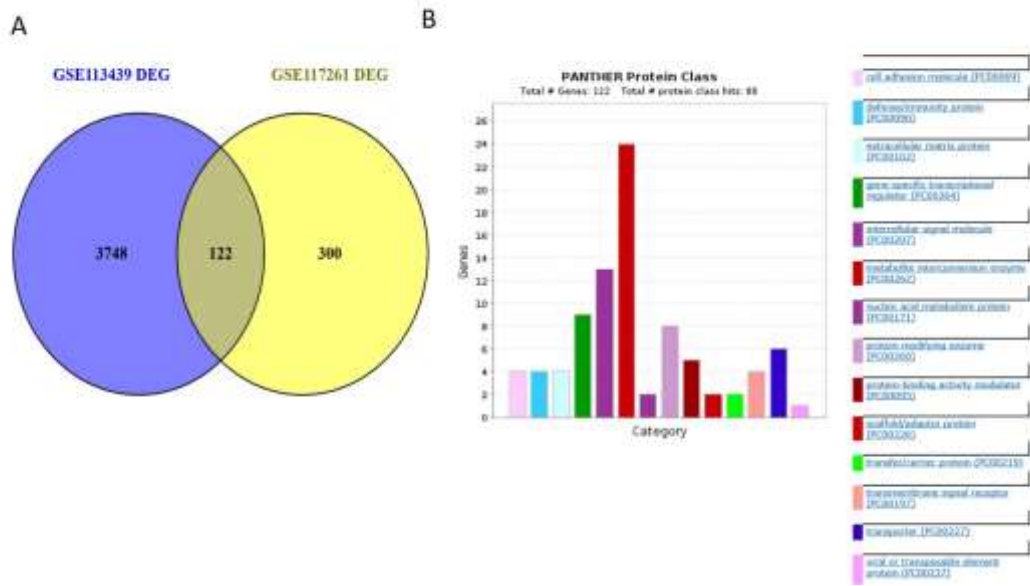


Figure 2. (A) Venn diagram of common DEGs detected in two datasets. In the Venn diagram, the two datasets overlapped by 122 genes (B) Categorization of common DEGS based on PANTHER [7] protein class.

B. FUNCTIONAL ENRICHMENT ANALYSIS OF COMMON DEGs

DAVID was used to define all DEGs based on their BPs, MFs, and CCs of the GO and KEGG pathways. Table 2 shows the top ten GO keywords in the biological process category. "Interleukin-1 beta secretion," "inflammatory response," and "cell adhesion" are the top GO terms in the BP category. "Lipopeptide binding," "heparin binding," and "growth factor activity" are the top GO keywords in the MF category. "Extracellular matrix," "extracellular exosome," and "extracellular space" are the top important GO terms in the CC category "African trypanosomiasis," "Malaria," and "Legionellosis" are the most important KEGG terms (Table 2).

Table 2. The top 10 GO terms (BP, MF, CC) and KEGG pathways

Category	Term	Genes	p-value
"BP"	'GO:005070' ~"Interleukin-1 beta secretion"	<i>NLR4, GBP5, TLR4, TLR6</i>	1.4E-5
"BP"	'GO:0006954' ~"Inflammatory response"	<i>CCL5, NLRC4, NAIP, CYBB, GBP5, ORM1, RARRES2, SPP1, TLR1, TLR4, TLR6, VNN1</i>	3.0E-4
"BP"	'GO:0007155' ~"Cell adhesion"	<i>EPHA3, WISP2, CDON, CHLI, DPT, ITGA2, MFAP4, MFGE8, POSTN, SPP1, SELL, SEMA5A</i>	1.7E-4
"BP"	'GO:0030335' ~"Positive regulation of cell migration"	<i>CCL5, EDN1, HGF, IGF1, PDGFD, PDG, FA, SEMA3D, SEMA5A</i>	1.8E-4
"BP"	'GO:0071560' ~ "Cellular response to transforming growth factor beta stimulus"	<i>CLEC3B, ARG1, EDN1, POSTN, PDGFD</i>	2.6E-4
"BP"	'GO:0014911' ~ "Positive regulation of smooth muscle cell migration"	<i>CCL5, IGF1, ITGA2, POSTN</i>	2.7E-4
"BP"	'GO:1900227' ~ "Positive regulation of NLRP3 inflammasome complex assembly"	<i>GBP5, TLR4, TLR6</i>	4.0E-4
"BP"	'GO:0002576' ~"Platelet degranulation"	<i>CLEC3B, HGF, IGF1, ORM1, PDGFA, RARRES2</i>	5.1E-4
"BP"	'GO:0048661' ~ "Positive regulation of smooth muscle cell proliferation"	<i>CCL5, EDN1, IGF1, ITGA2, PDGFD</i>	5.8E-4
"BP"	'GO:0014068' ~ "Positive regulation of phosphatidylinositol 3*kinase"	<i>CCL5, HGF, IGF1, PDGFD, PDGFA</i>	7.8E-4

	signaling”		
“MF”	‘GO:0071723’~ “Lipopeptide binding”	<i>CD1C, TLR1, TLR6</i>	1.0E-3
“MF”	‘GO:0008201’~ “Heparin binding”	<i>CLEC3B, WISP2, CCDC80, LTBP2, POSTN, SELL</i>	3.2E-3
“MF”	‘GO:0008083’~ “Growth factor activity”	<i>MACC1, AREG, HGF, IGF1, PDGFD, PDGFA</i>	3.4E-3
“MF”	‘GO:0004115’~ “3’,5’-cyclic-AMP phosphodiesterase activity”	<i>PDE1A, PDE4D, PDE8B</i>	3.8E-3
“MF”	‘GO:0004114’~ “3’,5’-cyclic-nucleotide phosphodiesterase activity”	<i>PDE1A, PDE4D, PDE8B</i>	8.9E-3
“MF”	‘GO:0004435’~ “Phosphatidylinositol phospholipase C activity”	<i>CCL5, PLCB1, PLCB4</i>	1.2E-2
“MF”	‘GO:0005509’~ “Calcium ion binding”	<i>CLEC3B, LRP4, HMCN1, LTBP2, LTBP3, MATN2, MMP8, NKD1, PLCB1, PLCB4, SULF1</i>	1.4E-2
“MF”	‘GO:0035663’~ “Toll-like receptor 2 binding”	<i>TLR1, TLR6</i>	1.9E-2
“MF”	‘GO:0030492’~ “Hemoglobin binding”	<i>HPR, HBB</i>	2.5E-2
“MF”	‘GO:0005178’~ “Integrin binding”	<i>WISP2, IGF1, ITGA2, MFGE8</i>	2.8E-2
“CC”	‘GO:0031012’~ “Extracellular matrix”	<i>CLEC3B, CDON, COL14A1, DPT, HMCN1, LTBP2, LTBP3, MATN2, MMP8, MFAP4, MFGE8, POSTN, RARRES2, TSHZ2</i>	3.4E-8
“CC”	‘GO:0070062’~ “Extracellular exosome”	<i>NT5E, ABCB1, CLEC3B, NAIP, SLC9A3R2, WISP2, ACAT2, ANO1, ARG1, CTSE, CTSF, CHL1, CLIC3, COL14A1, CR1, DPT, HPR, HMCN1, HBB, ITM2A, LTBP2, LTBP3, LRRN4, MFAP4, MFGE8, MNDA, ORM1, P115, PGD, PLCB1, PDGFD, PTGDS, RARRES2</i>	9.3E-7
“CC”	‘GO:0005615’~ “Extracellular space”	<i>CCL5, CLEC3B, TIMP4, WISP2, AREG, ARG1, CTSF, CHIT1, COL14A1, DPT, EDN1, HGF, IGF1, LTBP2, MMP8, MFGE8, ORM1, POSTN, PDGFD, PDGFA, PTGDS, SOSTDC1, SPP1, SEMA3D, SULF1</i>	1.8E-6
“CC”	‘GO:0005576’~ “Extracellular region”	<i>CCL5, CLEC3B, CD163, EPHA3, CHIT1, COL14A1, EDN1, GZMK, HPR, HBB, HGF, IGF1, IL1R2, LTBP3, MMP8, MFAP4, MFGE8, ORM1, PDHFD, PDGFA, PTGDS, RARRES2, SPP1, UACA</i>	1.0E-4
“CC”	‘GO:0005578’~ “Proteinaceous extracellular matrix”	<i>TIMP4, WISP2, CHL1, COL14A1, DPT, LTBP2, MATN2, MMP8, POSTN</i>	2.5E-4
“CC”	‘GO:0009986’~ “Cell surface”	<i>NT5E, ABCB1, FCER1G, LRP4, AREG, CR1, ITGA2, PDGFA, SLC7A11, SULF1, TLR4</i>	1.9E-3
“CC”	‘GO:0031093’~ “Platelet alpha granule lumen”	<i>HFG, IGF1, ORM1, PDGFA</i>	4.7E-3
“CC”	‘GO:0005887’~ “Integral component of plasma membrane”	<i>CD163, CD1C, EPHA3, FCER1G, ADRA1A, AQP9, CDON, CR1, CYBB, IGSF6, LRRN4, MPPI1, SELL, SLC7A11, TLR1, TLR4, TLR7</i>	1.3E-2
“CC”	‘GO:0005791’~ “Rough endoplasmic reticulum”	<i>CYBB, PTGDS, SLC7A11</i>	3.9E-2
“CC”	‘GO:0009897’~ “External side of plasma membrane”	<i>FCER1G, ITGA2, MFGE8, SELL, TLR4</i>	4.2E-2
“KEGG Pathway”	hsa05143~ “African trypanosomiasis”	<i>HPR, HBB, PLCB1, PLCB4</i>	2.9E-3
“KEGG Pathway”	hsa05144~ “Malaria”	<i>CR1, HBB, HGF, TLR4</i>	8.7E-3
“KEGG Pathway”	hsa05134~ “Legionellosis”	<i>NLR4, NAIP, CR1, TLR4</i>	1.1E-2
“KEGG Pathway”	hsa05142~ “Chagas disease”	<i>CCL5, PLCB1, PLCB4, TLR4, TLR6</i>	1.3E-2
“KEGG Pathway”	hsa04620~ “Toll-like receptor signaling pathway”	<i>CCL5, SPP1, TLR1, TLR4, TLR6</i>	1.3E-2
“KEGG Pathway”	hsa05146~ “Amoebiasis”	<i>ARG1, IL1R2, PLCB1, PLCB4, TLR4</i>	1.3E-2
“KEGG Pathway”	hsa05218~ “Melanoma”	<i>ARG1, IL1R2, PLCB1, PLCB4, TLR4</i>	2.4E-2
“KEGG Pathway”	hsa04510~ “Focal adhesion”	<i>HGF, IGF1, ITGA2, PDGFD, PDGFA, SPP1</i>	3.3E-2
“KEGG Pathway”	hsa04015~ “Rap1 signaling pathway”	<i>HGF, IGF1, PLCB1, PLCB4, PDGFD, PDGFA</i>	3.6E-4
“KEGG Pathway”	hsa054640~ “Hematopoietic cell lineage”	<i>CD1C, CR1, ITGA2, IL1R2</i>	4.0E-4

C. PPI NETWORK CONSTRUCTION AND DETECTION OF THE TOP 10 HUB GENES

PPI network analysis was conducted to find the protein-protein associations between DEGs by the STRING database. Network visualization was done with Cytoscape, while the topological computations were done with Cytohubba. The PPI networks for common DEGs were constructed with 114 nodes and 166 edges (Supplementary Figure 1). The top 10 hub genes in our dataset were described using "degree topological words" in CytoHubba. The top 10 genes are "C-C motif chemokine ligand 5 (*CCL5*), Toll-like receptor 4 (*TLR4*), Toll-like receptor 1 (*TLR1*), Secreted phosphoprotein 1 (*SPP1*), Cytochrome B-245 beta chain (*CYBB*), Hepatocyte growth factor (*HGF*), Insulin-like growth factor 1 (*IGF1*), Selectin L (*SELL*), CD163 molecule (*CD163*) and Periostin (*POSTN*)" (Table 3). We observed that 2 hub genes (*IGF1*, *POSTN*) are regulated in the same direction and 8 hub genes (*CCL5*, *CYBB*, *TLR4*, *CD163*, *SELL*, *HGF*, *SPP1* and *TLR1*) are regulated in opposite directions in two datasets. *IGF1* and *POSTN* are up-regulated in two datasets. While *CLL5* is down-regulated in GSE113439 dataset and up-regulated in GSE117261 dataset. *CYBB*, *TLR4*, *CD163*, *SELL*, *HGF*, *SPP1* and *TLR1* are up-regulated in GSE113439 dataset, they are down-regulated in GSE113439 dataset. Fig 3A shows the PPI network of 10 hub genes. 10 hub genes were also analyzed for GO and KEGG terms (Table 4). The top GO term in the BP category is "positive regulation of tumor necrosis factor biosynthetic process," the top GO term in the MF category is "protein binding," and the top GO term in the CC category is "extracellular space." The top KEGG term is "toll-like receptors signaling pathway (Table 4). We also created a PPI network of common DEGs by the GeneMANIA to discover functionally similar genes and predict gene functions. "Detection of external biotic stimulus," "detection of biotic stimulus," "detection of other organism," "granulocyte chemotaxis," "myeloid leukocyte migration," "leukocyte migration," and "granulocyte migration" are the possible gene functions based on the PPI network (Fig. 3B).

Table 3. The top 10 hub genes in the PPI network

Gene ID	Betweenness	BottleNeck	Closeness	Clustering Coefficient	Degree	DNMC	EcCentricity	EPC	MCC	MNC	Radiality	Stress
<i>CCL5</i>	16.5	7	8.5	0.53	8	0.43736	0.5	4.841	72.	8	3.33	50
<i>TLR4</i>	16.5	3	8.5	0.53	8	0.43736	0.5	4.859	72	8	3.33	50
<i>TLR1</i>	0.5	1	6.83	0.9	5	0.58344	0.3333	4.04	48	5	2.88	2
<i>SPP1</i>	4	2	7	0.8	5	0.51861	0.5	3.906	30	5	3	20
<i>CYBB</i>	0.5	1	6.83	0.9	5	0.58344	0.3333	4.082	48	5	2.88	2
<i>HGF</i>	4	1	7	0.8	5	0.51861	0.5	4.075	30	5	3	20
<i>IGF1</i>	4	1	7	0.8	5	0.51861	0.5	3.977	30	5	3	20
<i>SELL</i>	0	1	6.33	1	4	0.56839	0.3333	3.833	24	4	2.77	0
<i>CD163</i>	0	1	6.33	1	4	0.56839	0.3333	3.794	24	4	2.77	0
<i>POSTN</i>	0	1	5.33	1	3	0.546346	0.3333	3.069	6	3	2.33	0

Table 4. The top five enriched GO and KEGG terms of ten hub genes of PAH

Category	Term	p-value	Genes
"BP"	'GO:0042535'~ "Positive regulation of tumor necrosis factor biosynthetic process"	1.4E-5	<i>TLR1</i> , <i>CYBB</i> , <i>TLR4</i>
"BP"	'GO:0006954'~ "Inflammatory response"	2.9E-5	<i>TLR1</i> , <i>CCL5</i> , <i>SPP1</i> , <i>CYBB</i> , <i>TLR4</i>
"BP"	'GO:0014911'~ "Positive regulation of smooth muscle cell migration"	4.8E-5	<i>POSTN</i> , <i>CCL5</i> , <i>IGF1</i>

“BP”	‘GO:0014068’~ “Positive regulation of phosphatidylinositol 3-kinase signaling”	5.2E-4	<i>CCL5, HGF, IGF1</i>
“BP”	‘GO:0000187’~ “Activation of MAPK activity”	1.4E-3	<i>HGF, IGF1, TLR4</i>
“MF”	‘GO:0005515’~ “Protein binding”	2.8E-3	<i>TLR1, CD163, POSTN, SELL, CCL5, HGF, SPP1, CYBB, IGF1, TRLA</i>
“MF”	‘GO:0042056’~ “Chemoattractant activity”	1.4E-2	<i>CCL5, HGF</i>
“MF”	‘GO:0046982’~ “Protein heterodimerization activity”	2.4E-2	<i>TLR1, HGF, CYBB</i>
“MF”	‘GO:0050839’~ “Cell adhesion molecule binding”	3.3E-2	<i>POSTN, SELL</i>
“MF”	‘GO:0008201’~ “Heparin binding”	8.2E-2	<i>POSTN, SELL</i>
“CC”	‘GO:0005615’~ “Extracellular space”	2.8E-3	<i>POSTN, CLL5, HGF, SPP1, IGF1</i>
“CC”	‘GO:0005887’~ “Integral component of plasma membrane”	3.3E-3	<i>TLR1, CD163, SELL, CYBB, TLR4</i>
“CC”	‘GO:0005576’~ “Extracellular region”	5.3E-3	<i>CD163, CCL5, HGF, SPP1, IGF1</i>
“CC”	‘GO:0031093’~ “Platelet alpha granule lumen 2”	2.7E-2	<i>HGF, IGF1</i>
“CC”	‘GO:0030670’~ “Phagocytic vesicle membrane”	2.9E-2	<i>TLR1, CYBB</i>
“KEGG Pathway”	hsa04620~ “Toll-like receptor signaling pathway”	1.2E-4	<i>TLR1, CCL5, SPP1, TLR4</i>
“KEGG Pathway”	hsa04151~ “PI3K-Akt signaling pathway”	3.8E-3	<i>HGF, SPP1, IGF1, TLR4</i>
“KEGG Pathway”	hsa05205~ “Proteoglycans in cancer”	1.6E-2	<i>HGF, IGF1, TLR4</i>
“KEGG Pathway”	hsa04510~ “Focal adhesion”	1.7E-2	<i>HGF, SPP1, IGF1</i>
“KEGG Pathway”	hsa05144~ “Malaria”	4.9E-2	<i>HGF, TLR4</i>

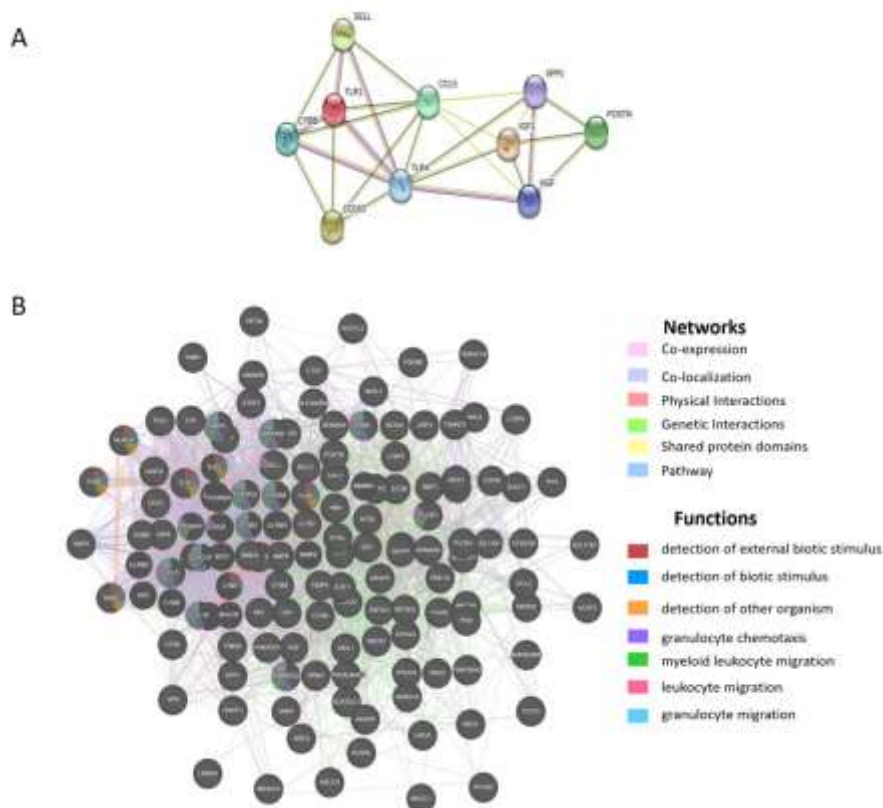


Figure 3. (A) The PPI network of hub genes created by STRING and presented by the Cytoscape, (B) The PPI network of common DEGs created by the GeneMANIA.

D. DEVELOPMENT OF TF-miRNA-GENE NETWORK

To discover the mechanisms and regulatory networks of the hub genes, DEGs, TFs, and miRNAs were analyzed. In this study, miRNA-DEGs and TF-DEGs were identified, and the top 10 TFs and miRNAs related to common DEGs are listed in Supplementary Table 1.

8 miRNAs (“hsa-mir-26b-5p, hsa-mir-146a-5p, hsa-mir-335-5p, hsa-mir-26a-5p, hsa-mir-98-5p, hsa-mir-199a-3p, hsa-mir-1-3p, hsa-mir-106b-5p”) were detected that regulate two or more hub genes. FOXC1, YY1, GATA2, FOXL1, POU2F2, CREB1, STAT3, HINFP, NR3C1, and FOXI1 are top 10 TFs related to 10 hub genes in our study (Fig. 4A, 4B, 4C).

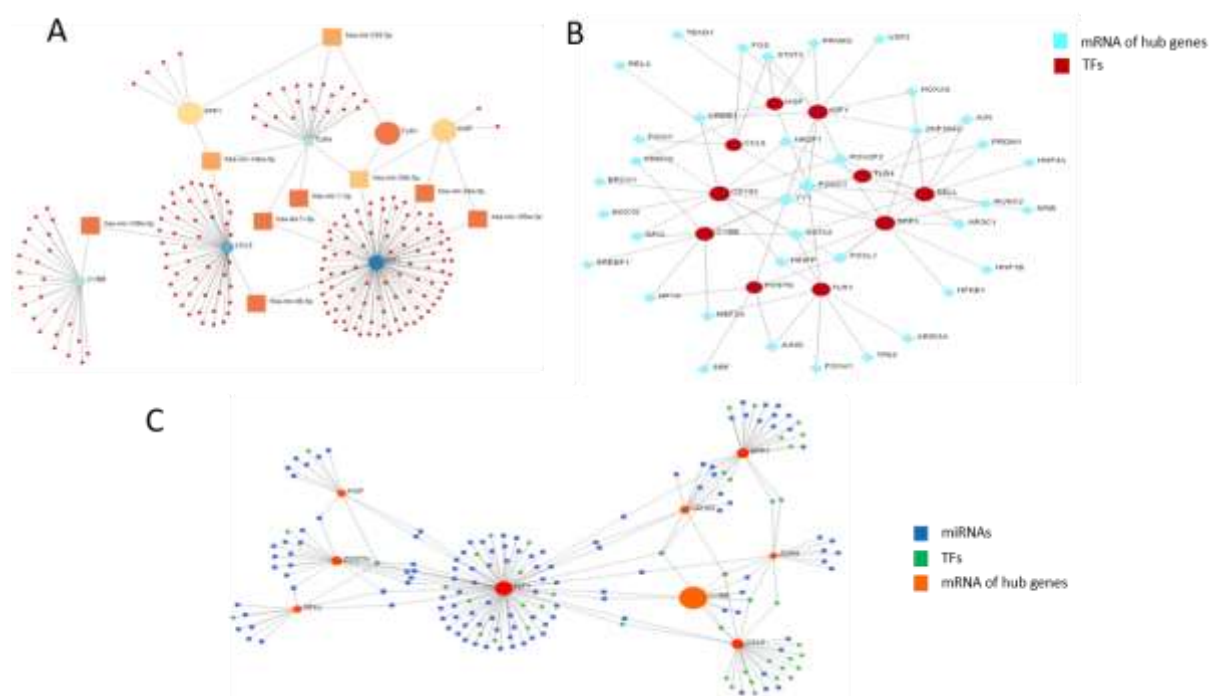


Figure 4. (A) miRNA-mRNA network of hub genes. The circle shows mRNA of hub genes and the square shows predicted miRNA, (B) TF-mRNA network. The red shows the mRNA hub genes, the blue shows the TF (C) TF-miRNA regulatory network. The blue shows predicted miRNAs, the green shows TFs, the orange shows mRNA of hub genes.

E. DRUG-GENE INTERACTION ANALYSIS

DGIdb results showed that 5 hub genes out of 10 hub genes showed interactions with drugs approved by the Food and Drug Administration (FDA). TLR4 has eight (Eritoran, Nelfinavir, Saquinavir, Tacrolimus, Ritonavir, Infliximab, Pravastatin and Methotrexate) drug targets, SPP1 has five (Calcitonin, Tacrolimus, Wortmannin, Alteplase and Gentamicin) drug targets, CYBB has three (Chrysin, Apigenin and Luteolin) drug targets, HGF has four (Imatinib Mesylate, Wortmannin, Reserpine and Epigallocatechin Gallate) drug targets, and SELL has one (Rivipansel) drug target (Table 5).

Table 5. Candidate drugs targeting hub genes with PAH

Gene	Drug	Sources	PMID
TLR4	Eritoran	TTD	16820585

TLR4	Nelfinavir	NCI	15388451
TLR4	Saquinavir	NCI	15388451
TLR4	Tacrolimus	PharmGKB	24820765
TLR4	Ritonavir	NCI	15388451
TLR4	Infliximab	NCI	12847679
TLR4	Pravastatin	PharmGKB	12742999
TLR4	Methotrexate	PharmGKB	20136356
SPP1	Calcitonin	NCI	8013390
SPP1	Tacrolimus	NCI	16103732
SPP1	Wortmannin	NCI	14703434
SPP1	Alteplase	NCI	12009309
SPP1	Gentamicin	NCI	11274264
CYBB	Chrysin	DTC	23786520
CYBB	Apigenin	DTC	23786520
CYBB	Luteolin	DTC	23786520
HGF	Imatinib Mesylate	NCI	113439348
HGF	Wortmannin	NCI	9603913
HGF	Reserpine	NCI	16081063
HGF	Epigallocatechin Gallate	NCI	16449979
SELL	Rivipansel	TTD	20508165

III.DISCUSSION

PAH is one of the rare forms of pulmonary hypertension (PH) that is marked by a rise in average pulmonary artery pressure and vascular resistance. Although significant improvement has been achieved in the pathogenesis of PAH made recently, diagnosing PAH remains challenging. The pathogenesis of PAH includes mutations, immune dysfunction, and inflammation.

Thanks to the development of microarray technology, several biomarkers for PAH have been identified recently. Although some novel biomarkers for PAH have been identified recently, greater knowledge of the disease's molecular pathogenesis will help the discovery of new treatment options. Reliable and specific biomarkers for PAH are urgently needed to diagnose this disease. Our study aims to find possible biomarkers and molecular pathways for PAH by analyzing the gene expression data. We searched for PAH GSE datasets in the NCBI GSE website. Although there are several PAH datasets [4; 15; 16], we chose two datasets (GSE113439 and GSE117261) based on the following criteria: a. datasets which used the same platform (GPL6244), b. datasets include a minimum of 15 PAH samples. One recent study which only used GSE117261 dataset identified potential hub genes, biomarkers, miRNAs and TFs [4], but our study used two datasets which confirm and strengthen the results of that study.

Hub genes, TFs, mRNAs, and miRNAs were identified to be involved in the pathobiology of PAH. There were 122 common DEGs found between the two datasets. We uncovered 10 genes that may have roles in the molecular etiology of PAH (*CCL5*, *TLR4*, *TLR1*, *SPP1*, *CYBB*, *HGF*, *IGF1*, *SELL*, *CDI63*, and *POSTN*). *CLL5* and *SPP1* are also found to be the hub genes related to PAH previously [4]. We also looked into GO and KEGG pathway analysis of common DEGs and identified 10 hub genes to interpret the genes biologically. The most enriched GO terms of common DEGs in the BP, MF, and CC categories are “interleukin-1 beta secretion”, “lipopeptide binding” and “extracellular matrix” respectively. The most enriched GO terms of 10 hub genes in the BP, MF, and CC categories are “positive regulation of tumor necrosis factor biosynthetic process”, “protein binding”, and “extracellular space.” One of the top GO terms in the BP category is “inflammatory response” in our study. Previous research has shown inflammation as a significant factor in the progression of PAH.

[17]. Inflammatory response and extracellular matrix were also revealed to be the most enriched GO terms in BP and CC terms, according to a recent study [18]. Our findings support that inflammation may be an important disease-related factor in PAH [17]. In previous research, extracellular matrix remodeling was found to contribute to the molecular etiology of PAH. [19]. This data, combined with our data, confirms that the extracellular matrix also plays a crucial role in the pathobiology of PAH. Because of the inflammatory changes, PAH is also accepted as an auto-inflammatory disease [20]. Immune imbalances play a key part in the development of IPAH [21]. Overall, our findings on the inflammatory response, TLR signaling pathway, and PI3K-Akt signaling pathway changes support the idea that inflammation is an important pathobiological mechanism of PAH.

We found that the TLR pathway is one of the top 10 enriched KEGG terms related to common DEGs and the most enriched KEGG term related to 10 hub genes. Previous research has shown the relevance of the TLR pathway in PAH, which is supported by our findings. [22]. PI3K-Akt signaling pathway was the second most enriched KEGG term related to 10 hub genes. Previous research has shown the important role of the PI3K-Akt signaling pathway in PAH [23; 24].

The interactions between DEGs, TFs, and miRNAs were also analyzed. We identified ten TFs (FOXC1, GATA2, YY1, FOXL1, NFKB1, PDEUD, POU2F2, NFK, HINFP, and JUN) and ten miRNAs (“hsa-mir-335-5p, hsa-mir-92a-3p, hsa-mir-1-3p, hsa-mir-124-3p, hsa-mir-155-5p, hsa-mir-190a-3p, hsa-mir-5011-5p, hsa-mir-16-5p, hsa-mir-19b-3p, and hsa-mir-15b-5p”) that regulate the common DEGs of PAH. The miRNAs are important in the etiology of PAH, particularly affecting cell proliferation of pulmonary artery smooth muscle cells and fibroblasts and apoptosis [25]. Previous studies showed that PAH patients had downregulation in miR-124 [26]. Additionally, the interactions between 10 hub genes and TFs and miRNAs were analyzed. We detected 8 miRNAs (“hsa-mir-26b-5p, hsa-mir-146a-5p, hsa-mir-335-5p, hsa-mir-26a-5p, hsa-mir-98-5p, hsa-mir-199a-3p, hsa-mir-1-3p, hsa-mir-106b-5p”) that regulate the two or more hub genes. We also identified 10 TFs (FOXC1, YY1, GATA2, FOXL1, POU2F2, CREB1, STAT3, HINFP, NR3C1, and FOXI1) as the top 10 TFs related to the identified 10 hub genes in our study. One previous study identified hsa-mir-199a-3p and hsa-mir-26b-5p as miRNAs related to IPAH [27]. FOXC1, FOXL1, GATA2, YY1, and JUN were compatible with previous studies [28; 29]. Identified miRNAs may serve as great biomarkers for PAH.

The identified hub genes in our study might contribute to the pathobiology and treatment of PAH. SPP1 gene is a matrix phosphoglycoprotein that has roles in cell adhesion, inflammatory response, and osteoblast differentiation. SPP1 gene was also identified as a hub gene for PAH by a previous comprehensive gene expression analysis, which verifies our findings [28; 29]. The role of the SPP1 gene in the proliferation of pulmonary vascular smooth muscle cells (PVSMCs) has previously been demonstrated [29]. The increase in the expression of the SPP1 gene in PAH has also been shown [30]. SPP1 has also been identified as a hub gene for idiopathic pulmonary arterial hypertension (IPAH) [27]. Previous studies showed that CCL5 was also identified as a hub gene in PAH [31]. CCL5 has been proven to have a significant function in pulmonary vascular remodeling in the past. [31]. CCL5 has also been identified as a hub gene for IPAH [32].

Although the association between PAH and inflammation is strong, the exact mechanism contributing to PAH is still unclear. One of the top 10 KEGG pathways we found in our research is the toll-like receptor signaling (TLR) pathway. TLR3 and TLR4 appear to have crucial roles in the pathobiology of PAH, according to recent research. TLR4 may play a role in endothelial-to-mesenchymal transition and pulmonary vascular remodeling (EndMT) [33; 34]. PAH is linked to pulmonary vascular inflammation and immune dysregulation, both of which are influenced by TLR4 signaling pathways. [35]. One study also showed that PAH patients have TLR3 deficiency [36]. TLR1 and TLR4, which we identified as hub genes in our study that play an important role in TLR signaling, confirmed by previous studies. Based on these results, TLR4 might be a crucial therapeutic target for treating PAH patients. HGF is a hepatocyte growth factor. One study showed that HGF has an anti-inflammatory activity that makes it a great treatment target for PAH [37]. IGF1 has been linked to the proliferation of smooth muscle cells in the pulmonary artery in PAH patients. [38]. CD163 was modulated in PAMCS [39] POSTN is involved in vascular injury and smooth muscle cell proliferation [40]. High

expression of POSTN was discovered in PA and IPAH patients [41]. POSTN was shown to be a great treatment target for pulmonary hypertension [42].

We found that eritoran was the top drug target for the TLR4 gene. Eritoran a TLR4 receptor antagonist was found to heal inflammation by inhibiting the TLR4 signaling pathway in a mouse model with chronic liver injury [43]. Our finding, that the TLR4 signaling pathway is one of the top-enriched KEGG pathways, also supports Eritoran may be a good treatment candidate for PAH, especially for treating inflammation-based symptoms of the disease. We found that chrysin is the top drug target for the CYBB gene. Previous studies have shown that chrysin heals chronic hypoxia-induced pulmonary hypertension in rat models [18; 44]. Imatinib, another top drug target for HGF, was shown to alleviate PAH patients' symptoms [45]. Overall, these medicines that target the hub genes identified in our investigation may be good candidates for future PAH treatment studies.

Our study has two main limitations. Our study's first limitation is the small sample size; we used two GEO datasets of PAH. Our results need to be confirmed by more datasets. The second limitation of our study is that our study is only an in silico analysis. Our in silico findings have to be validated in vivo and in vitro experiments.

IV. CONCLUSION

In conclusion, we detected DEGs and associated functional terminology pathways using in silico analysis. *CCL5*, *TLR4*, *TLR1*, *SPP1*, *CYBB*, *HGF*, *IGF1*, *SELL*, *CD163*, and *POSTN* genes were identified to be strong prospective therapeutic biomarkers at the protein level in our study. The enrichment analysis of hub genes identified RNA-based therapeutic biomarkers “hsa-mir-26b-5p, hsa-mir-146a-5p, hsa-mir-335-5p, hsa-mir-26a-5p, hsa-mir-98-5p, hsa-mir-199a-3p, hsa-mir-1-3p, hsa-mir-106b-5p.” We also identified 10 TFs (FOXC1, YY1, GATA2, FOXL1, POU2F2, CREB1, STAT3, HINFP, NR3C1, and FOXI1) that regulate the top 10 hub genes in our study. Our findings will aid in the understanding of PAH pathophysiology and molecular processes.

V. REFERENCES

- [1] R.M. Tuder, S.L. Archer, P. Dorfmueller, S.C. Erzurum, C. Guignabert, E. Michelakis, M. Rabinovitch, R. Schermuly, K.R. Stenmark, N.W. Morrell, “Relevant issues in the pathology and pathobiology of pulmonary hypertension,” *J Am Coll Cardiol*, 62(25 Suppl):D4–12, 2013.
- [2] G. Simonneau, D. Montani, D.S. Celermajer, et al., “Haemodynamic definitions and updated clinical classification of pulmonary hypertension,” *Eur Respir*, 53(1), 2019.
- [3] J. Gauthier, A.T. Vincent, S.J. Charette, & N. Derome, “A brief history of bioinformatics,” *Briefings in Bioinformatics*, 20(6), 1981–1996, 2019.
- [4] Y. Zeng, N. Li, Z. Zheng, R. Chen, M. Peng, W. Liu, J. Zhu, M. Zeng, J. Cheng, C. Hong, “Screening of Hub Genes Associated with Pulmonary Arterial Hypertension by Integrated Bioinformatic Analysis,” *BioMed Research International*, vol. 2021, 16 pages, 2021.
- [5] R.Q. Wei, W.M. Zhang, Z. Liang, C. Piao, G. Zhu, “Identification of Signal Pathways and Hub Genes of Pulmonary Arterial Hypertension by Bioinformatic Analysis,” *Canadian Respiratory Journal*, vol. 2022, 12 pages, 2022.
- [6] R. Edgar, M. Domrachev, A.E. Lash, “Gene Expression Omnibus: NCBI gene expression and hybridization array data repository,” *Nucleic Acids Res*, 30(1):207-10, 2002.

- [7] P. Thomas, D. Ebert, A. Muruganujan, T. Mushayahama, L.P. Albou and H. Mi, “PANTHER: Making genome-scale phylogenetics accessible to all,” *Protein Society*, 31(1):8-22, 2022.
- [8] D.W. Huang, B.T. Sherman, R.A. Lempicki, “Systematic and integrative analysis of large gene lists using DAVID Bioinformatics Resource,” *Nature Protoc*, 4(1):44-57, 2009.
- [9] D. Warde-Farley, S.L. Donaldson, O. Comes, K. Zuberi, R. Badrawi, P. Chao, M. Franz, C. Grouios, F. Kazi, C.T. Lopes, A. Maitland, S. Mostafavi, J. Montojo, Q. Shao, G. Wright, G.D. Bader, & Q. Morris, “The GeneMANIA prediction server: biological network integration for gene prioritization and predicting gene function,” *Nucleic acids research* 38(Web Server issue), W214–W220, 2010.
- [10] J. Xia, E.E. Gill, and R.E. Hancock, “NetworkAnalyst for statistical, visual and network-based meta-analysis of gene expression data,” *Nat. Protoc*, 10,823–844, 2015.
- [11] A. Khan, O. Fornes, A. Stigliani, M. Gheorghe, J.A. Castro-Mondragon, R. Van Der Lee et al., “JASPAR 2018: update of the open-access database of transcription factor binding profiles and its web framework,” *Nucleic Acids Res*, 46, D260–D266, 2018.
- [12] H. Sheng-Da, L. Feng-Mao, W. Wei-Yun, L. Chao, H. Wei-Chih, C. Wen-Ling, T. Wen-Ting, C. Goun-Zhou, L. Chia-Jung, C. Chih-Min, C. Chia-Hung, W. Ming-Chia, H. Chi-Ying, T. Ann-Ping, H. Hsien-Da, “ miRTarBase: a database curates experimentally validated microRNA–target interactions,” *Nucleic Acids Research Volume*, 39, Issue suppl_1, Pages D163–D169, 2011.
- [13] J. Xia, E.E. Gill, R.E. Hancock., “NetworkAnalyst for statistical, visual and network-based meta-analysis of gene expression data,” *Nat Protoc*, 10(6):823-44, 2015.
- [14] K.C. Cotto, A.H. Wagner, Y.Y. Feng, S. Kiwala, A.C. Coffman, G. Spies, A. Wollam, N.C. Spies, O.L. Griffith, & M. Griffith, “DGIdb 3.0: a redesign and expansion of the drug-gene interaction database,” *Nucleic Acids Research* 46(D1), D1068–D1073, 2018.
- [15] Y.D. Zhao, H.Z.H. Yun, J. Peng, L. Yin et al., “De novo synthesise of bile acids in pulmonary arterial hypertension lung,” *Metabolomics*, 10(6):1169-1175, 2014.
- [16] R. Rajkumar, K. Konishi, T.J. Richards, D.C. Ishizawar et al., “Genomewide RNA expression profiling in lung identifies distinct signatures in idiopathic pulmonary arterial hypertension and secondary pulmonary hypertension,” *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 298(4):H1235-48, 2010.
- [17] E. Soon, A. Crosby, M. Southwood, P. Yang, T. Tajsic, M. Toshner, S. Appleby, C.M. Shanahan, K.D. Bloch, J. Pepke-Zaba, P. Upton, N.W. Morrell N, “Bone morphogenetic protein receptor type II deficiency and increased inflammatory cytokine production. A gateway to pulmonary arterial hypertension,” *Am J Respir Crit Care Med*, 192:859–72, 2015.
- [18] H. Dong, X. Li, M. Cai, C. Zhang, W. Mao, Y. Wang, Q. Xu, M. Chen, L. Wang, X. Huang, “Integrated bioinformatic analysis reveals the underlying molecular mechanism of and potential drugs for pulmonary arterial hypertension,” *Aging (Albany NY)*, 13:14234-14257, 2021.
- [19] T. Thenappan, S.Y. Chan, E.K. Weir, “Role of extracellular matrix in the pathogenesis of pulmonary arterial hypertension,” *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 315:H1322–31, 2018.
- [20] M. Rabinovitch, C. Guignabert, M. Humbert, et al, “Inflammation and immunity in the pathogenesis of pulmonary arterial hypertension,” *Circ Res*, 115 (1):165–175, 2014.

- [21] L.M. Marsh, K. Jandl, G. Grünig, et al., “The inflammatory cell landscape in the lungs of patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension,” *Eur Respir J*, 51 (1):1701214, 2018.
- [22] R.S. Stearman, Q.M. Bui, G. Speyer, et al., “Systems analysis of the human pulmonary arterial hypertension lung transcriptome,” *Am J Respir Cell Mol Biol*, 60: 637–649, 2019.
- [23] Q. Zhang, Y. Cao, Q. Luo, P. Wang, P. Shi, C.E.M. Song, J. Ren, B. Fu, H. Sun, “The transient receptor potential vanilloid-3 regulates hypoxia-mediated pulmonary artery smooth muscle cells proliferation via PI3K/AKT signaling pathway,” *Cell Prolif*, 51:e12436, 2018.
- [24] J. Wu, Z. Yu, D. Su, “BMP4 protects rat pulmonary arterial smooth muscle cells from apoptosis by PI3K/AKT/Smad1/5/8 signaling,” *Int J Mol Sci*, 15:13738–54, 2014.
- [25] A. Courboulin, B. Ranchoux, S. Cohen-Kaminsky, F. Perros, S. Bonnet, “MicroRNA networks in pulmonary arterial hypertension: share mechanisms with cancer?,” *Curr Opin Oncol*, 28(1):72-82, 2016.
- [26] P. Caruso, B.J. Dunmore, K. Schlosser, S. Schoors, C. Dos Santos, C. Perez-Iratxeta, J.R. Lavoie, H. Zhang, L. Long, A.R. Flockton, G. Frid, P.D. Upton, A. D'Alessandro, C. Hadinnapola, F.N. Kiskin, M. Taha, L.A. Hurst, M.L. Ormiston, A. Hata, K.R. Stenmark, N.W. Morrell, “Identification of MicroRNA-124 as a Major Regulator of Enhanced Endothelial Cell Glycolysis in Pulmonary Arterial Hypertension via PTBP1 (Polypyrimidine Tract Binding Protein) and Pyruvate Kinase M2,” *Circulation*, 136(25), 2451–2467, 2017.
- [27] C. Li, Z. Zhang, Q. Xu, R. Shi, “Comprehensive Analyses of miRNA-mRNA Network and Potential Drugs in Idiopathic Pulmonary Arterial Hypertension,” *BioMed Research International*, vol. 2020, Article ID 5156304, 10 pages, 2020.
- [28] X. Yao, T. Jing, T. Wang, C. Gu, X. Chen, F. Chen, H. Feng, H. Zhao, D. Chen, & W. Ma, “Molecular Characterization and Elucidation of Pathways to Identify Novel Therapeutic Targets in Pulmonary Arterial Hypertension,” *Frontiers in Physiology*, 12, 694702, 2021.
- [29] Y. Zeng, N. Li, Z. Zheng, R. Chen, M. Peng, W. Liu, J. Zhu, M. Zeng, J. Cheng, & C. Hong, “Screening of Hub Genes Associated with Pulmonary Arterial Hypertension by Integrated Bioinformatic Analysis,” *BioMed Research International*, 6626094, 2021.
- [30] M. Saker, L. Lipskaia, E. Marcos, S. Abid, A. Parpaleix, A. Houssaini, P. Validire, P. Girard, H. Noureddine, L. Boyer, N. Vienney, V. Amsellem, L. Marguerit, B. Maitre, G. Derumeaux, J.L. Dubois-Rande, C. Jourdan-Lesaux, M. Delcroix, R. Quarck, & S. Adnot, “Osteopontin, a Key Mediator Expressed by Senescent Pulmonary Vascular Cells in Pulmonary Hypertension Arteriosclerosis,” *Thrombosis, and Vascular Biology*, 36(9) 1879–1890, 2016.
- [31] S. Abid, E. Marcos, A. Parpaleix, V. Amsellem, M. Breau, A. Houssaini, N. Vienney, M. Lefevre, G. Derumeaux, S. Evans, C. Hubeau, M. Delcroix, R. Quarck, S. Adnot, & L. Lipskaia, “CCR2/CCR5-mediated macrophage-smooth muscle cell crosstalk in pulmonary hypertension,” *The European Respiratory Journal*, 54(4), 1802308, 2019.
- [32] J. Xu, Y. Yang, Y. Yang, & C. Xiong, “Identification of Potential Risk Genes and the Immune Landscape of Idiopathic Pulmonary Arterial Hypertension via Microarray Gene Expression Dataset Reanalysis,” *Genes*, 12(1), 125, 2021.
- [33] Y. Sadamura-Takenaka, T. Ito, S. Noma, Y. Oyama, S. Yamada, Kawahara KI, et al., “HMGB1 promotes the development of pulmonary arterial hypertension in rats,” *PLoS ONE*, 9:e102482, 2014.

- [34] T. Suzuki, E.J. Carrier, M.A. Talati, A. Rathinasabapathy, X. Chen, R. Nishimura, et al., “Isolation and characterization of endothelial-to-mesenchymal transition-cells in pulmonary arterial hypertension,” *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 314:L118–126, 2017.
- [35] C. Gerges and I. Lang, “Targeting inflammation and immunity in pulmonary arterial hypertension: any easier after the CANTOS proof-of-concept that anti-inflammation cuts cardiovascular events?,” *Pulm Circ*, 8: 2045893218754855, 2018.
- [36] D. Farkas, A.A. Roger Thompson, A.R. Bhagwani, S. Hultman, H. Ji, N. Kotha, et al., “Toll-like receptor 3 is a therapeutic target for pulmonary hypertension,” *Am J Respir Crit Care Med*, 199:199–210, 2019.
- [37] Y. Pang, M.T. Liang, Y. Gong et al., “HGF Reduces Disease Severity and Inflammation by Attenuating the NF- κ B Signaling in a Rat Model of Pulmonary Artery Hypertension,” *Inflammation*, 41, 924–931, 2018.
- [38] L. Dewachter, C. Dewachter, A. Belhaj, S. Lalande, B. Rondelet, M. Rimmelinck, J. Vachiere, R. Naeije, “Insulin-like growth-factor-1 contributes to the pulmonary artery smooth muscle cell proliferation in pulmonary arterial hypertension,” *European Respiratory Journal*, 44:P316, 2014.
- [39] L. Ramakrishnan, S. Mumby, J. Wort, G. Quinlan, “CD163 is expressed and modulated in human pulmonary artery smooth muscle cells: Implications for pulmonary artery hypertension,” *European Respiratory Journal*, 46 (suppl 59), 2015.
- [40] J.A. Schwanekamp, A. Lorts, R.J. Vagnozzi, D. Vanhoutte, J.D. Molkenin, “Deletion of periostin protects against atherosclerosis in mice by altering inflammation and extracellular matrix remodeling,” *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 36:60–68, 2016.
- [41] V.B. Abdul-Salam, J. Wharton, J. Cupitt, M. Berryman, R.J. Edwards, M.R. Wilkins, “Proteomic analysis of lung tissues from patients with pulmonary arterial hypertension,” *Circulation*, 122:2058–2067, 2010.
- [42] X. Nie, C. Shen, J. Tan, Z. Wu, W. Wang, Y. Chen, Y. Dai, X. Yang, S. Ye, J. Chen, & J.S. Bian, “Periostin: A Potential Therapeutic Target For Pulmonary Hypertension?,” *Circulation Research*, 127(9), 1138–1152, 2020.
- [43] Y.C. Hsieh, K.C. Lee, P.S. Wu, T.I. Huo, Y.H. Huang, M.C. Hou, H.C. Lin, “Eritoran Attenuates Hepatic Inflammation and Fibrosis in Mice with Chronic Liver Injury,” *Cells*, 10(6):1562, 2021.
- [44] F. Dong, J. Zhang, X. Chen, S. Zhang, L. Zhu, Y. Peng, & Z. Guo, “Chrysin Alleviates Monocrotaline-Induced Pulmonary Hypertension in Rats Through Regulation of Intracellular Calcium Homeostasis in Pulmonary Arterial Smooth Muscle Cells,” *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 75(6), 596–602, 2020.
- [45] M.M. Hooper, R.J. Barst, R.C. Bourge, J. Feldman, A.E. Frost, N. Galié, M.A. Gómez-Sánchez, F. Grimminger, E. Grünig, P.M. Hassoun, N.W. Morrell, A.J. Peacock, T. Satoh, G. Simonneau, V.F. Tapson, F. Torres, D. Lawrence, D.A. Quinn, & H.A. Ghofrani, “Imatinib mesylate as add-on therapy for pulmonary arterial hypertension: results of the randomized IMPRES study,” *Circulation*, 127(10) 1128–1138, 2013.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Vücut Yağ Yüzdesi Tahmini İçin Özellik Seçim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Asude ALTIPARMAK BİLGİN ^{a,*}, Burhan BARAKLI ^b

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: asude6parmak@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.1115703

ÖZ

Çağımızın yaygın olarak görülen sağlık problemlerinden biri olan obezite, kişinin yaşam kalitesine olumsuz etkisinin yanında birçok rahatsızlığa da sebep olmaktadır. Vücut yağ yüzdesi, obezitenin teşhis edilmesinde en önemli göstergedir. Vücut yağ yüzdesinin hızlı, kolay, maliyetsiz ve yüksek doğruluk ile belirlenmesi ise en az obezitenin teşhis edilebilmesi kadar önemlidir. Antropometrik verilerden hesaplanabilen vücut yağ yüzdesi değerini makine öğrenmesi algoritmaları ile güvenli bir şekilde hesaplamak mümkündür. Ancak yüksek boyutlu, alakasız ve gereksiz veriler makine öğrenmesi algoritmalarının doğruluğunu saptırmakta ve modelin eğitim süresini arttırmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmalarını daha az özellik ile kullanarak daha yüksek doğruluğun elde edilmesini sağlayan özellik seçim algoritmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada vücut yağ yüzdesi tahmini için yedi farklı özellik seçim algoritması karşılaştırılıp daha az özellik ile daha yüksek doğrulukta sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Özellik seçim yöntemlerinin farklı modellere etkisini incelemek için dört makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu makine öğrenmesi algoritmalarının eğitim süreleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda özellik seçim yöntemleri kullanılarak daha az özellik ile modelin eğitimi için daha kısa süre harcanarak daha yüksek doğrulukta tahminler elde edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Özellik seçimi, Makine öğrenmesi, Vücut yağ yüzdesi

Comparison of Feature Selection Methods for Estimation of Body Fat Percentage

ABSTRACT

Obesity, which is one of the common health problems of our age, causes many discomforts as well as its negative impact on the quality of life of the person. Body fat percentage is the most important indicator in diagnosing obesity. Determining body fat percentage quickly, easily, inexpensively and with high accuracy is as important as diagnosing obesity. It is possible to reliably calculate the body fat percentage estimation, which can be calculated from anthropometric data with machine learning algorithms. However, high-dimensional, irrelevant and redundant data distort the accuracy of machine learning algorithms and increase the training time of the model. There are feature selection algorithms that provide higher success by using machine learning algorithms with fewer features. In this study, seven different feature selection algorithms for body fat percentage estimation have been compared and higher accuracy results have been obtained with fewer features. Four machine learning methods have been used to examine the effect of feature selection methods on different models. The training times of these machine learning algorithms have been compared. As a result of experimental studies, it has been shown that by using feature selection methods, higher accuracy predictions can be obtained by spending less time on training the model with fewer features.

Keywords: Feature selection, Machine learning, Body fat percentage

I. GİRİŞ

Obezite, önemli bir sağlık problemidir. Son yıllarda hızla yaygınlaşmakta ve sadece gelişmiş ülkelerde değil, gelişmekte olan ülkelerde de hızla yayılarak küresel bir salgın haline gelmiştir. ABD gibi Kuzey Amerika ülkelerinde yetişkin nüfusunun üçte birinin obez olduğu bildirilmiştir. Çin’de son 8 yılda obezite oranı erkeklerde 3 katına, kadınlarda da 2 katına çıkmıştır. Obezite, sosyal yaşama olan etkilerinin yanı sıra kalp-damar hastalıkları, kanser, hipertansiyon, diyabet, gluko/metabolic sendrom [1] gibi birçok farklı hastalık türüne de neden olmaktadır. İhracat maliyetini düşürmek, daha lezzetli hale getirmek gibi amaçlarla yiyeceklerin içerisine eklenen yan ürünler, olması gerekenden daha yüksek kalorili besinlerin tüketilmesine yol açmaktadır. Ayrıca teknolojinin gelişimi ile harcanan enerji miktarı ve günlük alınan kalori miktarı arasındaki dengesizlikte obezitenin yaygınlaşmasının önemli bir nedeni olmuştur. Çağımızın önemli hastalıkları arasında olan obezite, diyabet, hipertansiyon, kanser gibi insan hayatını olumsuz etkileyen birçok ölümcül hastalığın oluşmasına neden olan ciddi bir problemdir. Giderek yaygınlaşan obezite sadece yetişkinler için değil, çocuklar için de bir tehlike haline gelmektedir [2], [3].

Ağırlık vücut yağı hakkında bilgi sağlayan ölçülmesi kolay bir nicelik olsa da genel vücut yapısı hakkında ilgi olmadığına bir anlam ifade etmez. Dünya Sağlık Örgütü tarafından ağırlık ve boy bilgileri ile hesaplanan vücut kitle indeksinin (BMI) obeziteyi tanımlamada kullanılabileceği onaylanmıştır. BMI genel beslenme durumunun bir göstergesidir. BMI, vücut ağırlığının vücut boyunun karesine oranı olarak ifade edilir. BMI 25 kg/m² değerinden büyük olduğu durumlar aşırı kiloluğa karşılık gelirken 30 kg/m² olduğu durumlar obeziteye karşılık gelmektedir. Ancak çalışmalar gösteriyor ki vücut yağ yüzdesi (BFP) obezite ve obeziteden kaynaklanan sağlık problemleri hakkında BMI değerinden daha doğru bilgi sağlamaktadır. BFP yağ kütlesi hakkında bilgi verirken BMI vücut yağ kütlesinin bir göstergesi değildir [4], [5].

BFP, toplam vücut yağı ölçümüdür. Omurga ve kalça taramalarına dâhil edilen yumuşak doku bölgeleri için BFP değerlerinin ortalaması alınarak toplam vücut yağlanma indeksi elde edilir. BFP, obezitenin doğru teşhisi için gereklidir. Ayrıca yağ kütlesi hakkında bilgi verir ve kalp damar hastalıkları, diyabet, metabolik hastalıklar ile ilgili riskleri tahmin etmede BMI değerine göre daha iyi bir göstergedir [5], [6].

BMI, boy ve ağırlık ile değerlendirildiğinden vücut yağı ve ölüm oranı arasındaki ilişkiyi belirlemede yeterli bir ölçüt değildir. Yapılan çalışmalarda düşük vücut kitle endeksi olmasına rağmen yüksek BFP değerine sahip bir bireyin tüm nedenlere bağlı olarak ölüm oranının yüksek olduğu saptanmıştır. . BFP değeri ve ölüm riski arasındaki ilişkiyi belirlemek için daha detaylı vücut ölçümleri gerekmektedir. Yani bir birey düşük BMI değerine sahip olsa bile ölüm riski yüksek olabilir [6].

BFP tahmini için antropometri (vücut kütlesi, vücuttaki belli bölgelerin çevresi, deri kıvrım kalınlığı vb.), su altı tartımı (UWW), X-ışını absorpsiyometrisi (DEXA), biyoelektrik empedans analizi, manyetik rezonans görüntüleme, havada yer değiştirme pletismografisi ve yakın kızılötesi etkileşim gibi sayısız teknik vardır. DEXA ve UWW teknikleri antropometrik ölçümlerden vücut yağı için daha doğru tahminler gerçekleştirir. Ancak bu ölçümleri gerçekleştirmek yüksek maliyetli ve kullanımları sınırlıdır. Çeşitli formüller ile yaş, cinsiyet ve BMI değerlerinden BFP tahmini hem düşük maliyetlidir hem de tıbbi bir cihaz gerektirmez. Bu yüzden geniş çapta kullanımı uygun görülmüştür [5].

BFP tahmini, makine öğrenimi (ML) algoritmaları ile gerçekleştirilebilmekte ve bir regresyon problemi olarak ele alınmaktadır [7]. Literatürde BFP tahmini ile ilgili çalışmalar, genellikle yaş, boy, ağırlık, çeşitli vücut ölçümleri gibi ölçülmesi kolay antropometrik verileri kullanarak ML metotları ile tahmin gerçekleştirmeyi amaçlamıştır [8]. Bu çalışmalar genellikle herhangi bir tıbbi cihaz kullanmadan düşük maliyet ile yüksek doğrulukta tahminler gerçekleştirmeyi amaçlamıştır.

Son dönemlerde yüksek veri boyutunun ML modellerinin performansını ve iş yükünü olumsuz etkilemesinden dolayı özellik seçim yöntemleri önemli bir hale gelmiştir. ML algoritmalarının

kullandığı verilerin boyutu tahmin doğruluğu hesaplama yükü gibi birçok açıdan önemlidir. Gereksiz, alakasız gürültülü verilerin varlığı model performansına olumsuz etkisinin yanı sıra hesaplama yükünü arttırmakta eğitim süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu yüzden özellik seçim (FS) algoritmalarının kullanımı önemli bir veri ön işlem aşamasıdır [9]. Literatürde FS yöntemleri kullanarak ML algoritmaları ile BFP tahmini gerçekleştiren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Baraklı B. ve Küçüker A. çalışmalarında FS yöntemlerinin ve özellik azaltımının BFP tahmini için regresyon yöntemlerinin başarısına olan katkısını incelemişlerdir. FS için tek değişkenli doğrusal regresyon ve özellik azaltımı için ise temel bileşenler analizi (PCA) yöntemlerini kullanmışlardır. Destek vektör makineleri (SVM), rastgele orman ağaçları (RF) makine öğrenmesi (ML) modellerini kullanarak BFP değerini tahmin etmişlerdir [7].

Uçar M. K. vd. çalışmalarında en az veri kullanarak yüksek doğruluğa sahip BFP tahmini hibrit ML modelleri kullanarak gerçekleştirmeyi amaçlamışlar. Uygulamada kullanılan PCA analizi temelli FS algoritması ile farklı özellik alt grupları oluşturarak önerilen hibrit modeller ile durumları test etmişlerdir. SVM, çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağları, karar ağacı (DT) ML modellerini kullanmanın yanı sıra bu modellerden elde edilen 4 farklı hibrit model ile birlikte toplam 7 ML modeli kullanarak deneysel sonuç elde etmişlerdir [8].

Kupusinac A. vd. çalışmalarında daha yüksek doğruluğa sahip BFP tahmini amacıyla yapay sinir ağları tekniğini kullanarak yeni bir yaklaşım göstermişlerdir. BFP değerini cinsiyet, yaş ve BMI değerlerinden hesaplayan formüller ile karşılaştırdığında Kupusinac ve arkadaşlarının önerdiği metod, benzer maliyet ve komplekslik göstermiş olsa da daha yüksek doğrulukta BFP tahmini gerçekleştirmiştir [10].

Shao Y.E. çalışmasında BFP tahmin çalışmasında daha az değişken kullanarak modelinin daha iyi bir tahmin yapmasını amaçlayan yeni bir hibrit metod önermiştir. Hibrit modeli çoklu regresyon (MR), yapay sinir ağları, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (MARS) ve destek vektör regresyon (SVR) tekniklerini içermektedir. Modelleme ilk aşamada daha önemli olan değişkenleri seçmek için MR ve MARS'ın kullanımını içermiştir. İkinci aşamada kalan önemli değişkenler diğer tahmin modellerinde BFP tahmini için kullanmıştır. Önerilen bu hibrit model diğer tek aşamalı modellere göre daha iyi tahmin yaptığını sonuçlarda göstermiştir [11].

Ferenci T. vd. çalışmalarında doğrusal regresyon, ileri beslemeli sinir ağı ve SVM tekniklerini kullanmışlardır. Önyükleme doğrulaması ile en uygun parametreleri seçmişlerdir. Sonuçlarda az bir fark ile SVM tekniğinin diğer iki tekniğe göre daha doğru tahmin yaptığını göstermişlerdir [12].

Keivanian F. Vd çalışmalarında, çok katmanlı algılayıcı (MLP) yapay sinir ağı (ANN) tahmin modeli kullanarak FS için yeni bir bulanık uyarlamalı ikili küresel öğrenme kolonizasyon yöntemi önermişlerdir. Önerilen metod ile karşılaştırma yapılması amacıyla MLP ile hibritleyerek bazı iyi bilinen meta-sezgisel yöntemin ikili versiyonları çalışmaya dâhil etmişlerdir. Çalışmalarına metodların çalışma sürelerini, seçilen özellik sayılarını ekleyip değerlendirmişlerdir [13].

Chiong R. vd. çalışmalarında, biri antropometrik ölçümleri içeren diğeri fiziksel inceleme ve laboratuvar ölçümleri içeren 2 ayrı veri seti kullanarak BFP tahmini için göreceli destek vektör makineleri (IRE-SVM) yaklaşımı geliştirmiştir. Önerilen metod yansız bir tahmin modeli elde etmek için amaç fonksiyonuna yanlı hata kontrol terimi eklemesini kapsamaktadır. Ayrıca anlamlı bilgiyi kaybetmeden gereksiz ve ilgisiz özelliklerin kaldırılmasını içeren FS tekniği uygulamışlardır. SVM, RE-SVM, ANN'nin bir tipi olan MLP, RF, aşırı gradyan artırma regresyon (XGBR) olmak üzere 5 farklı tahmin modelini çalışmada önerilen model ile karşılaştırmak için kullanmışlardır [14].

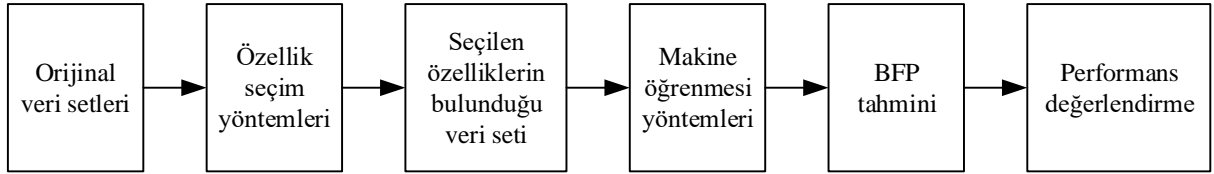
Hussain A. S vd. çalışmalarında, BFP tahmini için SVM ve duygusal yapay sinir ağları (EANN) metoduna dayalı hibrit bir model önermişlerdir. Bu hibrit model, SVM kullanarak özellik seçmekte ve EANN ile BFP tahmini gerçekleştirmektedir. Yüksek tahmin oranları elde etmek ve hedef değışkeni

etkileyen önemli faktörleri belirlemek için sinir ağının temel yapısını çeşitli duygusal işlevlerle birleştirmişlerdir [15].

Bu çalışmada literatürdeki benzer çalışmalardan da yola çıkarak BFP tahmini için karşılıklı bilgi (MI), sıralı ileriye doğru (SFS), sıralı geriye doğru (SBS), rastgele orman ağaçları makine öğrenim algoritması kullanılarak özelliklerin önemine dayalı (RFI), rastgele orman ağaçları makine öğrenim algoritması kullanılarak özelliklerin önemine dayalı yinelemeli (RRFI), rastgele karıştırma (RS), yinelemeli özellik eleme (RFE) özellik seçim yöntemleri olmak üzere 7 FS algoritmasının modelin performansına, eğitim süresine olan etkisi incelenmiştir. FS yöntemleri ile daha az sayıda özellik uzayına sahip olan yeni veri setlerine 4 regresyon modeli uygulanmıştır. Bunlar: RF, SVM, gradyan artırma regresyon (GBR) ve XGBR modelleridir. Performans değerlendirmesi için literatürde sıkça kullanılan ortalama karesel hata (MSE), belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) ve medyan mutlak hata (MAE) olmak üzere 4 performans metriği kullanılmıştır.

II. GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada BFP tahmini için 2 veri setine çeşitli FS yöntemleri uygulanmıştır. Veri setlerine FS yöntemleri uygulanarak özellikler seçilmiştir. Seçilen özelliklere farklı regresyon yöntemleri uygulanarak BFP tahmin performansları incelenmiştir. Çalışmanın genel blok diyagramı Şekil 1 ile verilmiştir. Regresyon metodlarının daha doğru tahminler yapmasını sağlamak için parametre ayarlamaları yapılmıştır. En uygun parametrelerin bulunması ve doğrulanması amacıyla ızgara arama yöntemi ve k katmanlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 1. Özellik seçim işlemleri için temel adımlar

A. VERİ SETİ

Bu çalışmada 2 adet veri seti kullanılmıştır. Biri 248 kişiden toplanan 13 farklı antropometrik ölçümden elde edilen orijinal veri seti (VS1), diğeri ise VS1'deki özelliklere istatistiksel yöntemler kullanarak 25 özellik daha eklenmiş 38 özellikli ikinci veri seti (VS2) kullanılmaktadır.

VS1 veri setindeki özelliklerin ikili korelasyonunu gösteren renkli ısı haritası Şekil 2'de verilmiştir. Birbiri arasında yüksek ilişkiye sahip özellikler mevcuttur. Örneğin bağımsız özelliklerden göğüs çevresi ile abdomen çevresi, ağırlık ile kalça çevresi arasında diğerlerine göre daha yüksek ilişki bulunmaktadır. Bağımlı değişken BFP ile abdomen çevresi arasında yüksek ilişki vardır.

Şekil 3'te de VS1 veri setindeki özellikler arasındaki tüm ikili ilişkiler farklı bir açıdan verilmiştir. Bu gösterimden, özellikler arasında doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkilerin bulunduğu görülmektedir. Örneğin abdomen çevresi ile kalça çevresi arasında doğrusal bir ilişki var iken boy, yaş gibi özelliklerin genellikle diğer özellikler ile doğrusal olmayan bir ilişkisi mevcuttur. Ayrıca, ağırlık özelliğinin diğer özelliklerle daha yüksek bir ilişkisi var iken boy özelliği diğer özelliklerle daha zayıf ilişki göstermektedir.

Tablo 1. VS2 veri setindeki 25 özelliğin BFP ile ilişki katsayıları

Ad	Özellik	BFP ile İlişkileri	Ad	Özellik	BFP ile İlişkileri
c14	Kurtosis - Basıklık	-0,789	c27	Merkezi Moment	-0,453
c15	Skewness - Çarpıklık	-0,795	c28	Ortalama değeri	0,684
c16	Çeyrekler arası genişlik	0,751	c29	Ortalama Eğri Uzunluğu	0,345
c17	Değişim Katsayısı	-0,603	c30	Ortalama Enerji	0,627
c18	Geometrik ortalama	0,68	c31	Ortalama Karakök RMS değeri	0,635
c19	Harmonik ortalama	0,629	c32	Standart hata	0,4
c20	Hijort Aktivite Katsayısı	0,397	c33	Standart Sapma	0,4
c21	Hijort Hareketlilik Katsayısı	-0,525	c34	Şekil Faktörü	0,518
c22	Hijort Karmaşıklık Katsayısı	-0,437	c35	Tekil Değer Ayrışımı	0,635
c23	Maksimum değeri	-0,048	c36	"%25" için kesilmiş ortalama değeri	0,729
c24	Medyan değeri	0,32	c37	"%50" için kesilmiş ortalama değeri	0,725
c25	Mutlak Sapma	0,598	c38	5 Ortalama Teager Enerjisi	0,22
c26	Minimum değeri	0,342	BFP	Vücut Yağ Yüzdesi	1

Şekil 2. Özellikler arasındaki korelasyon ilişkisini gösteren renkli ısı haritası

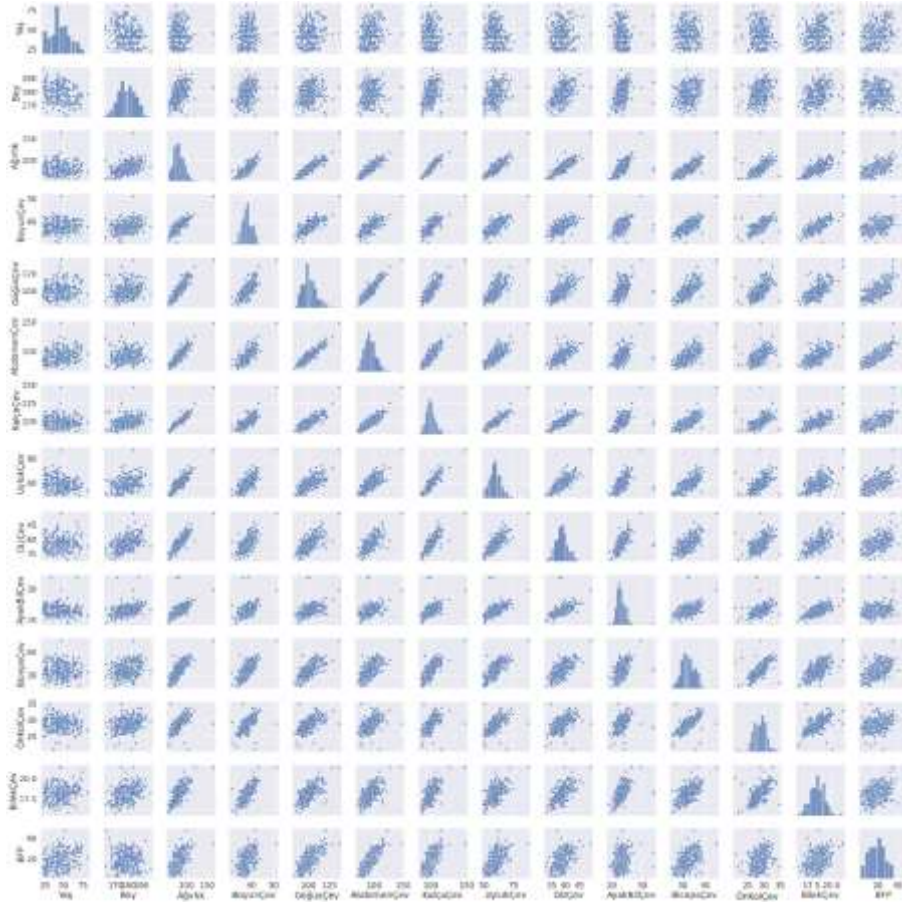


Tablo 1’de VS2 veri setindeki VS1 veri setinden istatistiksel yöntemlerle elde edilen 25 özelliğin BFP hedef özelliği ile olan ilişkisi gösterilmiştir. Verilen değerler korelasyon katsayılarıdır.

B. MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE REGRESYON YÖNTEMLERİ

Makine öğrenmesi veriyi analiz etme, uyarılma, öğrenme, tahmin etme konusunda güçlü bir algoritma dizisi sunmaktadır. Böylelikle araştırma alanlarında makine öğrenmesi uygulamaları giderek artmaktadır [16]. Öğrenme süreci oldukça geniş kapsamlıdır. Temel olarak örüntü tanıma, regresyon tahmini ve yoğunluk tahmini problemleri gösterilebilir. Bu çalışmada BFP hesabı regresyon tahmini olarak ele alınmaktadır [17].

Regresyon problemlerinde model, gerçek değere en yakın tahmin değerini gerçekleştirmeyi amaçlar. Koşullu dağılım fonksiyonu $F(y|x)$ ’e göre her rassal giriş değişkeni x ‘e karşılık gerçek y değeri vardır. ML algoritması giriş değişkenleri dizisi için tahmin değeri oluşturan $f(x, \alpha), \alpha \in \Lambda$ fonksiyonunu kullanır. Burada Λ, α özelliğinin elemanı olduğu özellik dizisidir ve verilen giriş değeri x için ML modeli en iyi yaklaşımı gerçekleştiren $f(x, \alpha)$ fonksiyonu ile Eş. (1)’de verilen \hat{y} tahmin değeri oluşturulur.



Şekil 3. VS1'deki özelliklerin ikili ilişkileri

$$\hat{y} = f(x, \alpha) \tag{1}$$

Regresyon problemlerinde amaç, Eş. (2)'de verilen risk fonksiyonunun minimum olmasıdır. Burada ortak olasılık dağılım fonksiyonu $F(x, y)$ için bilgiye eğitim veri setinden ulaşılabilir. Gerçek değer ile tahmin değeri arasındaki fark, Eş. (3)'te verilen kayıp fonksiyonu ile ifade edilir. Risk fonksiyonu minimum olması için kayıp fonksiyonunu minimum yapan Eş. (4)'te verilen $f(x, \alpha_0)$ değeri bulunmalıdır.

$$R(\alpha) = \int L(y, f(x, \alpha)) dF(x, y) \tag{2}$$

$$L(y, f(x, \alpha)) = (y - f(x, \alpha))^2 \tag{3}$$

$$f(x, \alpha_0) = \int y dF(y|x) \tag{4}$$

Regresyon tahmin problemi, ortak olasılık dağılım fonksiyonu $F(x, y)$ değerinin bilinmediği ancak veri setinin verildiği durumlarda kayıp fonksiyonu ile risk fonksiyonunu minimize etme problemidir.

Literatürde ML algoritmaları kullanılarak BFP tahmini gerçekleştirilen birçok regresyon yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada BFP regresyon tahmini için RF, SVR, GBR, XGBR yöntemleri kullanılmıştır.

B. 1. Rastgele Orman Ağaçları

RF, bireysel karar ağaçlarından oluşan ağaç topluluğudur. Bu yüzden DT model yapısına benzemektedir. DT modeli düğümlerden ve o düğümdeki dallardan oluşan bir yapıya sahiptir. En üstteki düğüm kök düğümdür ve buradan sonra soru sorularak dallanmalara başlanır [18]. DT oluşturmak için en çok kullanılan ki-kare otomatik etkileşim algılama (CHAID) algoritması sadece kategorik değişkenler ile sınırlı iken hem sınıflandırma hem regresyon ağaçları (CART) algoritması ve C4.5/5.0 algoritması sürekli ve kategorik değişkenler ile kullanılabilir [19].

DT yaklaşık hedef değerlerini bir arada gruplamak için tekrarlı olarak özellik uzayını bölmelere ayırır. Bir düğüm eşik değerine göre aday bölücü tarafından sağ sol düğüm olarak bölünür ve bu durum için kayıp fonksiyonu hesaplanır. Tüm aday bölücüler içerisinde kayıp fonksiyonunu en minimize eden bölücü seçilir. Ağacın erişebileceği maksimum derinliğe kadar tüm düğümlerin bölünmesi devam eder [20].

Regresyon problemleri için RF tahmini toplanan ağaçların ağırlıksız ortalaması Eş. (5)' te verilmiştir.

$$\bar{h}(x) = (1/K) \sum_{k=1}^K h(x; \theta_k) \quad , \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

Burada K ağaç sayısıdır ve $h(x; \theta_k)$, x girişi için ağaçların tahmin değerini verir. Ağaç topluluğunun tahmin değeri $\bar{h}(x)$ ise ağaçların tahmin değerlerinin ortalaması ile hesaplanır. θ_k bağımsız ve özdeş dağıtılmış rastgele vektördür [21]. Ağaçların maksimum derinliğe kadar büyütülmesi önemlidir. Ancak çok fazla ağaç, kararsızlığa neden olabilir ve bu da tahmin hatalarını olumsuz olarak etkiler. Regresyon probleminde nihai tahmin değeri için tüm ağaçların çıkış değerlerinin ortalaması alınır [22].

B. 2. Destek Vektör Makineleri

SVM, maksimum marjini sağlayan en uygun hiper-düzlemi destek vektörleri ile temsil eder. Destek vektör regresyonu (SVR) büyük ve küçük yanlış tahminleri eşit şekilde cezalandıran asimetrik kayıp fonksiyonunu kullanarak eğitim sağlar. SVM'yi, SVR'ye genellemesi için fonksiyon etrafında Vapnik'in [17] \mathcal{E} duyarsız yaklaşımı kullanılır. Tahmin fonksiyonu etrafında simetrik olarak minimum yarıçaplı esnek bir tüp oluşturur. Böylece belirlenen eşik değerinin altındaki hataların mutlak değeri tahminin hem üstünde hem de altında yok sayılır [23]. SVR'de bir doğrusal karar fonksiyonu Eş. (6)'da verildiği gibi ifade edilir.

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b \quad (6)$$

Doğrusal SVR'de, Eş. (7)'de verilen bir kısıt altındaki kayıp fonksiyonunu, \mathcal{E} esnek kenar payı değerlerini kullanarak ve model karmaşıklığını da azaltarak minimize etmeyi amaçlar [23]. SVM'de hatalar, esnek değişkenler ξ_i, ξ_i^* ile tolere edilebilir. C parametresi, optimizasyon problemlerinde model karmaşıklığı ile hataların tolere edilme derecesi arasındaki dengeyi belirler. C parametresi ile modele ceza uygulanarak tahmin fonksiyonun veriye uyması sağlanır [24]-[26].

SVR, doğrusal ve doğrusal olmayan problem için kullanılabilirler [27], [28]. Doğrusal olmayan SVR analizi, doğrusal durumlar için geçerli olan analize benzerdir. Ancak verilerin yüksek boyutlu Hilbert uzayına [17] haritalandırma problemi ile çözümler. Doğrusal olmayan problemlerde ikili çözüm yöntemi önerilir.

$$L_p = \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m (\xi_i + \xi_i^*)$$

$$Kısıt : \begin{cases} y_i - \langle w, x_i \rangle + b \leq \varepsilon + \xi_i & i = 1, 2, \dots, m \\ \langle w, x_i \rangle - b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

Eş. (8)'de ikili çözüm için kayıp fonksiyonu verilmiştir. Burada L_d bir lagrange fonksiyonudur ve $\eta_i, \eta_i^*, \alpha_i, \alpha_i^*$ lagrange çarpanlarıdır. Bu çarpanların sıfırdan büyük ya da eşit olması gerekir. Eş. (8)'de verilen L_d fonksiyonundaki w, b, ξ_i, ξ_i^* değerleri için kısmi türev alınarak Eş. (9) elde edilir.

$$L_d = \begin{cases} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m (\xi_i + \xi_i^*) - \sum_{i=1}^m (\eta_i \xi_i + \eta_i^* \xi_i^*) \\ - \sum_{i=1}^m \alpha_i (\varepsilon + \xi_i - y_i + \langle w, x_i \rangle + b) - \sum_{i=1}^m \alpha_i^* (\varepsilon + \xi_i^* + y_i - \langle w, x_i \rangle - b) \end{cases} \quad (8)$$

$$\max L_d = -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*) \langle x_i - x_j \rangle - \varepsilon \sum_{i=1}^m (\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^m y_i (\alpha_i - \alpha_i^*)$$

$$Kısıt : \sum_{i,j=1}^m (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \quad \text{ve} \quad \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \quad (9)$$

Eş. (9) doğrusal problemler için uygundur. Doğrusal olmayan problemlerde yüksek uzaya haritalama $\Phi : R^n \rightarrow H$ ve kernel hilesi $K(x, y) = \langle \Phi(x), \Phi(y) \rangle$ kullanılarak Eş. (10) yazılır. Böylece doğrusal olmayan sistemler için verilen optimizasyon problemi kullanılır [29].

$$\max L_d = -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*) k(x_i - x_j) - \varepsilon \sum_{i=1}^m (\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^m y_i (\alpha_i - \alpha_i^*)$$

$$Kısıt : \sum_{i,j=1}^m (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \quad \text{ve} \quad \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \quad (10)$$

B. 3. Gradyan Arttırma Regresyon

Arttırma metotları, sıra ile birden fazla temel modeller geliştirerek tahmin doğruluğunun arttırılmasını amaçlar. Her eklenen temel model bir önceki temel modelin yaptığı hatayı düzeltmeye çalışır. Zayıf bir öğrenici rastgele tahminden biraz daha doğru tahminler yaparken; güçlü öğrenici problem ile iyi bir ilişki kurup daha doğru tahminlerin yapılmasını sağlar. Güçlü bir modele göre zayıf bir model oluşturmak daha kolaydır. Bundan yola çıkarak birçok zayıf modelin birleştirilmesi ile tek ve yüksek doğrulukta tahmin modeli geliştirmek için arttırma metotları kullanılır [30].

Arttırma metotlarının geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarından farkı, optimizasyon fonksiyon uzayında tutulmaktadır. Yani Eş. (11)'deki fonksiyon tahmini $\hat{f}(x)$, belirtildiği gibi eklemeli fonksiyonel formdadır. Burada M iterasyon sayısı, \hat{f}_0 başlangıç tahmin fonksiyonu, $\{\hat{f}_i\}_{i=1}^M$ fonksiyon artışlarıdır. Arttırma metotlarında her adımda kayıp fonksiyonunu en iyi şekilde azaltan bir temel model eklenerek optimize edilir [30], [31].

$$\hat{f}(x) = \hat{f}^M(x) = \sum_{i=0}^M \hat{f}_i(x) \quad (11)$$

Temel öğrenici tahmin fonksiyonu $h(x, \theta)$ ve temel öğreniciden elde edilen tahmin değeri $\hat{\theta}$ değeridir. t . iterasyondaki topluluk tahmin fonksiyonu Eş. (12)'de ve optimizasyon kuralı ise Eş. (13)'te verilmiştir [31], [32]. N veri sayısı olmak üzere fonksiyon tahmini için her iterasyonda optimizasyon kuralını minimum yapan adım sayısı ρ ve θ değerleri seçilmelidir.

$$\hat{f}_t \leftarrow \hat{f}_{t-1} + \rho_t h(x, \theta_t) \quad (12)$$

$$(\rho_t, \theta_t) = \arg \min \sum_{i=1}^N L(y_i, \hat{f}_{t-1}) + \rho h(x_i, \theta) \quad (13)$$

B. 4. Aşırı Gradyan Arttırma Regresyon

Gradyan arttırmaya benzer yapıda çalışmaktadır. XGBR algoritmasının farkı, modelin karmaşıklığını cezalandıran bir düzenleme parametresinin eklenmesidir. Eş. (14)'te XGBR yönteminin kullandığı kayıp fonksiyonu verilmiştir. GBR'den farklı olarak düzenleme parametresi Ω vardır. Eğer Ω sifıra ayarlanırsa model GBR metodu gibi çalışır [33]. Düzenleme parametresi Ω , birçok değişken için ağırlıkları sifıra çekmeye çalışır ve böylece yüksek boyutlu problemlerde önemli bir rol oynayan özellik seçimini gerçekleştirir [34].

$$L(\phi) = \sum_i L(\hat{y}_i, y_i) + \sum_k \Omega(f_k), \quad \text{burada } \Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \|\omega\|^2 \quad (14)$$

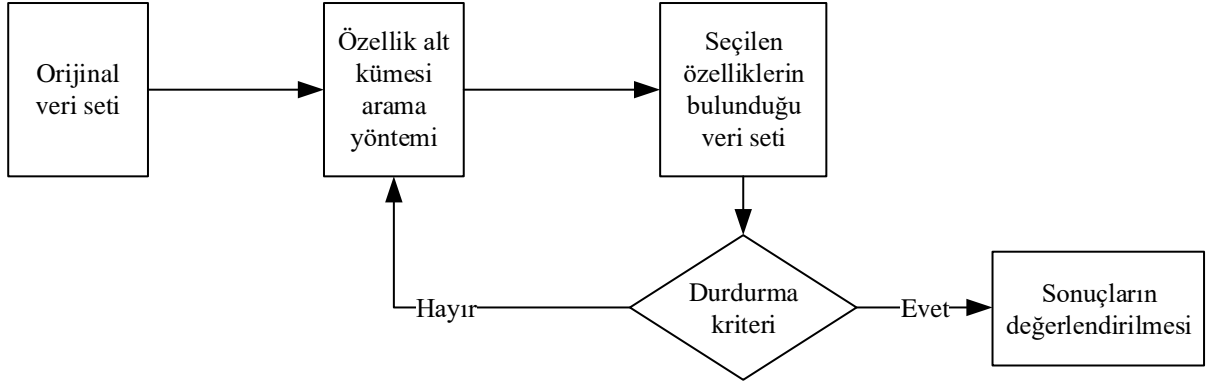
Burada ω , yapraklardaki skor vektörü, λ düzenleme parametresi ve γ yaprak düğümü bölmek için gereken minimum kayıptır.

XGBR, ağaç karmaşıklığı, öğrenme oranı, düzenleme parametresi gibi birçok hiper-parametre ayarlaması ile modelin aşırı öğrenmesinin önüne geçebilir. Boş değerler için hassastır. Bir veri setinde boş değerler varsa ilk tahminde varsayılan değer boş verilere atanır. Sonraki tahminde boş verilerden oluşan hatalar farklı dallara yerleştirilir ve oluşan kazanç değerine bakılarak kazancın yüksek olduğu dallara boş değerler atanır [33], [35].

C. ÖZELLİK SEÇİM YÖNTEMLERİ

Son yıllarda yüksek boyutlu verilerin varlığı ML algoritmalarının kullanımını zorlaştırmaktadır. ML algoritmalarını daha etkili şekilde kullanabilmek için daha az özellik ile çalışmayı sağlayan özellik seçim algoritmaları bulunmaktadır. Özellik seçim yöntemlerinin temel adımları Şekil 4'te verilmiştir. Bir veri setinde seçim gerçekleştirmek için özellikler bireysel olarak ya da özelliklerden oluşan bir alt küme olarak değerlendirilir. Bireysel değerlendirme, özelliklerin alaka derecesine göre yapılır ve özelliklere bireysel ağırlık atanır. Bu ağırlıklara göre özellikler önem sırasına göre sıralanır. Alt küme değerlendirmesi ise araştırma stratejilerine göre aday özellik alt kümeleri oluşturulur ve değerlendirilir. Genellikle FS süreci alt küme oluşturma, alt kümeyi değerlendirme, durdurma kriteri sağlayıp sağlamadığına bakma ve performansın değerlendirilmesi sırasıyla gerçekleşir [36].

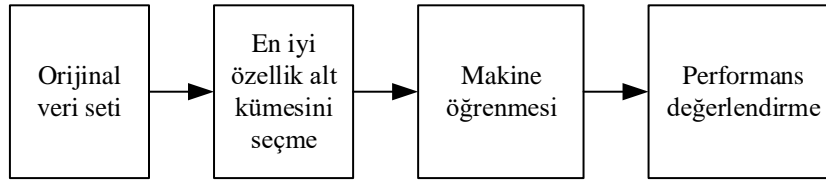
Özellik seçimi için 4 grup yaklaşım mevcuttur. Birincisi, Filtre FS yöntemi, eğitim verisinin genel karakteristiğini kullanır. İkincisi, Sarmal FS yöntemi, en uygun özellik alt küme seçimi ile uygunluk arasındaki ilişkiyi kullanır. Üçüncüsü, Gömülü FS yöntemi, eğitim esnasında özellik seçimi uygulayan ML algoritmaları ile yapılır. Son olarak Hibrit FS yöntemi, en uygun filtre ve sarmal metotların birleşiminden oluşmaktadır. İlk önce filtre metot uygulanarak özellik uzay boyutu azaltılır ve aday özellik alt kümeleri oluşturulur. Daha sonra, sarmal metot adaylar içerisinde en uygun özellik alt kümesini bulmaya çalışır. Hibrit yöntemler, filtre yöntemlerin yüksek etkililiğinden, sarmal yöntemlerin ise yüksek doğruluğundan faydalanır [36], [37].



Şekil 4. Özellik seçim işlemleri için temel adımlar

C. 1. Filtre Özellik Seçim Yöntemi

Filtre özellik seçim yöntemi, bir veri setindeki en ayırt edici özelliği seçme üzerine çalışmaktadır. Genellikle, ML yöntemlerinden önce özellik seçimi gerçekleşir ve iki aşamada strateji gerçekleşir. İlk olarak, tüm özellikler belirlenen bir kritere göre sıralanır ve ardından en yüksek sıralamaya sahip özellikler seçilir. Seçilen özellikler ile ML işlemi gerçekleştirilir. Sınıflandırma, regresyon işlemleri için birçok filtre tipi yöntemler mevcuttur. Şekil 5'te filtre özellik seçim yönteminin genel yapısı gösterilmiştir [38].



Şekil 5. Filtre FS modeli genel yapısı

Filtre metod tutarlılık, bağımlılık ve uzaklığa dayalı olarak genel karakteristikleri ölçerek giriş verilerinden ilgili özellikleri seçer. Pearson, Spearman, Kendall gibi korelasyon matrislerini kullanarak çıktı verisi ile yüksek korelasyona sahip verileri filtreler [39].

Bu çalışmada filtre özellik seçim yöntemlerinden karşılıklı bilgi yöntemi kullanılmıştır.

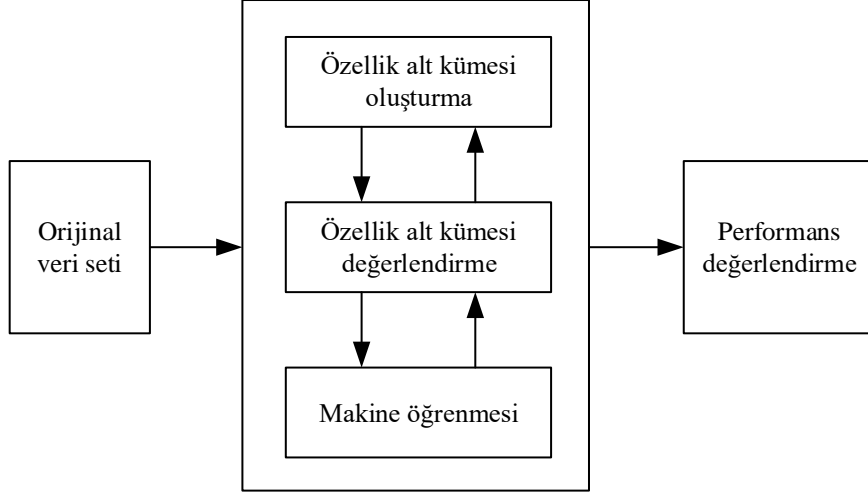
C.1.1. Karşılıklı Bilgi ile Özellik Seçimi

Regresyon problemlerinin ana amacı, hata kriterini mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Hata değeri hesaplamada, MSE ve mutlak hata ortalaması (MAE) sıkça kullanılır. MI, iki rastgele değişken arasındaki bağılılığı ölçen bir niceliktir. MI, bir değişkenin değerleri bilinirken diğer değişkenin değerlerindeki entropi tarafından ölçülen belirsizliğin azalmasıdır. Bu yöntem bir FS kriteri olarak kullanılabilir ve değerlendirmek için mümkün olan özellik alt kümelerini seçebilir. Ayrıca, değişkenler arasında doğrusal olmayan ilişkiyi belirleme avantajına sahiptir. Diğer bilinen bazı kriterler, sadece doğrusal bağılılıklar ile sınırlıdır [40].

MI yöntemi, doğrusal korelasyon katsayısının aksine kovaryansta kendini göstermeyen bağımlılıklara duyarlıdır. Eğer karşılıklı ilişki sıfır ise, iki rastgele değişken birbirinden tamamen bağımsızdır. Amaç, değişkenlerin olasılık yoğunlukları bilinmeden veri setinden karşılıklı bilgiyi tahmin etmektir [41].

C. 2. Sarmal Özellik Seçim Yöntemi

Filtre yaklaşım ile sarmal yaklaşım sadece değerlendirme kriteri noktasında birbirinden ayrılır. Sarmal yaklaşım alt küme değerlendirmesi için öğrenme algoritması kullanır. Alt küme oluşturma ve alt küme değerlendirme tekniklerini çeşitlendirerek farklı sarmal yaklaşımlar oluşturulabilir. Sarmal yaklaşım, öğrenme algoritmasına en iyi uygun alt kümeyi seçer. Bu yüzden genellikle sarmal yöntem filtre yöntemine göre daha iyi sonuçlar gösterir [36]. Şekil 6’da sarmal özellik seçim metodunun genel yapısı verilmiştir.



Şekil 6. Sarmal FS modeli genel yapısı [16]

Sıralı özellik seçim algoritmaları, başlangıç özellik uzayı boyutunu azaltmayı amaçlayan açgözlü olarak nitelendirilen bir araştırma metodudur. FS algoritmaları arkasındaki motivasyon, otomatik olarak problem ile en alakalı özellik alt kümesini seçmektir [42].

Sarmal özellik seçim yöntemi, ML algoritması ile farklı özellik alt kümelerini değerlendirmeye çalışır ve en iyi performans gösteren alt kümeyi seçer. En temel metod SFS yöntemidir. Boş veri seti ile sürece başlar ve birer birer özellikleri ekleyerek devam eder. Her adımda özellik alt kümesine eklendiğinde en iyi genelleme yapan özelliği ekler ve bir kez eklenen özellik bir daha kaldırılmaz. SBS ise tüm özellikler ile sürece başlayıp her adımda özellikleri kaldırarak devam eder. SBS’de, veri setinden çıkarıldığında en iyi genellemeyi veren özelliği kaldırılır. SFS’deki gibi SBS’de de bir özellik kaldırılınca geri eklenmez [43].

C.2.1. Sıralı İleriye Doğru Özellik Seçimi

SFS algoritması, d boyutlu X özellik kümesinden x_1, x_2, \dots, x_k özelliklerini belli kriter gere seçerek X_k özellik alt kümesini oluşturur ($k < d$). Bu algoritma başlangıçta boş küme ile işleme başlar. Yani başlangıçta alt küme boyutu k sıfırdır. Sonraki adımda X_k özellik kümesine x^+ özelliği eklenir. x^+ , Eş. (15)’de gösterildiği gibi problemde kullanılan J kriter fonksiyonunu maksimum yapan özelliklidir ve en iyi performansı göstermeyi amaçlar. Eş. (16)’de gösterildiği gibi kriteri sağlayan x^+ özelliği, özellik alt kümesine eklenir ve k değeri 1 artırılarak Eş. (15) ve Eş. (16) tekrarlanır. Bu işlemler belirlenen durdurma kriteri karşılanana kadar devam eder [44].

$$x^+ = \arg \max J(X_k + x), \text{ burada } x \in X - X_k \quad (15)$$

$$X_{k+1} = X_k + x^+ \quad (16)$$

C.2.2. Sıralı Geriye Doğru Özellik Seçimi

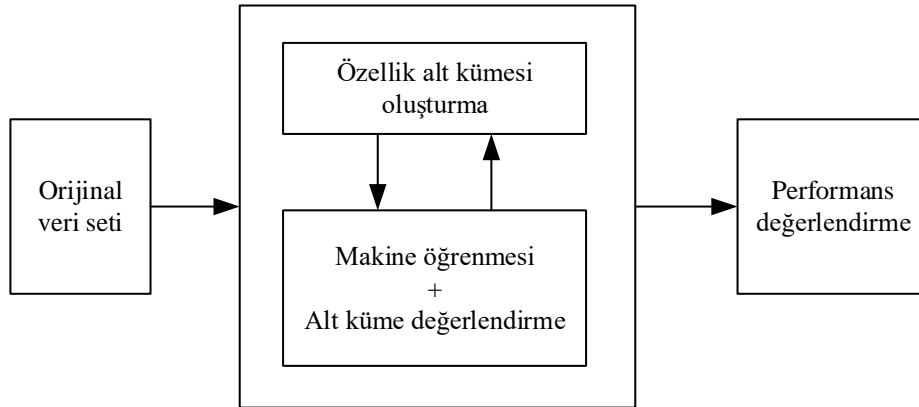
SBS algoritması, d boyutlu X özellik kümesinden x_1, x_2, \dots, x_k özelliklerini belli kritere göre seçerek X_k özellik alt kümesini oluşturur ($k < d$). Bu algoritma başlangıçta tüm özelliklerin bulunduğu veri seti ile işleme başlar. Yani başlangıçta $k = d$. Seçilen özelliklerin bulunduğu k boyutlu bir özellik alt kümesi geri döndürür ($k < d$). Verilen özellik küme seti boyutu ($k = d$) ile algoritma başlar. Sonraki adımda X_k özellik kümesinden x^- özelliği çıkarılır. x^- , Eş. (17)'de gösterildiği gibi problemde kullanılan J kriter fonksiyonunu maksimum yapan özelliktir ve en iyi performansı göstermeyi amaçlar. Eş. (18)'te gösterildiği gibi kriteri sağlayan x^- özelliği, özellik alt kümesinden çıkarılır ve k değeri 1 azaltılarak Eş. (17) ve Eş. (18) tekrarlanır. Bu işlemler belirlenen durdurma kriteri karşılanana kadar devam eder [44].

$$x^- = \arg \max J(X_k - x), \text{ burada } x \in X_k \quad (17)$$

$$X_{k-1} = X_k - x^- \quad (18)$$

C. 3. Gömülü Özellik Seçim Yöntemi

Gömülü özellik seçim yöntemi, ML algoritmalarının dâhili olan bilgilerini kullanır. Örneğin, RF öğrenme algoritmasında özelliğin önemi belirlenir ve buna göre özellik seçimleri gerçekleşir. Gömülü FS yöntemi, genellikle modelin performansı ve hesaplama yükü arasında bir denge sağlamaya çalışır [45]. Gömülü FS yönteminin genel yapısı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Gömülü FS modeli genel yapısı

Gömülü FS yöntemi, sarmal FS yöntemlerine göre daha az hesaplama yüküne sahiptir. Sadece giriş özellikleri ile çıkış arasındaki ilişkiye bakmaz aynı zamanda giriş özelliklerinin arasındaki ilişkiyi de araştırır. Uygun olan alt kümeleri belirler ve bunlar arasından en uygun alt kümeyi ML algoritması kullanarak seçer. Ağaç ve kural tabanlı modeller, düzenleme modelleri gibi bazı modeller bu metota örnek gösterilebilir. En iyi tahminciyi ve en iyi sonuçlar veren bölme noktalarını araştırır. Eğer herhangi bir değişken bölme noktasında kullanılmıyorsa, bu tahmin eşitliğinde yer almaz, modelden çıkarılmış olduğu anlamına gelir. Ağaç toplulukları genelde benzer yapıdadırlar ancak RF gibi bazı algoritmalar bir ağaç oluşurken alakasız özellikler üzerinde bölmeleri zorlar [46].

C.3.1. Rastgele Orman Ağaçları Makine Öğrenim Algoritması Kullanılarak Özelliklerin Önemine Dayalı Özellik Seçimi

RF'de bir regresyon ağacı, yinelemeli olarak kök düğümü uç düğüme kadar homojen gruplara bölerek oluşturulur. Her bölme bir özelliğin değerine bağlı olarak gerçekleşir ve bölme kriterine göre seçilir.

Bir ağaç oluşturulduğunda herhangi bir gözlem değeri için cevap, bölme değişkenleri için gözlenen değerlere bağlı olarak kök düğümünden yaklaşık son düğüme kadar giden bir yol izlenerek tahmin edilebilir. Tahmin cevabı düğümdeki cevapların ortalaması alınarak elde edilir. Rastgele ormanlar, çok sayıda ağaçtan oluşur. Özellik önemi için de çok sayıda ağacın bulunması önemlidir. Özellik önemi, regresyon problemleri için ortalama azalan safsızlık ölçütüdür. Bölme değişkenlerinin seçimi için safsızlığın yanlılığından dolayı sonuç değişken önemi metriği de yanlıdır [47].

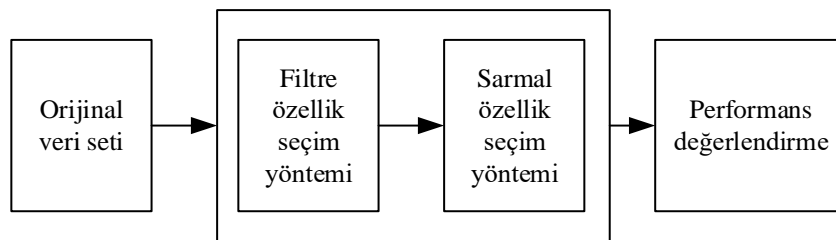
RFI, ağaçlar topluluğunda hesaplanan ve sadece ilişkili değişkenlere bağlı olan önemlilik değerine göre bir seçim gerçekleştirir. Regresyon problemlerinde bir ağaç eğitildiği zaman, her özelliğin safsızlığı yani varyansı ne kadar azalttığını hesaplamak mümkündür. Bir özellik safsızlığı ne kadar azaltırsa o özellik o kadar önemlidir. Her özellik için önem değeri RF tarafından oluşturulur [48]. İlişkisiz değişkenler sıfır öneme sahiptir ve ilişkili özelliklerin önemini etkilemez. Pratikte istenen durum, gürültüye bir önem verilmemesi ve gürültünün başka değişkeni daha fazla (veya daha az) önemli hale getirmemesidir [49]. Değişken önemi için eğitim esnasında, önyükleme örneğinde seçilmeyen verilerden oluşan ilgili torba dışı veriler seçilir ve bu verilerin tahmin hatası hesaplanır ve orman üzerinden ortalaması alınır. Eğitimden sonra belli bir özelliğin önemi ölçülmek istendiğinde, bu özelliğin değerleri rastgele permüte edilir ve tekrar tahmin hatası hesaplanır. O değişkenin önem değeri permütasyondan önceki ve sonraki hata farkının ortalaması alınarak hesaplanır [50].

C.3.2. Rastgele Orman Ağaçları Makine Öğrenim Algoritması Kullanılarak Özelliklerin Öneme Dayalı Yinelemeli Özellik Seçimi

RRFI, C.3.1’de anlatılan RF tarafından elde edilen özellik önemi bilgisine dayanarak özellik seçimi yapmaktadır. Tek fark, bu işlemler tekrarlı olarak yapılır ve her adımda özellik önemi hesaplanır. RF ilk oluşturulmasında başlangıç özellik önemleri belirlenir ve en düşük öneme sahip özellik veri setinden çıkartılarak performanstaki değişim kriteri değerlendirilir. Kriter sağlanıyorsa özellik kalıcı olarak veri setinden çıkartılır. Sonraki adımda kalan özellikler ile yeniden RF algoritması oluşturulup özellik önemleri belirlenir. Her adımda yeni bir önem sıralaması oluşturulur ve tekrar en düşük öneme sahip özellik çıkartılarak performans değerlendirilir. Belirlenen durdurma kriteri sağlanana kadar işlemler tekrarlı olarak devam eder. Böylelikle özellik önemleri, koşullar arasında değil sadece bir koşu için karşılaştırılmış olur [51].

C. 4. Hibrit Özellik Seçim Yöntemi

Hibrit metotlar, en uygun filtre ve sarmal metotların birleşiminden oluşmaktadır. İlk önce filtre metot uygulanarak özellik uzay boyutu azaltılarak aday özellik alt kümeleri oluşturulur. Daha sonra sarmal metot ise en iyi özellik alt kümesini bulmaya çalışır. Şekil 8’de hibrit özellik seçim yönteminin genel yapısı verilmiştir. Hibrit metotlar, filtre metotların yüksek etkililiğinden, sarmal metotların ise yüksek doğruluğundan faydalanır [37].



Şekil 8. Hibrit FS modeli genel yapısı

C.4.1. Rastgele Karıştırma ile Hibrit Özellik Seçimi

RS bir özelliğin gözlem değerlerini rastgele karıştırılmasına dayalı özellik seçimi yapmaktadır. Hibrit özellik seçim yöntemi, filtre metotlar gibi belli kriterlere göre özellikleri tek tek değerlendirir ve

sarmal yöntemler gibi aday özellik alt kümelerini belli bir öğrenme algoritması ile test ederek en uygun alt kümesini seçer. Bu yöntem tek tek özelliklerin gözlem değerlerini karıştırır ve bu karıştırmanın ML algoritmasının performansını nasıl etkilediğini araştırır. Eğer gözlem değerleri karıştırılan özellik, önemli ise kullanılan performans değerlendirme metriğine göre performansın düşmesi beklenir. Aksi halde performans üzerinde etkisinin ya çok az olması ya da hiç olmaması beklenir. Böylelikle karıştırıldıktan sonra performansta düşüşe neden olan özelliğin veri setinde kalması, aksi etki gösteren özelliğin ise veri setinden çıkartılması gerekir [52].

C.4.2. Yinelemeli Özellik Eleme ile Hibrit Özellik Seçimi

RFE, eğitim hatasından en az etkiye sahip olan yani en az öneme sahip özelliği veri setinden çıkartarak modelin genel performansını arttırmayı amaçlar. Zayıf ve gereksiz özelliklerin veri setinden çıkartılması performansı iyileştirebilir. Ancak tek başına yetersiz olan özellikler başka özellikler ile birlikte kullanıldığında önemli bir performans artışı sağlayabilirler. Bu nedenle, yinelemeli özellik eleme yöntemi, tekrarlı olarak her adımda en zayıf özelliği veri setinden çıkarır ve kalan özellikler ML algoritması tarafından performansa etkisi değerlendirilir. Eğer özellik çıkarıldıktan sonra performans düşerse özellik veri setinde kalmalıdır [53].

III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada BFP regresyon tahmini için 2 adet veri seti kullanılmıştır. Veri setlerine 4 grup özellik seçim yöntemlerinden toplam 7 FS algoritması kullanılarak özellik sayıları azaltılmıştır. Yeni oluşturulan özellik alt kümelerine 4 ML algoritması uygulanarak BFP tahmini gerçekleştirilmiştir. 13 özellik bulunan VS setinden 5, 8 ve 11 özellik seçilmiştir. 38 özellik bulunan VS2 setinden 8, 20 ve 32 özellik seçilmiştir. Seçilen özellikler ile ML modelleri ile gerçekleştirilen tahminler 4 karşılaştırma metriği kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca modellerin eğitim süreleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Regresyon yöntemlerinde kullanılan makine öğrenimi algoritmalarının parametre ayarları, modelin performansını etkileyen önemli bir adımdır. Bu nedenle en uygun regresyon parametreleri belirlenmelidir. Bu amaçla, ızgara arama ve 5 katmanlı çapraz doğrulama yöntemleri kullanılarak regresyonlara ait en iyi sonucu veren parametreler belirlenmiştir. Ayrıca veri setinin %80'i eğitim için, %20'si test ve değerlendirmeler için kullanılmıştır.

A. REGRESYON PARAMETRELERİ VE KARŞILAŞTIRMA METRİKLERİ

A.1. Parametre Ayarları

Bu çalışmada RF, SVR, GBR ve XGBR için kullanılan parametreler:

- RF için:
 - 13 özellik bulunan veri seti için: Ağaç sayısı 310, maksimum derinlik 45, minimum yapraktaki veri sayısı 5, minimum bölme veri sayısı 5.
 - 38 özellik bulunan veri seti için: Ağaç sayısı 170, maksimum derinlik 21, minimum yapraktaki veri sayısı 1, minimum bölme veri sayısı 13.
- SVR için:
 - 13 özellik bulunan veri seti için: RBF çekirdeği, regülasyon parametresi 490, gama parametresi 0.001.
 - 38 özellik bulunan veri seti için: Linear çekirdeği, regülasyon parametresi 1.
- GBR için:
 - 13 özellik bulunan veri seti için: Öğrenme oranı 0.09, maksimum derinlik 3.
 - 38 özellik bulunan veri seti için: Öğrenme oranı 0.1, maksimum derinlik 3.

- XGBR için:
 - 13 özellik bulunan veri seti için: Öğrenme oranı 0.12, alfa parametresi 10^{-6} , gama parametresi 0.4, her ağaç oluşturulurken sütunların alt örnek oranı 0.6, eğitim örneklerinin alt örnek oranı 0.6.
 - 38 özellik bulunan veri seti için: Öğrenme oranı 0.12, bir çocukta ihtiyaç duyulan minimum örnek ağırlığı (kendi ağırlığı) toplamı 3, alfa parametresi 10^{-6} , gama parametresi 0.3.

A.2. Regresyon Başarımı Karşılaştırma Metrikleri

BFP tahmini için her özellik seçim algoritması uygulandıktan sonra seçilen özellikler ile yeni oluşturulan veri setleri makine öğrenim algoritmaları ile hedef değişkenin tahmini gerçekleştirildi. Çıkan sonuçları karşılaştırıp değerlendirmek için literatürde sıklıkla karşılaşılan MSE, R^2 , MAPE ve MAE metrikleri kullanıldı. Eş. (19), Eş.(20), Eş. (21) ve Eş.(22)'de n veri sayısı olmak üzere \hat{y}_j , j . bağımlı değişken y_j 'nin tahmin değeridir.

MSE, regresyon problemlerinde hedef değişkenin gerçek değeri ile tahmin edilen değeri arasındaki farkın karesinin ortalamasıdır. Eş. (19)'da verilen MSE, hatanın karesini alarak küçük hataları dahi cezalandırır. Sıfıra ne kadar yakın olursa o kadar iyi performans gösterdiği anlamına gelir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2 \quad (19)$$

R^2 , hataların karelerinin toplamı ile hesaplanır. Bağımlı değişkendeki toplam varyasyonun yüzde kaçının bağımsız değişkendeki varyasyon tarafından açıklandığını belirler. Eş. (20)'de \bar{y} bağımlı değişkenin gerçek değerlerin ortalamasıdır.

$$R^2(y, \hat{y}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (20)$$

MAPE, bağımlı değişkenin gerçek değeri ile tahmin değeri arasındaki farkın yüzdelik cinsten ifadesi Eş. (21)'deki gibidir.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \times 100 \quad (21)$$

MAE, hedef değişkenin gerçek değeri ile tahmin edilen değeri arasındaki farkın mutlak değerinin ortalamasıdır. MAE, Eş. (22)'de verildiği gibi ifade edilir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j| \quad (22)$$

B. ÖZELLİK SEÇİMİNDE KULLANILAN REGRESYON YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada filtre, sarmal, gömülü ve hibrit özellik seçim yöntemleri kapsamında 7 adet özellik seçim algoritması kullanılmıştır. Çalışmalar Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ML ve FS işlemleri için bir Python kütüphanesi olan Scikit-learn kullanılmıştır. ML algoritmalarında modelin eğitilmesi ve başarımın test edilmesi amacıyla verilerin %80'ni eğitim için %20'si test için kullanılmıştır.

- MI filtre özellik yöntemi özelliklerin hedef özellik ile arasındaki bilgiyi değerlendirir. Durdurma kriterini sağlayana dek hedef özellik ile en çok ilişkili olan bağımsız özellikler seçilmiştir.
- SFS ve sıralı SBS sarmal FS yöntemleri, alt küme oluşturma ve alt küme değerlendirmesi için öğrenme algoritması kullanır. Bu özellik seçim yöntemleri için RF regresyon öğrenme algoritması kullanılmıştır.
- Gömülü FS yöntemleri, algoritma yapısında özellik seçimi gerçekleştiren makine öğrenim yöntemlerini kullanarak yapılan bir yöntemdir. Bu çalışmada gömülü FS yöntemleri için RF regresyon öğrenme algoritması kullanılarak özelliklerin önem değerleri belirlenip bu değerlere dayalı bir seçim gerçekleştirilmiştir.
- Hibrit özellik seçim yöntemleri, uygun filtre ve sarmal metotları birlikte kullanan bir yöntemdir. Bu çalışmada RS hibrit FS yöntemi için SVR öğrenme algoritması kullanılmıştır. RFE hibrit FS yöntemi için GBR öğrenme algoritması kullanılmıştır.

C. DENEYSEL SONUÇLAR

VS1 ve VS2 deney setleri kullanılarak çeşitli FS metotlarının farklı ML modelleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'te ML modellerinin eğitim süreleri, seçilen özellik sayısına göre karşılaştırılmıştır. Özellik seçim işlemi yapılmadan tam veri seti ile kurulan modellerin eğitim süresi, özellik seçimi yapıldıktan sonra kurulan modelin eğitim süresinden tüm durumlar için daha uzundur. Her ML algoritmasında eğitim için harcanan süre değişmektedir. Çalışmada VS1 ve VS2 veri setleri kullanıldığında, ML modellerinden eğitim için geçen sürelerden 0,49580 sn ile en uzun RF modeli iken 0,00641 sn ile en kısa SVR modelidir. Her iki veri seti için en uzun ve en kısa olan modeller değişmemektedir, ancak veri setindeki özellik sayısı arttıkça işlem yükü artacağından eğitim süreleri de artmaktadır.

Tablo 2. VS1 için seçilen özellik sayısına göre model eğitim süresi (sn)

	<i>Regresyon Yöntemi</i>	RF	SVR	GBR	XGBR
<i>Seçilen Özellik Sayısı</i>	5	0,42679	0,00445	0,04964	0,02053
	8	0,40214	0,00410	0,06329	0,01943
	11	0,44542	0,00392	0,07127	0,04127
	13	0,49580	0,00641	0,08630	0,02365

Tablo 3. VS2 için seçilen özellik sayısına göre model eğitim süresi (sn)

	<i>Regresyon Yöntemi</i>	RF	SVR	GBR	XGBR
<i>Seçilen Özellik Sayısı</i>	8	0,25575	0,00492	0,07007	0,02672
	20	0,33445	0,00520	0,11674	0,03991
	32	0,41710	0,00602	0,16547	0,05443
	38	0,42393	0,01176	0,18552	0,18552

VS1 ve VS2 veri setlerinde özellik seçimi yapan 7 FS algoritmasının bağımlı değişken için tahminleri 4 farklı ML algoritması ile değerlendirilmiştir. Tablo 4 - Tablo 10 arasında verildiği gibi sonuçlar 4 farklı performans metriği kullanılarak karşılaştırılmıştır. VS1 veri seti için yaklaşık %40 (5 özellik),

%60 (8 özellik) ve %85 (11 özellik) olacak şekilde seçilen özellik sayısı ayarlanmıştır. VS2 veri seti için ise yaklaşık %20 (8 özellik), %40 (20 özellik) ve %85 (32 özellik) olacak şekilde seçilen özellik sayısı ayarlanmıştır. Tablo 4'te VS1 ve VS2 veri setlerine FS algoritmaları uygulanmadan önceki sırasıyla 13 ve 38 bağımsız değişken bulunan durumlar için ML model performansları verilmiştir.

Tablo 5 - Tablo 7 arasında VS1 veri setine farklı FS algoritmaları uygulanarak sırasıyla 5, 8, 11 özellik seçilmiştir ve farklı performans metriklerine göre ML modellerinin başarıları verilmiştir. Tablo 5'te verilen VS1 veri setinden 5 özellik seçen FS algoritmalarından genellikle en başarılı sonuçlar hibrit FS metotlarından elde edilmiştir. Bu tablodaki 16 performans sonucuna göre hibrit metot 14 durumda en iyi performansı göstermiştir. Bu performanslardan 9 sonuç RS hibrit FS metotuna aittir. Ayrıca verilen 2 farklı sarmal ve gömülü metot türleri kendi içlerinde aynı sonuçları vermiştir. Yani bu yöntemler aynı özellikleri seçmişlerdir. Benzer durum

Tablo 6 ile Tablo 7'deki sarmal ve gömülü FS yöntemlerinde de görülebilmektedir.

Tablo 6'da verilen VS1 veri setinden 8 özellik seçen FS algoritmalarından genellikle en başarılı sonuçlar Tablo 5'e benzer olarak hibrit FS metotlarından elde edilmiştir. Bu tablodaki 16 performans sonucuna göre hibrit metot 12 durumda en iyi performansı göstermiştir. Bu performanslardan 8 sonuç RS hibrit FS metotuna aittir. Tablo 7'de verilen VS1 veri setinden 11 özellik seçen FS algoritmalarından genellikle en başarılı sonuçlar sarmal FS metotlarından elde edilmiştir. Bu tablodaki 16 performans sonucuna göre sarmal metot 8 durumda en iyi performansı göstermiştir. Verilen 2 farklı sarmal metot türünde aynı özellikler seçildiğinden aralarında performans farklılığı olmamıştır.

Tablo 4. VS1 ve VS2 için özellik seçimi yapılmadan önce modellerin performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Orijinal Veri Setleri	VS1	12,865	0,789	2,962	0,179	10,654	0,826	2,607	0,152	12,130	0,813	2,797	0,149	12,691	0,827	3,058	0,168
	VS2	12,871	0,802	2,902	0,159	10,605	0,827	2,618	0,158	13,582	0,798	3,015	0,163	13,180	0,801	2,941	0,158

Tablo 8 - Tablo 10 arasında VS2 veri setine farklı FS algoritmaları uygulanarak sırasıyla 8, 20, 32 özellik seçilmiştir ve farklı performans metriklerine göre ML modellerinin başarıları verilmiştir. Tablo 8'de verilen VS2 veri setinden 8 özellik seçen FS algoritmalarından genellikle en başarılı sonuçlar sarmal FS metotlarından elde edilmiştir. Toplam 16 performans sonucuna göre sarmal FS metotlarından 10 durumda SBS metodu, 4 durumda da SFS metodu en iyi performansı göstermiştir. Tablo 9'da verilen VS2 veri setinden 20 özellik seçen FS algoritmalarından genellikle en başarılı sonuçlar hibrit FS metotlarından elde edilmiştir. Toplam 16 performans sonucuna göre hibrit FS metotlarının başarılı olduğu 10 durumdan 9'unda RFE metodu en başarılı sonuçları vermiştir. Tablo 10'da VS2 veri setinden 32 özellik seçen FS algoritmalarından genellikle en başarılı sonuçlar sarmal FS metotlarından elde edilmiştir. Tablo 10'daki toplam 16 performans sonucuna göre sarmal FS metotlarının başarılı olduğu 10 durumdan 6'sında SFS metodu en başarılı sonuçları vermiştir.

MI'nın başarılı olduğu yalnızca 2 durum vardır. İki veri seti için yüksek oranda özellik seçildiğinde MI, R2 metriğine göre başarılı sonuçlar vermiştir.

Tablo 5. VS1 için farklı FS yöntemleri ile seçilen 5 özelliğin model performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Özellik Seçme Yöntemi	MI	13,733	0,794	2,843	0,161	12,021	0,809	2,769	0,162	13,987	0,778	3,084	0,180	14,961	0,788	3,112	0,171
	SFS	12,694	0,802	2,753	0,151	10,694	0,825	2,605	0,159	14,968	0,787	3,090	0,183	13,588	0,796	2,852	0,160
	SBS	12,694	0,802	2,753	0,151	10,694	0,825	2,605	0,159	14,968	0,787	3,090	0,183	13,588	0,796	2,852	0,160
	RFI	12,205	0,809	2,816	0,153	10,477	0,829	2,639	0,158	14,473	0,788	3,050	0,170	15,678	0,791	2,969	0,185
	RRFI	12,205	0,809	2,816	0,153	10,477	0,829	2,639	0,158	14,473	0,788	3,050	0,170	15,678	0,791	2,969	0,185
	RFE	12,304	0,807	2,748	0,162	10,310	0,831	2,587	0,156	13,126	0,803	2,856	0,176	15,078	0,802	3,016	0,161
	RS	11,286	0,830	2,626	0,162	11,440	0,812	2,694	0,161	12,943	0,818	2,966	0,170	11,278	0,831	2,737	0,165

Tablo 6. VS1 için farklı FS yöntemleri ile seçilen 8 özelliğin model performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Özellik Seçme Yöntemi	MI	13,178	0,798	2,984	0,169	11,855	0,809	2,729	0,159	16,176	0,777	3,280	0,183	17,068	0,759	3,115	0,180
	SFS	12,642	0,810	2,850	0,152	10,833	0,823	2,621	0,160	15,036	0,786	2,975	0,179	14,297	0,775	2,911	0,179
	SBS	12,642	0,810	2,850	0,152	10,833	0,823	2,621	0,160	15,036	0,786	2,975	0,179	14,297	0,775	2,911	0,179
	RFI	12,754	0,808	2,802	0,153	10,934	0,821	2,620	0,158	14,383	0,787	2,932	0,168	12,203	0,817	2,760	0,155
	RRFI	12,944	0,798	2,860	0,157	10,981	0,822	2,632	0,157	13,858	0,787	3,022	0,172	13,846	0,792	2,877	0,160
	RFE	12,975	0,807	2,871	0,158	11,762	0,832	2,784	0,155	14,552	0,800	3,004	0,157	12,518	0,833	2,807	0,158
	RS	12,308	0,815	2,730	0,163	10,287	0,832	2,580	0,157	11,152	0,809	2,686	0,169	13,113	0,793	2,894	0,167

Tablo 7. VS1 için farklı FS yöntemleri ile seçilen 11 özelliğin model performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Özellik Seçme Yöntemi	MI	12,637	0,809	2,917	0,167	10,528	0,828	2,618	0,154	13,875	0,796	3,099	0,174	13,517	0,782	2,982	0,172
	SFS	12,458	0,808	2,850	0,154	11,196	0,838	2,676	0,161	13,521	0,816	2,882	0,164	12,964	0,805	2,760	0,150
	SBS	12,458	0,808	2,850	0,154	11,196	0,838	2,676	0,161	13,521	0,816	2,882	0,164	12,964	0,805	2,760	0,150
	RFI	12,854	0,802	2,887	0,158	10,990	0,826	2,644	0,158	12,955	0,812	2,876	0,163	12,640	0,795	2,953	0,158
	RRFI	12,854	0,802	2,887	0,158	10,990	0,826	2,644	0,158	12,955	0,812	2,876	0,163	12,640	0,795	2,953	0,158
	RFE	12,660	0,805	2,873	0,157	10,771	0,827	2,631	0,159	12,732	0,812	2,877	0,152	14,045	0,802	2,980	0,165
	RS	12,730	0,803	2,873	0,160	10,030	0,836	2,545	0,154	11,728	0,800	2,801	0,165	13,089	0,796	2,854	0,160

Tablo 8. VS2 için farklı FS yöntemleri ile seçilen 8 özelliğin model performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Özellik Seçme Yöntemi	MI	13,471	0,769	3,009	0,190	12,035	0,803	2,777	0,172	14,928	0,745	3,244	0,190	16,293	0,739	3,345	0,201
	SFS	12,490	0,795	2,834	0,175	11,013	0,820	2,675	0,165	12,930	0,835	2,897	0,174	14,950	0,806	3,035	0,180
	SBS	12,033	0,819	2,832	0,165	11,158	0,812	2,706	0,163	13,874	0,792	2,860	0,161	10,920	0,836	2,678	0,156
	RFI	13,582	0,792	2,971	0,177	12,175	0,801	2,806	0,168	13,382	0,763	3,077	0,190	14,202	0,788	3,155	0,195
	RRFI	13,750	0,795	3,019	0,171	11,234	0,816	2,618	0,165	15,333	0,774	3,157	0,180	14,316	0,785	3,075	0,178
	RFE	13,079	0,799	2,856	0,168	12,206	0,800	2,778	0,162	13,652	0,794	2,944	0,166	13,891	0,809	3,036	0,177
	RS	12,680	0,789	2,887	0,176	12,652	0,805	2,862	0,169	13,497	0,780	3,038	0,202	15,767	0,780	3,143	0,195

Tablo 9. VS2 için farklı FS yöntemleri ile seçilen 20 özelliğin model performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Özellik Seçme Yöntemi	MI	14,310	0,774	3,137	0,186	12,582	0,807	2,883	0,174	15,276	0,752	3,386	0,188	14,778	0,778	3,169	0,184
	SFS	12,425	0,793	2,771	0,170	10,976	0,821	2,638	0,158	14,913	0,791	3,072	0,184	14,329	0,805	3,110	0,174
	SBS	12,361	0,795	2,832	0,174	11,140	0,822	2,661	0,159	14,220	0,777	2,960	0,177	14,208	0,782	3,021	0,174
	RFI	13,188	0,792	2,939	0,170	12,065	0,808	2,779	0,159	14,858	0,785	3,121	0,171	14,447	0,803	3,010	0,179
	RRFI	12,714	0,794	2,893	0,174	9,983	0,837	2,534	0,153	13,808	0,800	3,116	0,175	14,576	0,799	3,159	0,177
	RFE	12,370	0,788	2,879	0,177	10,025	0,836	2,455	0,148	13,496	0,816	3,042	0,163	12,499	0,830	2,998	0,162
	RS	12,327	0,793	2,851	0,177	11,509	0,818	2,660	0,153	14,995	0,788	3,131	0,188	14,597	0,790	3,016	0,182

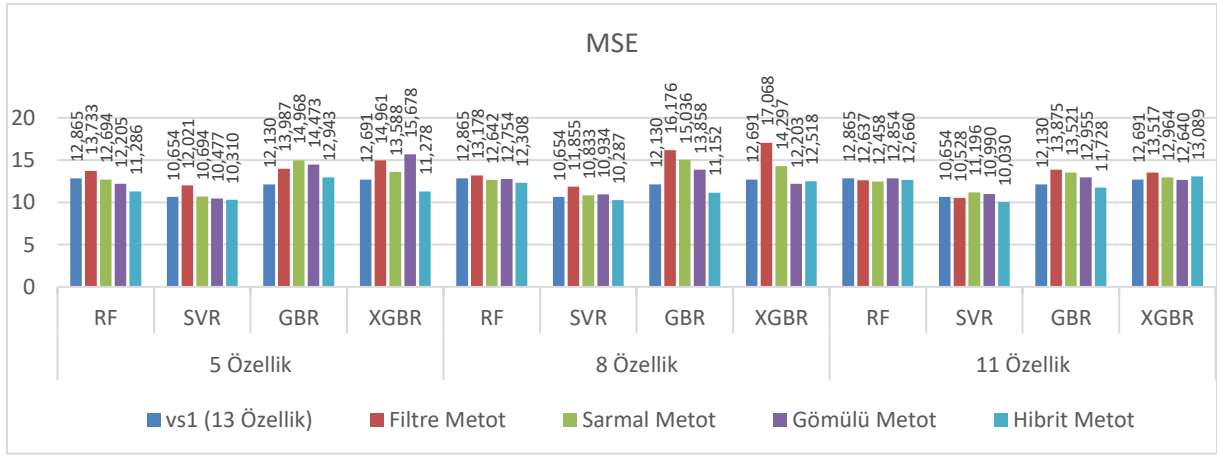
Tablo 10. VS2 için farklı FS yöntemleri ile seçilen 32 özelliğin model performansı

Regresyon Yöntemi		RF				SVR				GBR				XGBR			
Performans Metriği		MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE	MSE	R2	MAE	MAPE
Özellik Seçme Yöntemi	MI	12,899	0,792	2,940	0,175	11,479	0,814	2,700	0,156	13,542	0,809	2,959	0,159	14,673	0,800	3,109	0,175
	SFS	12,374	0,788	2,815	0,176	11,187	0,822	2,677	0,154	13,562	0,815	3,072	0,172	11,221	0,819	2,794	0,155
	SBS	12,767	0,792	2,909	0,175	11,088	0,824	2,691	0,155	13,075	0,799	2,904	0,159	12,586	0,828	2,957	0,169
	RFI	12,791	0,788	2,951	0,178	10,857	0,823	2,625	0,152	13,243	0,806	3,022	0,164	12,819	0,825	2,954	0,162
	RRFI	12,891	0,792	2,961	0,177	11,681	0,809	2,789	0,163	13,602	0,802	2,992	0,161	13,238	0,819	2,992	0,159
	RFE	12,776	0,785	2,946	0,177	9,753	0,841	2,508	0,151	13,412	0,810	3,066	0,171	12,593	0,828	2,946	0,174
	RS	13,259	0,788	2,979	0,175	9,958	0,837	2,492	0,145	13,438	0,798	2,930	0,181	14,538	0,808	3,046	0,186

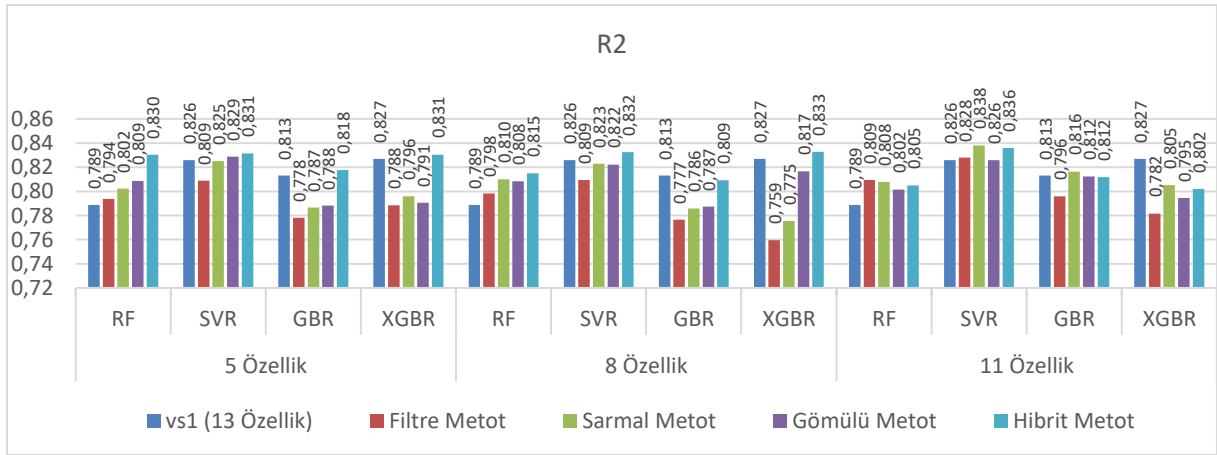
IV. SONUC

Giriş bölümünde bahsedilen diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışma, veri setlerinin farklı özellik seçim yöntemleri kullanılarak bunların karşılaştırılmasını sağlamıştır. Çalışmamızda 248 kişiden alınan 13 farklı antropometrik verinin bulunduğu VS1 seti ve bu veri setinden türetilen 25 verinin daha eklenmesi ile oluşan 38 özelliğin bulunduğu VS2 seti kullanılarak BFP tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu veri setleri ile 7 FS yönteminin karşılaştırılması amaçlanmıştır. FS algoritmaları ile seçilen özellikler 4 farklı ML algoritması ile eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlar 4 performans metriği ile değerlendirilmiştir. Toplamda 96 farklı durum oluşmuştur. Bunlardan 48 durumda hibrit FS yöntemi, 39 durumda sarmal FS yöntemi, 7 durumda gömülü FS yöntemi ve 2 durumda filtre FS yöntemi performans metriklerine göre en iyi sonucu vermiştir. Genellikle FS uygulanarak seçilen veriler ile yapılan tahminlerin performansı, FS uygulanmadan VS1 ve VS2 setleri ile yapılan tahminlerin performansına göre daha başarılıdır. Orijinal veri setlerine kıyasla daha az özellik kullanılarak gerçekleştirilen tahminlerde hesaplama yükü azalmıştır. Böylece ML modellerinin eğitim sürelerinin kısalarak FS yöntemlerinin olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Şekil 9 - Şekil 16 arasında FS yöntemlerinin seçtiği özellikler ile yapılan tahminlerin performansı verilmiştir.

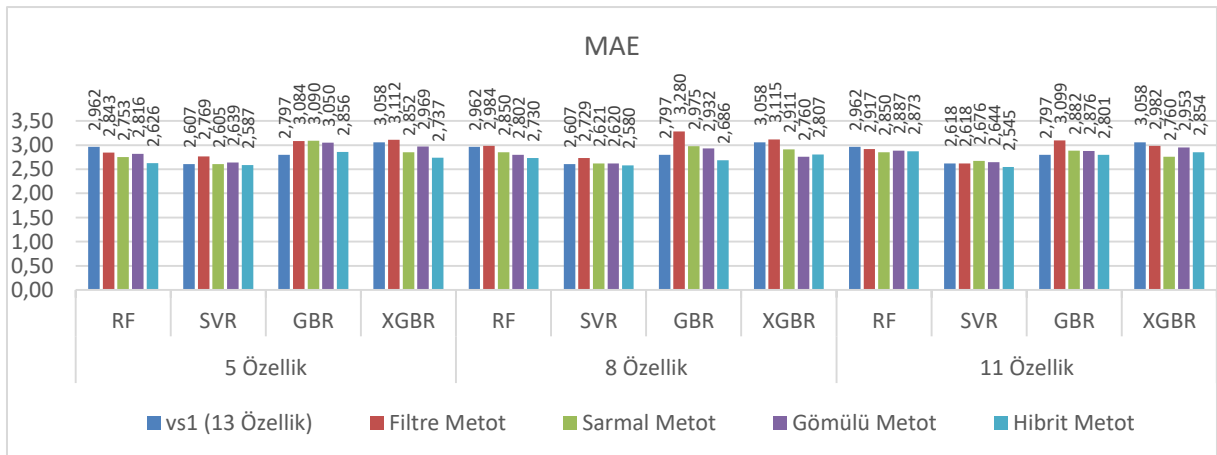
Sonraki çalışmalarda, bu çalışmada kullanılan farklı yöntemler ile hibrit yöntemler geliştirilebilir ve bunlar uygulanarak yeni özellik seçim yöntemleri elde edilebilir. Bu şekilde en iyi FS yöntemleri kombinasyonu oluşturularak sonuçların iyileştirilmesi amaçlanabilir.



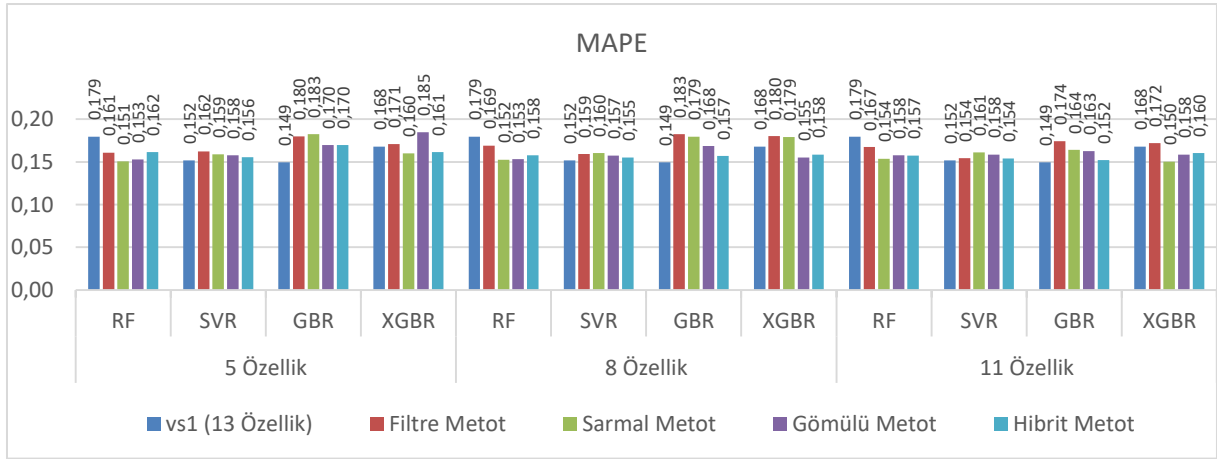
Şekil 9. VS1'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre MSE değerlerinin karşılaştırılması



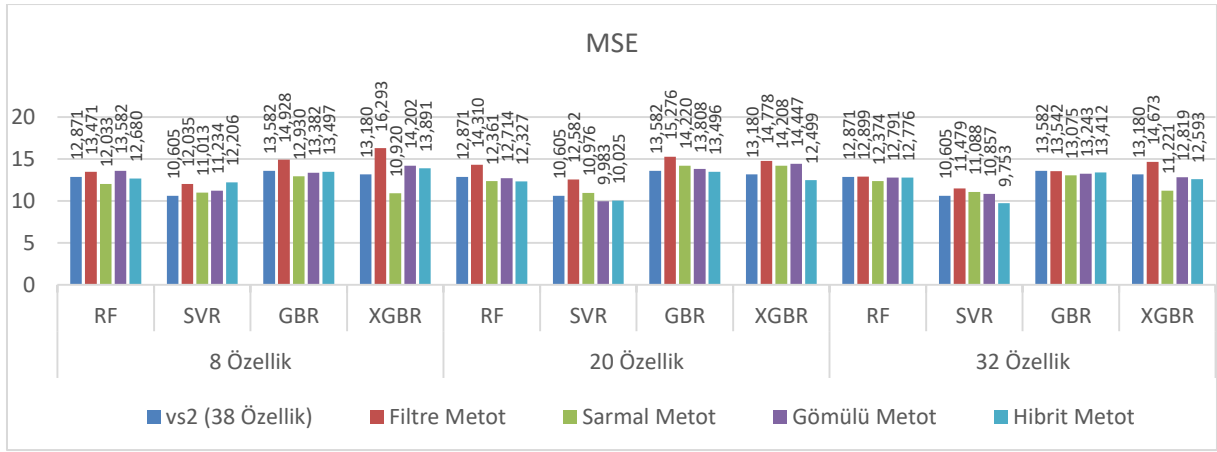
Şekil 10. VS1'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre R² değerlerinin karşılaştırılması



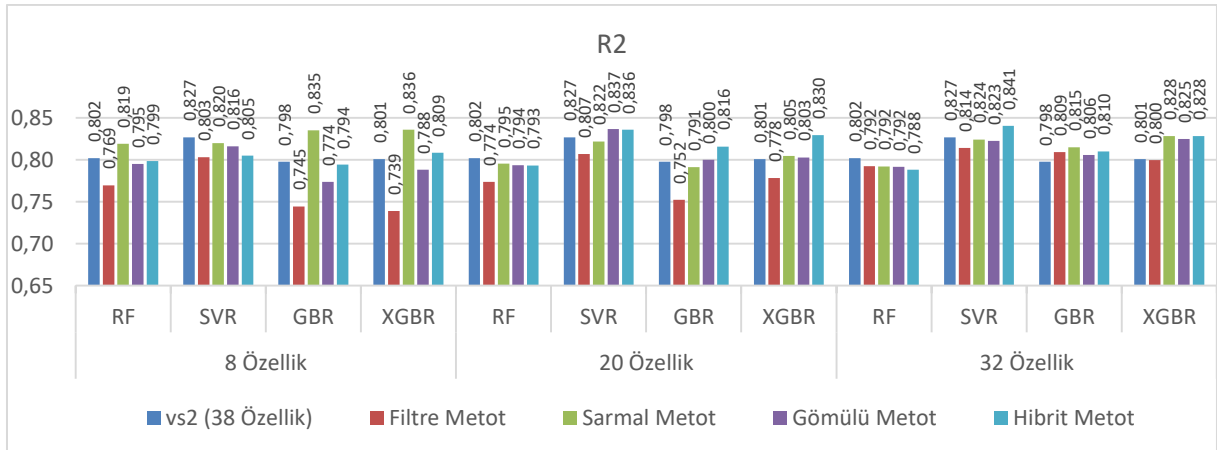
Şekil 11. VS1'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre MAE değerlerinin karşılaştırılması



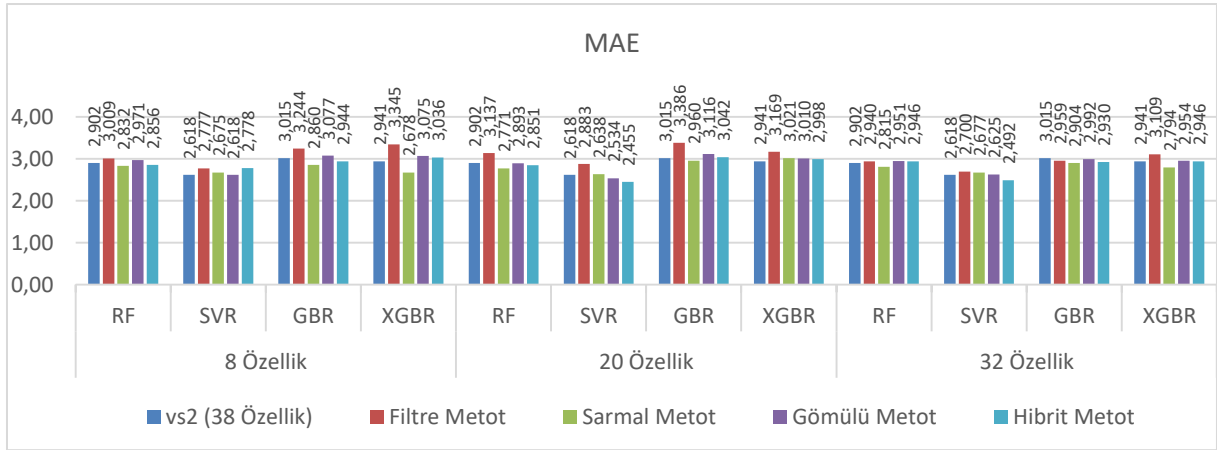
Şekil 12. VS1'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre MAPE değerlerinin karşılaştırılması



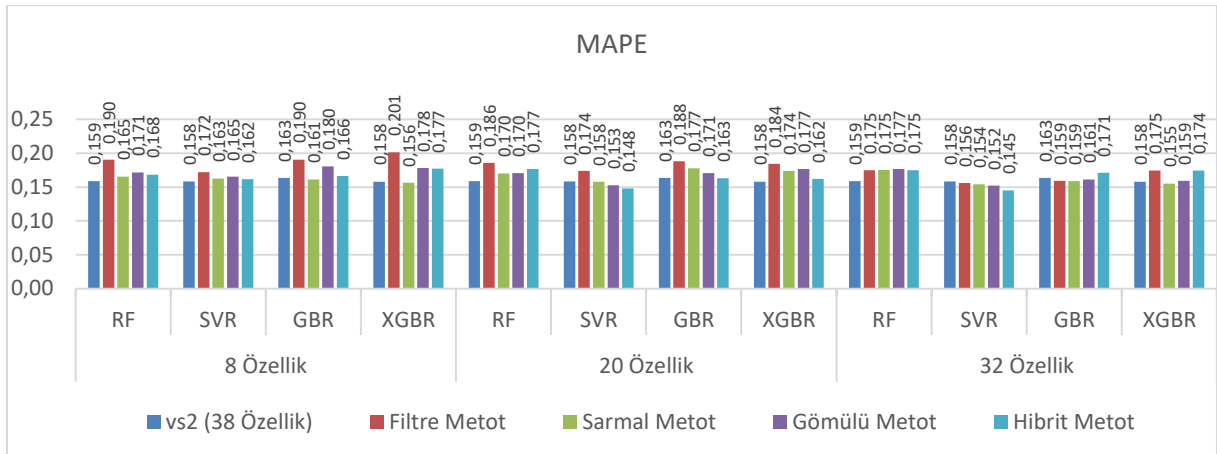
Şekil 13. VS2'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre MSE değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 14. VS2'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre R² değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 15. VS2'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre MAE değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 16. VS2'den farklı sayılarda özellik seçen FS metotlarının ML modellerine göre MAPE değerlerinin karşılaştırılması

V. KAYNAKLAR

- [1] C. J. Laviea, A. D. Schuttera, P. Partoa, E. Jahangira, P. Kokkinosb, F. B. Ortegac, R. Arenad and R. V. Milania, "Obesity and Prevalence of Cardiovascular Diseases and Prognosis- The Obesity Paradox Updated," *Progress in Cardiovascular Diseases*, vol. 58, no. 5, pp. 537-547, 2016.
- [2] F. McLellan, "Obesity rising to alarming levels around the world," *The Lancet*, vol. 359, no. 9315, pp. 1412, 2002.
- [3] C. L. Edelman, C. L. Mandle and E. C. Kudzma, "Health promotion throughout the life span-e-book," *Elsevier Health Sciences*, 2017.
- [4] E. Sukic', A. Katic', E. Stokic', A. Kupusinac and O. Rankov, "What kind of relationship is between body mass index and body fat percentage?," *J. Med. Syst.*, vol. 41, pp. 1-5, 2016.
- [5] A. Kupusinac, E. Stokić and R. Doroslovački, "Predicting body fat percentage based on gender, age and BMI by using artificial neural networks," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 113, no. 2, pp. 610-619, 2014.

- [6] P. Raj, W. Leslie, L. Lix, and S. Majumdar, "Relationship Among Body Fat Percentage, Body Mass Index, and All-Cause Mortality," *Annals of Internal Medicine*, vol. 164. No. 8, ss. 532-543, 2016.
- [7] B. Baraklı ve A. Küçüker, "Karar Destek Makineleri ve Rastgele Orman Ağaçları Yöntemleri ile Vücut Yağ Yüzdesinin Tahmini," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 430-445, 2018.
- [8] M. K. Uçar, Z. Uçar, F. Köksal, and N. Daldal, "Estimation of body fat percentage using hybrid machine learning algorithms," *Measurement*, vol. 167, 2021.
- [9] G. Chandrashekar, F. Sahin, "A survey on feature selection methods," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 40, no. 1, 2014, pp.16-28.
- [10] A. Kupusinac, E. Stokić and R. Doroslovački, "Predicting body fat percentage based on gender, age and BMI by using artificial neural networks," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 113, no. 2, pp. 610-619, 2014.
- [11] Y. E. Shao, "Body Fat Percentage Prediction Using Intelligent Hybrid Approaches," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [12] T. Ferenci, and L. Kovács, "Predicting body fat percentage from anthropometric and laboratory measurements using artificial neural networks," *Applied Soft Computing*, vol. 67, pp. 834-839, 2018.
- [13] F. Keivanian, R. Chiong and Z. Hu, "A Fuzzy Adaptive Binary Global Learning Colonization-MLP model for Body Fat Prediction," *2019 3rd International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies (BioSMART)*, Paris, France, 2019, pp. 1-4.
- [14] R. Chiong, Z. Fan, Z. Hu and F. Chiong, "Using an improved relative error support vector machine for body fat prediction," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 198, p. 105749, 2020.
- [15] S.A. Hussain, N. Cavus, and B. Sekeroglu, "Hybrid Machine Learning Model for Body Fat Percentage Prediction Based on Support Vector Regression and Emotional Artificial Neural Networks," *Appl. Sci.* vol. 11, s. 9797, 2021.
- [16] K. W. DeGregory, P. Kuiper, T. DeSilvio, J. D. Pleuss, R. Miller, J. W. Roginski, C. B. Fisher, D. Harness, S. Viswanath, S. B. Heymsfield, I. Dungan and D. M. Thomas, "A review of machine learning in obesity," *Obesity Reviews*, vol. 19, no. 5, pp. 668-685, 2018.
- [17] V. N. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, 1st ed., New York, USA, Springer, 1995, pp. 15-32.
- [18] E. Pekel, "Estimation of soil moisture using decision tree regression," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 139, pp. 1111-1119, 2020.
- [19] G. Fan, S. E. Ong and H. C. Koh, "Determinants of House Price: A Decision Tree Approach," *Urban Studies*, vol. 43, no. 12, pp. 2301–2315, 2006.
- [20] Scikit-learn: Machine Learning in Python. (2022, May 01). *Decision Trees*. [Online]. Available: <https://scikit-learn.org/stable/modules/tree.html#regression>

- [21] M. R. Segal, "Machine Learning Benchmarks and Random Forest Regression," *UCSF: Center for Bioinformatics and Molecular Biostatistics*, 2004.
- [22] V. Svetnik, A. Liaw, C. Tong, J. C. Culberson, R. P. Sheridan, and B. P. Feuston, "Random Forest: A Classification and Regression Tool for Compound Classification and QSAR Modeling," *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, vol. 43, pp. 1947-1958, 2003.
- [23] M. Awad, and R. Khanna, *Efficient Learning Machines: Theories, Concepts, and Applications for Engineers and System Designers*, Apress, pp. 67-80, 2015.
- [24] V. Cherkassky, and Y. Ma, "Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression," *Neural Networks*, vol. 17, no. 1, 2004, pp. 113-126.
- [25] K. Ito and R. Nakano, "Optimizing Support Vector regression hyperparameters based on cross-validation," *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, Oregon, USA, 2003, pp. 2077-2082.
- [26] A. J. Smola, and B. Schölkopf, "A tutorial on support vector regression," *Statistics and Computing*, vol. 14, 2004, pp. 199-222.
- [27] A. Géron, *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*, 2nd ed., California, USA, O'Reilly, 2019.
- [28] R. Gholami, and N. Fakhari, "Chapter 27 - Support Vector Machine: Principles, Parameters, and Applications," in *Handbook of Neural Computation*, Academic Press, 2017, ch. 27, pp. 515-535.
- [29] R. Stoean, D. Dumitrescu, M. Preuss and C. Stoean, "Evolutionary Support Vector Regression Machines," *2006 Eighth International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing*, Timisoara, Romania, 2006, pp. 330-335.
- [30] Y. Zhang, and A. Haghani, "A gradient boosting method to improve travel time prediction," *Transportation Research Part C*, vol. 58, 2015, pp. 308-324.
- [31] A. Natekin, and A. Knoll, "Gradient boosting machines, a tutorial," *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 7, 2013.
- [32] J. H. Friedman, "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine," *The Annals of Statistics*, vol. 29, no. 5, 2001, pp. 1189-1232.
- [33] T. Chen, and C. Guestrin, "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System," *KDD '16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, California, USA, 2016, pp. 785-794.
- [34] P. Carmona, F. Climent, and A. Momparler, "Predicting failure in the U.S. banking sector: An extreme gradient boosting approach," *International Review of Economics & Finance*, vol. 61, 2019, pp. 304-323.
- [35] O. Sagi, and L. Rokach, "Approximating XGBoost with an interpretable decision tree," *Information Sciences*, vol. 572, 2021, pp. 522-542.
- [36] V. Kumar and S. Minz, "Feature Selection: A literature Review," *Smart Computing Review*, vol. 4, no. 3, pp. 211-229, 2014.

- [37] A. Jović, K. Brkić and N. Bogunović, “A review of feature selection methods with applications,” *2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2015, pp. 1200-1205.
- [38] J. Miao, and L. Niu, “A Survey on Feature Selection,” *Procedia Computer Science*, vol. 91, pp. 919-926, 2016.
- [39] D. A. Otchere, T. O. A. Ganat, J. O. Ojero, B. N. Tackie-Otoo, and M. Y. Taki, “Application of gradient boosting regression model for the evaluation of feature selection techniques in improving reservoir characterisation predictions,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 208, no. E, 2022.
- [40] B. Frénay, G. Doquire, and M. Verleysen, “Is mutual information adequate for feature selection in regression?,” *Neural Networks*, vol. 48, 2013, pp. 1-7.
- [41] A. Kraskov, H. Stögbauer, and P. Grassberger, “Estimating mutual information,” *American Physical Society*, vol.69, no.6, 2004.
- [42] S. Raschka. (2022, Mar 21). *SequentialFeatureSelector: The popular forward and backward feature selection approaches incl. floating variants. 2021*. [Online]. Available: http://rasbt.github.io/mlxtend/user_guide/feature_selection/SequentialFeatureSelector/ .
- [43] M. Karagiannopoulos, D. Anyfantis, S. B. Kotsiantis, and P. E. Pintelas, “Feature Selection for Regression Problems,” *8th HellenicEuropean Research on Computer Mathematics and Its Applications*, Athens, Greece, 2007.
- [44] F.J. Ferri, P. Pudil, M. Hatef, and J. Kittler, “Comparative Study of Techniques for Large-Scale Feature Selection,” *Machine Intelligence and Pattern Recognition*, vol. 16, pp. 403-413, 1994.
- [45] Y. Saeys, T. Abeel, and Y. V. Peer, “Robust Feature Selection Using Ensemble Feature Selection Techniques,” in *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin, Heidelberg, Springer, 2008.
- [46] M. Kuhn, and K. Johnson, *Feature Engineering and Selection: A Practical Approach for Predictive Models*, 1st ed., Northwest, USA, CRC Press, 2020, pp. 227-240.
- [47] U. Grömping, “Variable Importance Assessment in Regression: Linear Regression versus Random Forest,” *The American Statistician*, vol. 63, no. 4, pp. 308-319, 2009.
- [48] C. Strobl, A. Boulesteix, A. Zeileis and T. Hothorn, “Bias in random forest variable importance measures: Illustrations, sources and a solution,” *BMC Bioinformatics*, vol. 8, no. 25, 2007.
- [49] G. Louppe, “Understanding Random Forests From Theory To Practice,” Ph.D. dissertation, Faculty of Applied Sciences Department of Electrical Engineering & Computer Science, University of Liège, Liège, Belgium, 2014.
- [50] Wikipedia. (2022, Mar 25). *Random forest*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest .

- [51] B. F. Darst, K. C. Malecki, and C. D. Engelman, "Using recursive feature elimination in random forest to account for correlated variables in high dimensional data," *BMC Genetics*, vol. 19, no. 65, 2018.
- [52] M. B. Kursa, W. R. Rudnicki, "Feature Selection with the Boruta Package," *Journal of Statistical Software*, vol. 36, no. 11, 2010.
- [53] X. Chen, and J. C. Jeong, "Enhanced Recursive Feature Elimination," *Sixth International Conference on Machine Learning and Applications*, Cincinnati, USA, 2007, pp. 429-435.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Design Of Gravity Separator For Recovery Of Two Different Metal Group

 Hasan ER ^{a,*},  Ziya ÖZÇELİK ^b

^a Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

^b Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

Sorumlu yazarın e-posta adresi: erhasan@rocketmail.com

DOI:10.29130/dubited.1351178

ABSTRACT

This study, "Design of a Gravity Separator for the Recovery of Two Different Metal Groups", represents important research aiming to recover metals in a sustainable way and reduce the amount of waste. This study aims to separate metals according to their density differences. It is an effective method, especially for the separation of different metals such as copper and aluminum. Therefore, this study investigates how this technology can be used more efficiently. As a result of the literature review, existing gravity separation techniques were evaluated. This formed the basis for a new and novel gravity separator design based on existing knowledge. This design is designed to have a capacity of one ton per hour. This capacity demonstrates usability on an industrial scale. The designed separator aims to separate mixed copper and aluminum pieces and convert them into pure granule raw material. During the implementation phase, it was tested how this design would perform in the field. As a result of these tests, it is aimed to recover approximately 8760 tons of waste material annually. This makes a positive contribution to the environment by recycling large amounts of waste material. In conclusion, this study highlights an important method for sustainable recovery of metals. The effective use of gravity separation technology is of great importance in reducing the amount of waste and protecting natural resources. This study is an important step in highlighting sustainability and environmentally friendly practices.

Keywords: Gravity Separation Technology, Metal Recovery, Sustainability

Farklı İki Metal Grubun Geri Kazanımı için Gravite Ayırıcısı Tasarımı

ÖZET

"Farklı İki Metal Grubun Geri Kazanımı için Gravite Ayırıcısı Tasarımı" adlı bu çalışma, metallerin sürdürülebilir bir şekilde geri kazanılmasını ve atık miktarının azaltılmasını amaçlayan önemli bir araştırmayı temsil eder. Bu çalışma, metallerin yoğunluk farklarına göre ayrılmasını sağlamaktadır. Özellikle bakır ve alüminyum gibi farklı metallerin ayrılması için etkili bir yöntemdir. Bu nedenle, bu çalışma bu teknolojinin nasıl daha verimli bir şekilde kullanılabileceğini araştırmaktadır. Literatür taraması sonucunda, mevcut gravite ayırma teknikleri değerlendirilmiştir. Bu, mevcut bilgiye dayalı olarak yeni ve özgün bir gravite ayırıcısı tasarımının temelini oluşturulmuştur. Bu tasarım, saatte bir ton kapasiteye sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kapasite, endüstriyel ölçekte kullanılabilirliği

göstermektedir. Tasarlanan ayırıcı, karışık bakır ve alüminyum parçalarını ayrıştırarak saf granür hammaddeye dönüştürmeyi hedefler. Uygulama aşamasında, bu tasarımın sahada nasıl performans göstereceği test edilmiştir. Bu testler sonucunda, yıllık olarak yaklaşık 8760 ton atık maddenin geri kazanılması hedeflenmektedir. Bu, büyük miktarlarda atık maddenin geri dönüşümünü sağlayarak çevreye olumlu bir katkı yapmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, metallerin sürdürülebilir bir şekilde geri kazanılması için önemli bir yöntemi vurgulamaktadır. Gravite ayırma teknolojisinin etkili kullanımı, atık miktarının azaltılması ve doğal kaynakların korunması açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışma, sürdürülebilirlik ve çevre dostu uygulamaların öne çıkarılmasında önemli bir adımdır.

Anahtar kelimeler: Gravite Ayırma Teknolojisi, Metal Geri Kazanımı, Sürdürülebilirlik

Received: 28/08/2023, Revised: 29/08/2023, Accepted: 27/09/2023

I. INTRODUCTION

Increasing industrialization around the world leads to a decrease in precious metal resources and waste management problems. In particular, the recovery of valuable metals such as copper and aluminum contained in electronic waste is critical both economically and environmentally. Current technological methods are insufficient to recover these metals. Gravity separation technology aims to recover materials with low energy and in an environmentally friendly process by using density differences. In this thesis, a gravity separator supported by mechatronic principles was designed and experimentally tested for the effective recovery of copper and aluminum. The efficiency of the designed device is increased with elements such as fans and vibrating tables. This study aims to provide an innovative solution to the challenges in waste management and aims to contribute to the literature on sustainable recovery of metals.[1]

Gravity separators are used to separate materials of different densities. The basic working principles are that materials move depending on their density. The separator types used can be examined under the main headings: jig separators, spirals, tables and centrifugal separators. [2,3]

Technological advancements have facilitated these separators becoming more efficient and eco-friendly. Each separator type has specific advantages and disadvantages. Therefore, it is essential to consider the characteristics of the processed ore, processing objectives, and other factors when determining which type to employ [4].

The machine developed within the scope of this study has a pioneering character in its application field. Therefore, there appear to be no similar projects in the literature. However, a comprehensive literature review was conducted with a focus on gravity separators and metal recycling. In this process, some key studies examined are detailed as follows:

Studies by Jing et al. (2017) and Guo et al. (2020) revealed the effectiveness of jig separators in separating coarse-grained materials in the mining industry; however, they had limited success with fine-grained materials. Interestingly, these separators were employed to segregate plastics like polystyrene (PS), acrylonitrile butadiene styrene (ABS), and polyethylene terephthalate (PET) found in photocopier waste. Under the influence of amplitude and frequency of water pulsation, these plastics were successfully separated with recovery rates of 99.8% PS, 99.3% ABS, and 98.6% PET in the upper, middle, and lower layers, respectively. These positive results sparked the idea of establishing a pilot facility for plastic recycling from scrap photocopiers.

Lopéz-Valdivieso et al. (2018) and Huang et al. (2021) noted the efficacy of table usage in applications like gold mining. They also highlighted that tables' usage facilitated the separation of less dense materials at higher speeds.

Miller and Jones (2020) and Singh et al. (2017) demonstrated the efficiency of centrifugal separators in the separation of dense materials. These separators are particularly effective in the recovery of metals due to the substantial density difference between heavy metals and light materials.

Yoon et al. (2016) demonstrated that flotation cells are particularly effective in mineral mining. However, they highlighted some environmental concerns associated with using this technology.

Honaker et al. (2007) emphasized that the design and performance of gravity separators significantly vary depending on the specific application. They reviewed various gravity separation technologies and performance evaluations.

Rao (2006) extensively explored gravity separators as a potential method for metal recovery. They examined how various gravity separation techniques could be employed for metal recovery.

Chen et al. (2011) highlighted the potential of using gravity separators to increase metal recovery while reducing environmental impact. Future research in this area should focus on improving the efficiency and environmental compatibility of gravity separation technologies.

Sivamohan et al. (1991) discussed that gravity separators are devices based on the principle of separating materials using density differences. These devices have found widespread applications in various industries, especially in mining and waste management sectors.

This literature review encompasses the diversity of gravity separation technologies and their applications in metal recovery. Existing literature highlights the customization of these techniques for specific material types and conditions. However, there is a clear demand for a gravity separator capable of adapting to various situations and effectively distinguishing different metal groups. This study was prepared to address this need and design a comprehensive gravity separator.

In this study, a table gravity separator design using air was preferred. The basic components of these separators are the separation table, fan/aspirator, motor and power transmission elements, and the frame and support structure. These separators are designed to separate metal powders according to their specific gravity differences. It is especially used in the enrichment of fine-grained and high specific gravity minerals. Working principles may vary depending on grain size. During separation, heavy grains are moved upwards by the effect of vibration and light grains remain below [5,6].

II. GRAVITY SEPARATOR DESIGN STAGES FOR RECOVERY OF TWO DIFFERENT METAL GROUPS

In industrial applications, two metals commonly used are Copper (Cu) and Aluminum (Al), which stand out due to their distinct difference in specific gravity. With a density of 8.94 g/cm³, copper's value is significantly higher than aluminum's 2.70 g/cm³. This difference allows gravitational separation methods to effectively differentiate between these two metals. These metals, which are present across a broad spectrum from electronics to mechanics, hold critical importance in recycling processes. The rich resource offered by scrap trading companies makes the evaluation of these metals in the context of sustainability inevitable. This study discusses the details and application steps of a system designed for the effective separation of copper and aluminum.

The design of the separation table, where these materials will be added, is as significant as the materials used in the separation process. Within the scope of this project, a separation table, specially designed in the Solidworks program, is used. In this table, an aluminum alloy sheet metal known for its durability and workability is combined with a chromium alloy material. The aluminum alloy sheet used in the sieve structure, with a thickness of 5 mm, is suitable for long-term use due to its lightweight and rustproof properties. A mesh of 250-micron thickness has been placed on this metal, aiming to provide excellent filtration. This mesh has been secured using riveting for enhanced durability.

Moreover, a chromium alloy material with a thinner and more flexible structure, 1.2 mm in thickness, has been chosen for surfaces in direct contact with the separated materials. These surfaces prevent any damage to the materials during the separation process.

This special design guarantees a more effective and efficient separation process. Figure 1 provides a detailed illustration of the designed separation table.

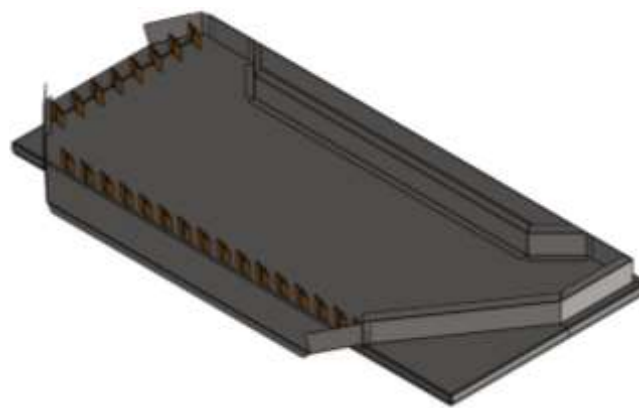


Figure 1. 3D design of the separation table

Fans that ensure air flow play a critical role in the effective operation of gravity separators. In this project, after comprehensive research on fan selection, it was decided that the radial fan was the most appropriate. The number of blades on radial fans can vary depending on factors such as aerodynamic performance, noise level, and torque balance. Generally, these fans range from 6 to 12 blades, but aiming for high pressure with 40 blades was targeted according to the specific requirements of this project. In summary, the design parameters are as follows:

Table 1. The design parameters

Parameter	Value
Air Flow Rate	2500 m ³ /h
Fan Efficiency	80%
Affected Area	0.00586666 m ²
Force Produced by the Fan	26.66N
Resulting Pressure	Approximately 4544.58 Pa
Power Required for the Fan to Operate:	Approximately 3.155 kW
Actual Power Consumption Required by the Fan	Approximately 3.94375 kW

Based on this evaluation, it was concluded that an energy source of approximately 4 kW is needed for the selected radial fan to operate effectively. Visual materials related to the detailed design and assembly of the fan are found in Figure

2 (a) and (b). This is a critical step in ensuring the effective and efficient operation of the gravity separator.

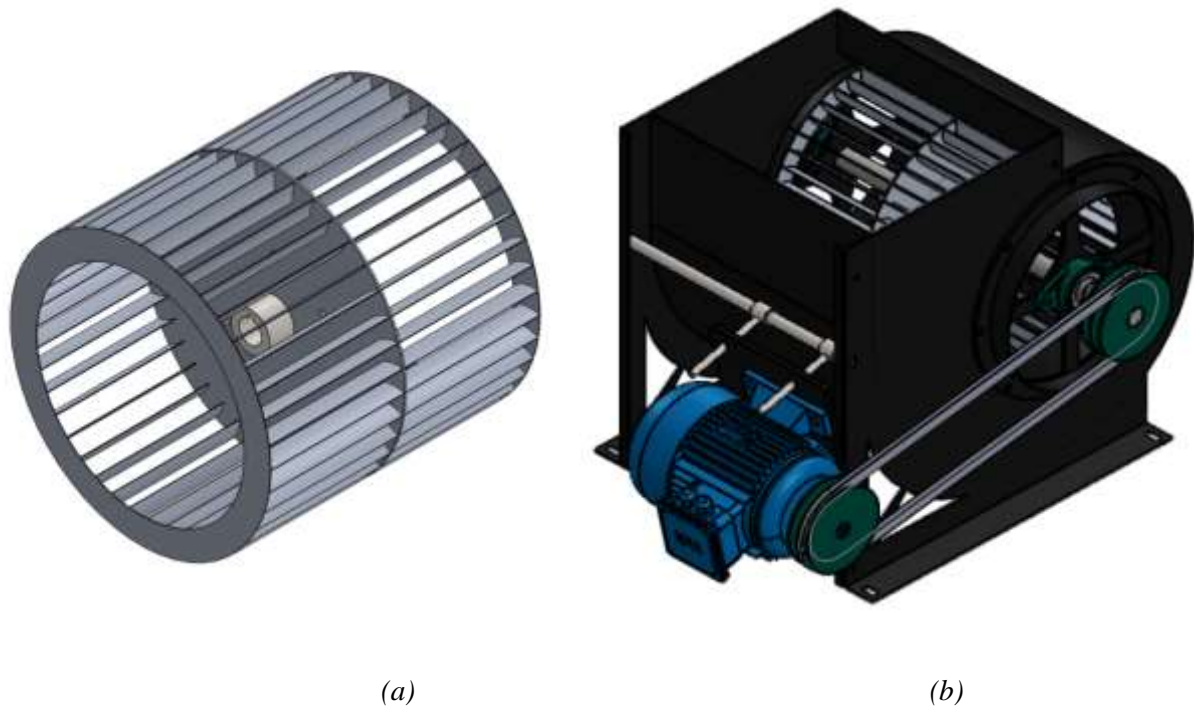


Figure 2. (a) 3D image view of the radial fan and (b) Assembly view of the radial fan and motor

In the gravity separator design project, the importance of the oscillating carrier arm is significant in ensuring the recovery of the separated metals. This carrier arm facilitates the effective and efficient operation of the separation table. Correctly calculating the forces and loads acting on the table ensures the efficient operation of the carrier arm and guarantees the overall safety of the system. The oscillations of the Rosta company's AU, AUI, and STI series are ideal for this application. Considering that the separation table weighs approximately 195 kg, it has been calculated that an additional load of 100 kg will be added to this table. The AU27 and AU27L series oscillating carrier arms were chosen to withstand this load.

The resonance capability factor obtained from the vibration calculations allows the system to be defined as a "natural frequency shaker". By inversely connecting the AU27 and AU27L series carrier arms to each other, a total of 10 oscillating carrier arms have been used in the designed system. The inversely mounted state of the used arms is shown in Figure 3.

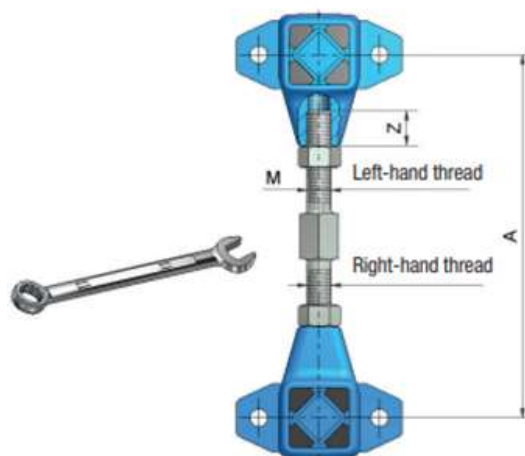


Figure 3. Connected oscillating carrier arm (www.rosta.com)

These choices and the design process ensure the separator table operates in a stable and efficient manner. The detailed 3D visual of the completed design is presented in Figure 4. This design has been optimized to maximize the recovery of different metal groups."

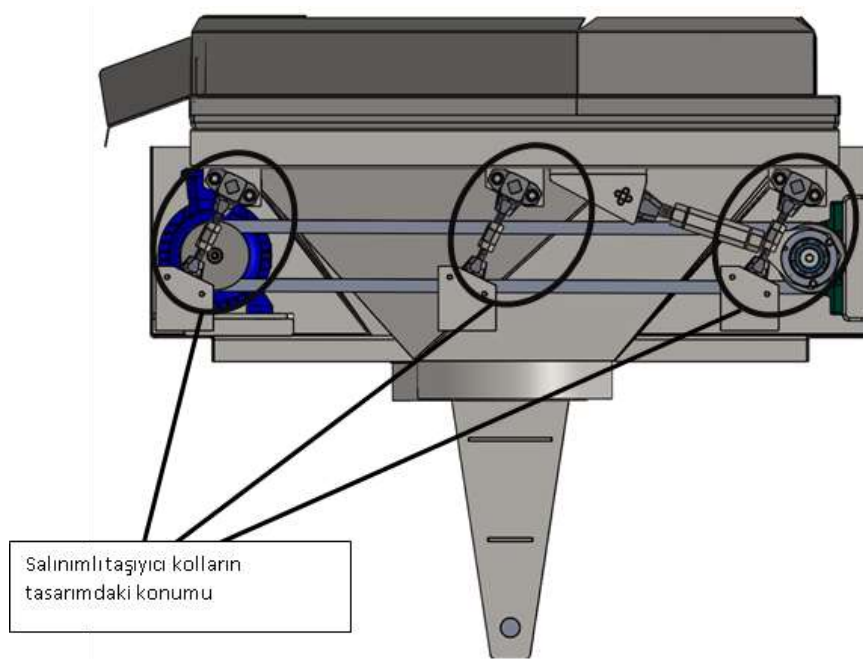


Figure 4. Placement of the carrier arms in the design

The vibrating table is designed with a special movement mechanism to selectively separate metal powders. For automatic vertical movement, it has a V-shaped special design and a square threaded nut; this is driven by a motor and a reducer with a power of 1.5 kW and a speed of 38 rpm. A manual mechanism is used for horizontal movement. The table can move horizontally at a maximum angle of 6°.

In the middle of the table, there is a V-shaped plate that controls movement. In the center of the plate, there's a circular hole guiding the movement of the square threaded shaft. The manual square threaded shaft for horizontal movement is designed to be compatible with the automatic vertical movement mechanism.

The combination of these complex mechanisms ensures effective separation of metal powders. The vibrating table provides the user with flexibility and control with both automatic and manual movement capabilities. The success of the design has been made possible through careful planning and appropriate material selection.

Lastly, the chassis design is one of the most critical stages in a product's design process, as this stage brings together all the components and provides the basic structure that ensures the system operates stably and efficiently. The St37 material used increases the durability of the chassis while offering ease of assembly and transportation due to its lightweight. It is also equipped with special slots and connection points to enhance fan assembly and mobility. The chassis, user-friendly and easy to maintain, should also be aesthetically appealing. Careful planning and appropriate resource allocation are required for a successful chassis design. The detailed chassis design is presented in Figure 5.

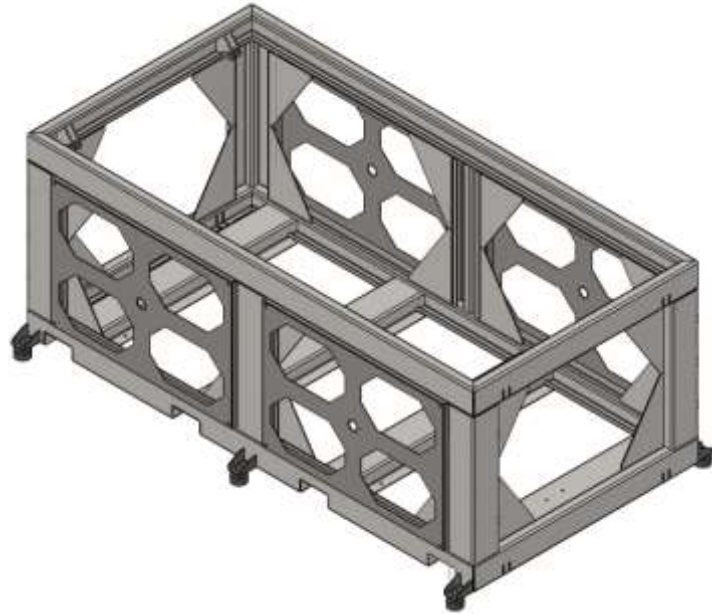


Figure 5. Main Chassis Design

The design of all the parts was completed using the SolidWorks program. The exact dimensions of the finished design were transferred to the KeyShot program, where they were rendered. The rendered image of the design is presented in Figure 6.



Figure 6. Rendered image of the gravity separator design for the recovery of two different metal groups.

III. CONCLUSION

The design of this gravity separator offers a number of significant advantages, targeting the recovery of different metals. We can explain these advantages item by item as follows:

- This separator makes it possible to separate approximately 1 ton of mixed materials per hour. This means a huge efficiency increase in industrial recovery processes. When more materials are recovered, resources are used more efficiently.
- The separator can work on a wide range of material sizes from 1mm to 6mm. This feature allows different materials to be effectively separated in the same process. Industrial waste in particular often comes in different sizes and shapes, so this wide range is important.
- Being able to separate 8,760 tons of material annually allows the recycling of large amounts of waste. This makes a great contribution to reducing the amount of waste and preserving natural resources.
- Increasing efficiency in industrial processes leads to lower production costs and reduced waste disposal costs. This provides economic advantages for businesses.
- Gravity separator plays an important role not only in terms of waste management, but also in protecting natural resources and building a sustainable future. Recycling waste contributes to reducing environmental impacts and increases society's environmental awareness.

These advantages offer significant gains both economically and environmentally. Gravity decomposers help make waste management and recycling processes more efficient, while contributing to a more sustainable use of natural resources. Therefore, this technological tool makes great contributions to the industry, environment and society by adopting the principle of sustainability. It represents a promising step towards the long-term well-being of our planet.

IV. REFERENCES

- [1] Sivamohan, R., & Forssberg, E. Principles and practice of air-table separation technology. *International Journal of Mineral Processing*, (1991). 8(2), 81-89.
- [2] Haldar, S.K. *Mineral Exploration: Principles and Applications*, (2018), Ch. 13, pp. 259-290
- [3] Hacifazlıoğlu., H. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Ders Notu, İstanbul, (2015)
- [4] Çilingir, Y. *Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri (2.Baskı)*. İzmir: *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, (1996).
- [5] Tavares, L. M., & King, R. P. (2012). Single and multi-particle breakage in bench scale shaking table tests. *Minerals Engineering*, 39, 113-122.

- [6] Xu, X., Yin, Z., & Zhang, J. (2015). Experimental design technique on recovery and grade of gold from a gold ore by means of shaking table. *Particulate Science and Technology*, 33(4), 238-244.
- [7] Jing, L., Chen, Q., Gu, Y., & Zhang, Y. (2017). A study on jig separation of scrapped metals. *Minerals Engineering*, 34, 33-39.
- [8] Guo, Z., Wang, Z., Dai, Z., & Li, Z. (2020). A novel pneumatic jig for the dry beneficiation of coal. *Powder Technology*, 360, 630-644.
- [9] López-Valdivieso, A., Song, S., Reyes-Bahena, J. L., & Razo-Soto, I. (2018). The use of shaking tables for the assessment of the separation of primary resources. *Minerals Engineering*, 119, 76-81.
- [10] Huang, P., Zhou, Q., Zhao, Y., & Zhang, J. (2021). Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123984.
- [11] Miller, J., & Jones, M. (2020). Enhanced gravity separators: new alternatives for fine coal cleaning. *Minerals and Metallurgical Processing*, 17(1), 37-42.
- [12] Singh, R., Rath, B. B., Sinha, S., & Sahu, H. B. (2017). An overview of the beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 127, 62-69.
- [13] Yoon, R. H., Luttrell, G. H., & Adel, G. T. (2016). Advanced fine coal cleaning technologies: flotation columns and selective flocculation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 9(4), 187-192.
- [14] Honaker, R., Luttrell, G., & Yoon, R. (2007). Advanced fine coal beneficiation technologies for domestic applications: Final technical report. Lexington, KY: *Department of Mining Engineering, College of Engineering, University of Kentucky*
- [15] Rao, S. R. (2006). Minerals recovery and processing. In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1-48). John Wiley & Sons
- [16] Chen, J., Huang, K., & Xu, Z. (2011). Influence of particle size on distribution of metals in soil-aggregate systems: A case study. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 863-869
- [17] Sivamohan, R., & Forssberg, E. (1991). Principles and practice of air-table separation technology. *Minerals & Metallurgical Processing*, 8(2), 81-89.
- [18] Hacifazlıoğlu H., (1998) "Industrial Applications of A New Type Autogeneous Medium Cyclone (DDS)", *22nd World Mining Congress and Expo*, 11-16 September, Istanbul., pp.519-522,2011.
- [19] Önal G. ve Güney A., "Kömür hazırlama yöntemleri ve tesisleri", Kömür, ed. O. Kural, Özgün Ofset Matbacılık A.Ş., İstanbul, s.269- 295.



Düzce University Journal of Science & Technology

Review Article

Histopathological Effects of Environmental Pollutants on the Reproductive System of Zebrafish

Şevval KOÇAK^a Sevda BAĞDATLI^a Kerem İKİCAN^a Nazan Deniz YÖN^a
^a *Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*
* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sevval.kocak1@ogr.sakarya.edu.tr
DOI:10.29130/dubited.1182330

ABSTRACT

Environmental pollutants can affect living and non-living organisms in terrestrial and aquatic ecosystems and cause health problems. Many harmful substances that are increasingly used today directly or indirectly cause deterioration in the quality of life of living beings. Water-borne pollution primarily affects fish health. Due to pollutants, fish that feed, migrate, and reproduce in aquatic environments adversely affect their physiological, biochemical, and anatomical structure. Zebrafish are an essential model organism due to their development and easy reproduction. Many potential pollutants can reduce the quality of water in aquatic environments. Organic or inorganic pollutants released into marine environments from natural, industrial, domestic, etc., sources can be toxic to fish. Pesticides, one of these pollutants, are used to eliminate the effects of harmful pests. Still, they have also been shown to have negative effects on the reproductive system, as well as causing death in animals. Heavy metals can have a negative impact on the biological systems of fish by causing biological accumulations through the respiratory intake, affecting biological systems. Endocrine-disrupting chemicals (EDCs) can affect different tissues and organs, causing intergenerational impacts, and their results on the reproductive system increase due to their impact on the hormonal system. Nanoparticles also affect other biological systems in addition to the reproductive system. This review article discusses the evaluation of the histological effects of environmental pollutants on the reproductive system of zebrafish (*Danio rerio*) and the reasons for choosing zebrafish as a model organism.

Keywords: *Zebrafish, Toxicity, Pollution, Gonad, Histopathology*

Çevresel Kirleticilerin Zebra Balığı Üreme Sistemi Üzerindeki Etkileri

ÖZET

Çevresel kirleticiler, karasal ve sucul ekosistemlerdeki canlı ya da cansız varlıklara etki etmekle beraber sağlık sorunlarına da yol açmaktadır. Günümüzde kullanımı artan pek çok zararlı içerikli madde doğrudan ya da dolaylı olarak canlıların yaşam kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır. Su kaynaklı meydana gelen kirlilikler öncelikle balık sağlığını etkilemektedir. Akvatik çevrede beslenen, göç eden, üreyen balıkların kirleticiler nedeni ile fizyolojik, biyokimyasal, anatomik yapılarında olumsuz etkiler gözlenmektedir. Zebra balığı, gelişimi ve kolay üremesi sayesinde önemli bir model organizmadır. Su ortamında suyun kalitesini düşüren pek çok potansiyel kirletici bulunmaktadır. Su

ortamına doğal, endüstriyel, evsel vb. kaynaklardan atılan organik veya inorganik kökenli kirleticiler balıklar için toksik etkiye sebep olabilir. Bu kirleticilerden biri sayılan pestisitler, zararlı pestlerin etkilerini yok etmede kullanılırken canlılarda ölüme yol açmakla beraber pek çok sistem gibi üreme sistemindeki olumsuz etkileri ortaya konmuştur. Ağır metaller, balıkların en çok solunum yoluyla vücuda alınmasıyla biyolojik birikimlere yol açarak biyolojik sistemlerini olumsuz etkilemektedir. Endokrin bozucu kimyasallar (EBK), farklı doku ve organlarda etki göstererek nesiller boyu etkilenmeyi sağlamakla beraber hormonal sistemi etkilemesiyle üreme sistemi üzerindeki etkileri artmaktadır. Nanopartiküller, üreme sistemi ile birlikte farklı biyolojik sistemlere de etki etmektedir. Bu derleme makalede çevresel kirleticilerin zebra balığı (*Danio reiro*) üreme sistemi üzerindeki histolojik etkilerinin değerlendirilmesi ile beraber zebra balığının model organizma olarak seçilmesinin nedenleri anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zebra balığı, Toksikite, Kirlilik, Gonad, Histopatoloji

Geliş: 30/09/2022, Düzeltme: 07/10/2022, Kabul: 16/01/2023

I. INTRODUCTION

Today, with the acceleration of population growth, the needs of people are increasing in parallel. It is observed that the effects of chemicals that are harmful to the environment, used in agricultural and industrial areas, are increasing daily. Environmental pollutants are chemicals that pollute aquatic and terrestrial ecosystems, cause physical damage or affect biological systems. Examples of environmental pollutants are pesticides, heavy metals, nanoparticles, and endocrine-disrupting chemicals (EBC) [2]-[5]-[88].

Pesticides are used to destroy pests in agriculture and to obtain quality products. Pesticides can cause product increase by destroying target organisms and also cause damage to other non-target organisms. For this reason, pesticide types vary according to the living group that needs to be prevented [5]. Since ancient times, heavy metals have spread to the soil, atmosphere, hydrosphere, and pedosphere outside natural cycles. Water and air pollutants that occur during the discharge of industrial wastes are mixed with the ground by chemical means. As industrialization increases, heavy metal pollution increases [69]. These metals and their compounds are found in different concentrations in the earth's crust [77]. Heavy metals, which are of great importance in environmental pollution, cannot be created or destroyed by humans and are separated from other toxic chemical elements [69]. Endocrine-disrupting chemicals (EBC) disrupt the function of the endocrine system, create negative effects on organs and systems and affect different systems with different mechanisms. When the effects of endocrine-disrupting chemicals (EBC) on the environment and people are investigated, they change the normal functioning of the endocrine system and cause harmful effects on the individual or the next generations [88]. Zebrafish play an essential role in evaluating the effects of endocrine disruptors and examining the mechanisms they affect. In addition to the positive effects of zebrafish being a model organism, it is easier to determine the molecular points of the effects of endocrine disruptors thanks to many studies on its toxicity. Understanding the endocrine system characteristics of zebrafish makes it possible to explain the effects of endocrine-disrupting substances on other vertebrate species and the transformation of changes in gene expression into diseases [91]. Nanoparticles are important substances used in industrial and scientific studies due to their particular structures and atomic arrangements that can be changed according to their purpose. The particles exhibit different chemical and physical properties at the nanoscale because they have different arrangement geometries, even though they have the same atoms in the macro-size particles. These particles enter the cell differently, creating a toxic effect [42].

II. MODEL ORGANISM: ZEBRAFISH AND ITS ADVANTAGES

Zebrafish is an important vertebrate model with many advantages. It can be produced in a laboratory environment, used in developmental biology studies, at low cost, without occupying much space, and continues its production [5]. Zebrafish, which are low in cost, are preferred more than other mammalian models in the laboratory environment due to their short life cycle, high reproductive capacity, and ability to develop outside the body, as well as their rapid embryonic development and many offspring. They allow the larval cycle to be monitored from the outside [3]-[37].

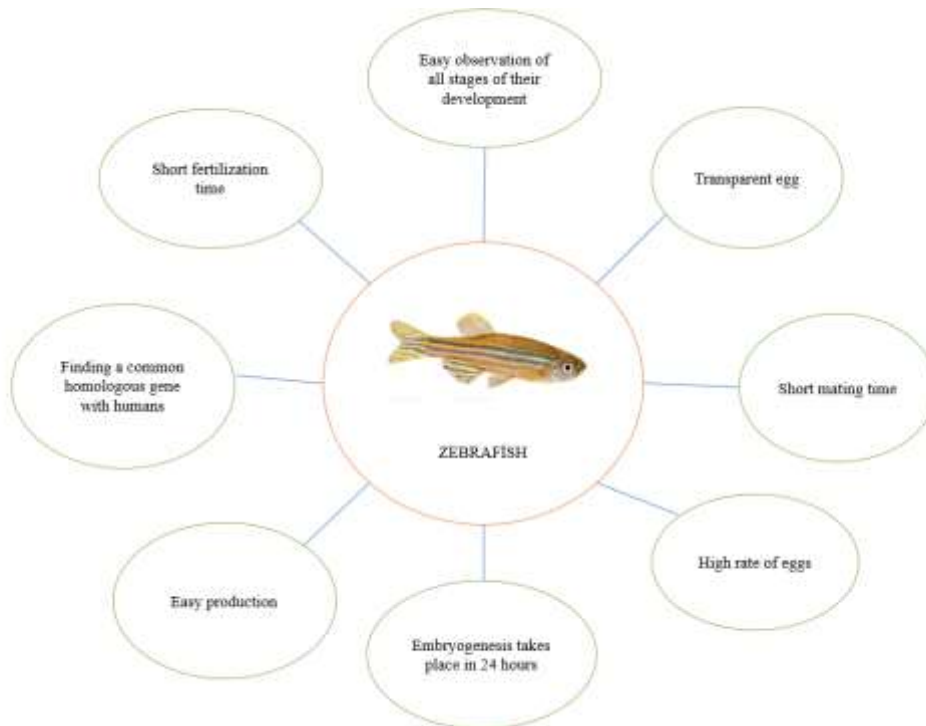


Figure 1. Advantages of Zebrafish

Zebrafish is preferred as a model organism in terms of its properties and is frequently used in organ, tissue, and cellular toxicity studies of environmental pollutants or drugs in toxicology [3]-[5]. The choice of zebrafish as a model organism for research is that it is estimated to have functional homologs of more than 70% of the genes related to human disease but are highly genetically similar to humans [5]. One of the most critical features in the selection of model organisms is that they are similar to human genes and are easy to produce under in vitro conditions [37].

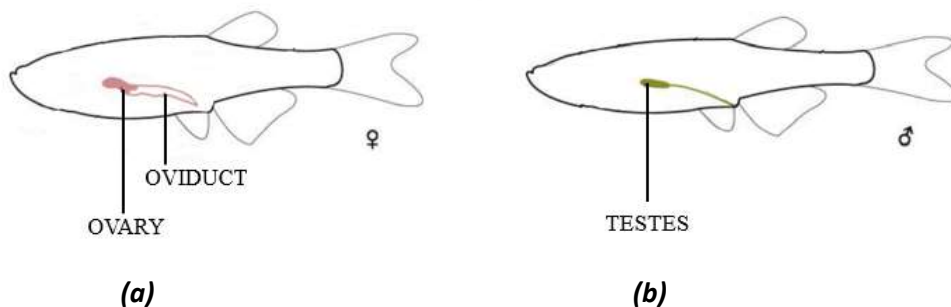


Figure 2. (a) Zebrafish ovary, (b) Zebrafish testes.

III. ENVIRONMENTAL POLLUTANTS

A. EFFECT OF ENDOCRINE DISRUPTORS

Since endocrine disruptors are very common in the aquatic environment, they can negatively affect the development and health of living things [91]. Endocrine-disrupting chemicals (EBC) are defined as substances or mixtures of substances taken from outside, which may affect the normal functioning of the endocrine system and have negative effects on organs and systems, as well as affect different systems with different mechanisms, altering the functioning of the endocrine system and causing health problems in the future generation or subpopulations of a healthy organism [15]-[88].

A. 1. Administration Of Endocrine Disruptors To Zebrafish Affects Gonad Development:

A. 1. 1. Bisphenols

Bisphenol A (BPA), one of the strongest endocrine disruptors, is found in adhesives, cosmetics, paints, and food packaging, as well as in the structure of many industrial products [87]-[88]. In a study conducted with Bisphenol A, it was observed that certain degeneration signs and cell numbers decreased in the germinal epithelium and spermatozoa. In contrast, the number of Sertoli cells increased in light microscopy examination due to the increase in the Bisphenol A (BPA) dose in the testicular tissue of male zebrafish. In the examination with electron microscopy, it was observed that cell components changed, cell degeneration, an increase in Sertoli cells, and a decrease in spermatozoa cells and spermatogonia cells depending on the dose increase. And it was stated that the fish had no death during their experiment [50]. According to Akbulut and Yon [3], while an increase of atretic follicles was seen depending on the dose increase and the exposure day, oocyte development stopped deformities with reductions in the number of oocytes, irregularities in the nucleolus, and degenerations in the chromatin material and the oocytes of the ovaries were observed. Degeneration in oocyte morphology, enlargement of the region between the vitelline membrane and the zona radiata, and vacuolization in cortical alveoli were detected. However, in this study, it is said that BPA inhibits gametogenesis as a result of histopathological changes in the ovaries, according to the results of the treatment group. A different study by Yon and Akbulut [94] has reported the observation of similar effects. In addition to previous studies, it was observed that upon application of BPA to the ovary of zebrafish, fragmentation and cytoplasmic irregularities occurred in mature oocytes with an increase in dose. A slowdown in the oogenesis process accompanied these histopathological effects. Forner-Piquer et al. [24] observed that there was a decrease in the number of cells in the area where the spermatogonia cells are located, depending on the dose increase of the Bisphenol A (BPA) substance on the ECS (endocannabinoid system) in gonad tissues of zebrafish. At the same time, there was no change in cell number in the area occupied by the spermatozoa, and there was no increase or decrease in cells in the ovarian tissues. The changes did not affect the number of previtellogenic and mature oocytes in the vitellogenic stage but significantly increased the oocyte ratio. In their study with Bisphenol A, Molina et al. [95] reported that there was an increase in degeneration and vacuolization of the cytoplasm and structural changes in the nuclei of the eggs of female zebrafish, as well as a significant increase in the number of atretic follicles with an increase in the dose. In another study, Molina et al. [96] reported that atresia increased in cortical follicles, vitellogenic follicles, and mature follicles in ovarian tissue. Molina et al. [56] showed that by applying bisphenol A (BPA) to female zebrafish, vacuolization in the peripheral region of primordial follicles, and reductions in vitellogenic vesicles and lipid droplets in vitellogenic and mature follicles. In addition to these effects, a decrease in the ratio of mature follicles and vitellogenic follicles was observed. When looking at studies conducted with different substances along with Bisphenol A, Keiter et al. [97] examined the resulting gonadal changes in new generations resulting from the combination of Bisphenol A (BPA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS). It was found that there was no change in testicular maturation and Leydig cells in male individuals in the F1 and F2 generations of zebrafish. In the F2 generation, a

perinuclear oocyte was observed in only one male individual. No change was seen in F1 and F2 female individuals compared to the control group. In another study, Fang et al. [98] stated that there was no histopathological or stereological change in ovarian and testicular tissue upon application of different concentrations of Bisphenol A (BPA) in the presence of TiO₂ [98]. In another research conducted by Giommi et al. [99], it was found that exposure to BPA caused a decrease in the number of spermatogonia in male individuals, but no change was observed in the number of developing oocytes in females. In a different study, it was observed that exposure to Bisphenol A (BPA) in male zebrafish resulted in an increase in the number of sperm as well as an increase in the number of apoptotic cells [100]-[101]-[102]. Bisphenol A (BPA) also affects spermatogenesis in male zebrafish [100]-[102]. According to Mostari et al. [107], applying BPA to zebrafish decreased the number of previtellogenic oocytes and spermatozoa-containing cysts in the male testes and shrinkage of the female ovaries. It has been reported that Bisphenol A (BPA) suppresses oogenesis and spermatogenesis. Molina et al. [108] reported that there were a large number of gonadotropic cells in the tissues of zebrafish exposed to BPA.

Bisphenol S (BPS), a derivative of the bisphenol family, is a xenoestrogen substance, but it is known that it disrupts the female reproductive system and adversely affects the health of living things. Qin et al. [66] observed that it causes lipid accumulation in female zebrafish. A decrease in oocytes and an increase in cortical follicles and vitellogenic oocytes were observed.

Bisphenol F (BPF), another bisphenol derivative, is used more and more for industrial production. Mu et al. [57], when looking at the gonads of zebrafish, it was observed that although there was no pathological finding in males, the fertility rate decreased. In contrast, transcriptional changes were observed in the gene axes of the reproductive endocrine system in female gonads. It causes reproductive toxicity in both sexes, affects the number of ovulations, reduces the reproductive rate, and thus reduces the number of embryos.

Yang et al. [103] have found that exposure to Bisphenol B (BPB) results in the expansion of the interstitial area between tubules and an acellular area in the testes of male zebrafish. At the same time, there is a significant decrease in the number of mature oocytes. In female individuals, post-vitellogenic oocytes were not observed in the ovary.

Yang et al. [104] have also studied Bisphenol AF (BPAF). In the results of the application, in male zebrafish exposed to high doses of BPAF, there were areas of no cells in the testis tissue and a decrease in the number of spermatids. In the ovarian tissues of female zebrafish, it was seen that the majority of cells were primary oocytes, with fewer being matured oocytes. It has been revealed that BPAF substance suppresses ovarian maturation.

Floren-9-bisphenol (BPFL), a member of the bisphenol family, is a substance used as an alternative to Bisphenol A [106]. In a study by Özkan-Kotiloğlu et al. [106], it was observed that degeneration of Leydig cells occurred in the testis tissue as a result of application to zebrafish.

A. 1. 2. Ethinylestradiol

Considering the substances in contraceptive drugs, Ethinylestradiol [36]-[88], which is a potent estrogen, 17 α -Ethinylestradiol (EE2) and Fadrozole substances were applied to the gonads of zebrafish by Luzio [52]. Atretic oocyte and degenerative mineralization were observed in the ovaries with fluid deposits. Interstitial proteinaceous fluid, asynchronous development, enlargement of sperm ducts, adipocyte infiltration, and basement membrane separation were observed in testis tissue. Pathological severe findings such as intersex-interstitial changes associated with the separation of the basement membrane and asynchronous development were observed in high-dose Fadrozole exposure; when zebrafish is combined with EE2, it permanently impairs sexual development, causes enlargement of sperm ducts, triggers masculinization. Kernen et al. [38] observed that the sexual development of zebrafish exposed to EE2 is affected. Unlike other studies, it is observed that there is a significant decrease in thymocyte count during the period from puberty to sexual maturity and thymocyte loss

with low levels of thymocyte count throughout this time. No histopathological effect was observed. In their study, Luzio et al. [113] reported that male individuals exposed to 17 α - ethinylestradiol, Fadrozol, and their mixtures for 60 days from the second hour of zebrafish fertilization did not show the development of young ovaries. It was observed that individuals exposed to Fadrozol underwent masculinization. It was found that the binary mixtures of these substances play a role in supporting the growth of the gonad in female zebrafish, similar to estrogen. Örn et al. [109] stated that only previtellogenic oocytes in female zebrafish (38 dph) exposed to a dose of 10 ng/L of 17 α -Ethinylestradiol were present in the ovary. In male individuals, it was stated that the percentage of spermatozoa increased compared to the control group after exposure to 50 ng/L of 17 β -Trenbolone. Schuster et al. [110] found that adding the substance 17 α -Ethinylestradiol (EE2) to zebrafish ovary tissue at rates of 100 ng L⁻¹ and 25 ng L⁻¹ resulted in fish mortality, with four deaths in the high dose and 1 in the low dose. In addition to the deaths, it was noted that the number of vitellogenic oocytes increased in the high dose. In their study, Silva et al. [111] observed that after applying Ethinylestradiol to zebrafish, all cells in the testis tissue of male fish were not observed, while Leydig cells were observed in the stroma. However, a decrease in the number of spermatozoa and spermatids was detected. Exposure to Ethinylestradiol suppressed egg maturation in females. Fibrosis, formation of protein-rich fluid, and inflammatory tissue were observed in the intestinal tissue. Intestinal fibrosis was observed to increase in both sexes. Exposure to the estrogen receptor agonist Ethinylestradiol caused a decrease in the proportion of cortical, vitellogenic, and mature oocytes, thereby affecting follicular development [112].

A. 1. 3. Progesterones

When progesterone is studied separately, a vast literature appears. In this review, we have examined some articles investigating the histopathological effects of zebrafish.

Progesterone, a natural steroid hormone produced by humans and animals, has affected oocyte maturation in the histological structure of the zebrafish ovary and caused changes such as an increase in the number of postovulatory follicles and the observation of protein-rich fluid with an increase in dose [124].

Medroxyprogesterone Acetate (MPA), one of the progesterone groups that pose potential androgenic risks for fish populations, was synthesized to show a similar effect of progesterone. It is used in birth control pills and hormone treatments [70]. As a result of the research of Shi et al. [70], they observed poses androgenic risks, and there are chronic elevations in the gonad tissues of zebrafish, however, it significantly affects sex differentiation and spermatogenesis. It was observed that the number of spermatocyte cells in testicular tissues increased. Zhao et al. [125] did not observe a significant difference in perinuclear oocytes, early vitellogenic oocytes, and late vitellogenic oocytes in female zebrafish exposed to the synthetic progestins Medroxyprogesterone Acetate (MPA) and Dydrogesterone (DDG) and their mixture. However, it was noted that there was a decrease in the proportion of cortical alveolar oocytes at high concentrations of Dydrogesterone and both high and low concentrations of the mixture. Atretic oocytes and degenerations, such as postovulatory oocytes, were observed at high concentrations of Dydrogesterone and the combination. Immature sperm was observed in male individuals at low levels.

Teigeler et al. [127] found that levonorgestrel did not cause hyperplasia, hypertrophy, or a change in the number of spermatogonia in the histological structure of the zebrafish testis. At a dose of 1.64 ng levonorgestrel/L in the female zebrafish ovary, atretic oocytes were formed. Shi et al. [128] found that exposure to dydrogesterone increased the number of atretic follicles in female zebrafish, while there was an increase in the proportion of mature sperm in male individuals.

To examine the effects of non-synthetic forms of progesterone on aquatic organisms and their impact on the endocrine system of fish due to their widespread presence in aquatic environments, Hou et al. [29], investigated that with the application of Norethindrone (NET) to the ovarian tissue of female zebrafish, it was observed that atretic follicular, late vitellogenic oocyte and cortical alveolar oocytes

were formed. It was observed that the number of cortical alveolar oocyte cells decreased at 36.2 ng/L NET exposure, atretic follicles and late vitellogenic follicular cells increased, and the number of cortical alveolar oocytes decreased at 398.6 ng/L NET exposure. It has been shown that mating behavior is impaired by applying NET to male zebrafish. In their study, Liang et al. [126] exposed zebrafish to norethindrone (NET) for 90 days. As a result of exposure, perinuclear oocytes were observed in the 810 ng/L dose group, while no late/mature oocytes were observed in the ovary tissues of the 84 ng/L dose group. It has been reported that there was a significant expansion in the surface areas of mature spermatids, mature spermatozoa, and spermatocytes in the testis tissues.

A. 1. 4. Tributyltin

It has been determined that Tributyltin, which is used in dyeing the lower part of the ships and is found in antifouling paints [88], is applied to the testicular tissue of male zebrafish, causing an increase in spermatocyte and a decrease in spermatogonia and spermatozoa, depending on the dose increase [43]. However, it was observed that a few lacunae formations were formed. Phthalates, which are found in substances such as children's products, food packaging, cosmetics, drugs, and cleaning products, are endocrine-disrupting environmental pollutants that people are exposed to due to their plasticizing properties [87]-[88]. Xiao et al. [130] reported that TBT administered for 28 days reduced the number of eggs in female zebrafish, decreased the hatching ability, and increased the mortality rate of zebrafish larvae. In addition, it was observed that the number of early-stage follicles in various stages of development in the ovaries increased, while the number of mid/late-stage follicles decreased. A significant decrease in the number of follicles was observed between the fish treated with TBT and the control group.

A. 1. 5. Phthalates

Chen et al. [13], investigated the exposure of Dibutyl phthalate (DBP), Diisobutyl phthalate (DiBP), and their mixture, the MIX group, in testicular tissue of male zebrafish; delay in tissue development, increased in spermatocyte count and decrease in spermatozoa count are observed in DBP exposure; expansion of intracellular spaces was observed in DiBP exposure. Delayed development of testes of fish in the DBP-H experimental group and at the same time an increase in intercellular spaces occurred simultaneously. A reduction in spermatocyte and spermatozoa cells was observed. It was observed that the groups with the most testicular damage were in the MIX group. Hu et al. [115] showed in their study that dibutyl phthalate (DBP) suppresses male gonadal development in F1 offspring, reduces the number of sperm, and affects the seminiferous tubules, with an increase in Leydig cells. Chen et al. [116] studied the use of dibutyl phthalate (DBP) and 17 α -ethynyl estradiol (EE₂) as a combination and individually was observed that there was a decrease in the number of spermatozoa and an increase in the number of spermatogonia and spermatocytes in the testis tissues of zebrafish exposed to DBP, and a decrease in the number of vitellogenic oocytes in the female ovary, with an increase in dose. Exposure to EE₂ resulted in a decrease in the number of mature sperm in male testis tissues and the absence of mature eggs in female ovaries. In the combination group, there was a decrease in the ooplasm and abnormalities in the ovary. Hu et al. [117] reported in their study that the application of di-n-butyl phthalate (DBP) to zebrafish resulted in a decrease in the number of eggs and impaired reproductive potential. It was observed that the number of vitellogenic oocytes in the female ovary tissue increased with an increase in dose, but the number of perinuclear oocytes decreased. When the testis tissues were examined, there was a significant increase in the number of spermatocytes and a significant decrease in the number of spermatids. Guo et al. [118] used a combination of three phthalate derivatives: di (2-ethylhexyl) phthalate, dibutyl phthalate, and acetyl tributyl citrate the development of perinucleolar oocytes and early cortical alveolar oocytes in ovarian tissues is not well observed. In addition, fragmentation, hyalinization, and hypertrophy of perifollicular cells in the zona radiata have been observed. Histopathological findings in testis tissues were more severe compared to those in ovarian tissues. Upon examination of these effects, impairments in spermatogonia and spermatocytes, undetermined cytoplasm, and a decrease in the number of Sertoli cells occurred. Spermatozoa are examined as the smallest cells within the spermatogenic cells.

Uren-Webster et al. [119] observed that in male zebrafish exposed to 50 and 5000 mg DEHP kg⁻¹ concentration of di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) alone, the number of germ cells and spermatozoa decreased while the number of spermatocytes increased. As a result, it has been reported that DEHP disrupts spermatogenesis. Santangeli et al. [120] found that when the female zebrafish were exposed to Di-isonyl phthalate (DiNP), a different type of phthalate, the number of vitellogenic oocytes decreased in low dose groups (0.42 mg/L, 4.2 mg/L, 42 mg/L), but no changes were observed in high dose groups (420 mg/L and 4200 mg/L). In the 0.42 mg/L, 420 mg/L, and 4200 mg/L dose groups, a smaller number of mature oocytes were observed compared to the other dose groups. Bis-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) is a plasticizer that is used to increase the flexibility of plastic materials and has been shown to negatively affect reproductive and developmental processes in mammals [121]. Corradetti et al. [121] found that after three weeks of exposure to DEHP and 17 β -Estradiol, there was an enlargement in the spermatid cysts and spermatogonial areas in male zebrafish. There has been a reduction in spermatocyte cysts.

A. 1. 6. Semircarbazide

Semircarbazide, a member of a large group of compounds called hydrazines, in which cancer-causing agents are commonly found, is known to cause toxic effects in male reproductive cells and have an estrogenic effect [90]. In a study done by Yu et al. [90], sperms packed with spaces in the seminiferous tubules of the testicular tissue of zebrafish were seen in exposure to the SMC substance. As the dose increased, it was observed that testicular tissues degenerated, spermatocytes were irregular, tunica propria, underwent structural deterioration and decreased sperm count at 1000 g/mL⁻¹ exposure.

A. 1. 7. Methylparaben

It has been investigated that methylparaben, which is used as a preservative in various products and poses a threat to fish in the aquatic environment, inhibits testicular development by producing estrogenic and antispermatogenic activities in the testis tissue by applying it to zebrafish. Changes in the seminiferous tubules, atrophy of the germ cells, reduction in Sertoli cells, and signs of vacuolar degeneration were observed. As the dose increased, alteration in the seminiferous tubules, vacuolization in Sertoli cells, an increase in the number of gonocytes, and Leydig cells with small cytoplasm and small irregular nuclei were observed. It has been stated that there is an increase in the general atrophy of the testis [25]. In another study by Hassanzadeh [122], it was found that in the ovarian tissues of females, there were disruptions in the ooplasm in the interstitial space, disrupted yolk, granulomatous inflammation, and disruptions in the proteinaceous fluid. In addition to these findings, there was an increase in the number of atretic follicles and vitellogenic oocyte atrophy in the female ovarian tissues. Continuous exposure to methylparaben results in increased negative, estrogenic, and irreversible effects on the reproductive system of female zebrafish. In a different study, Hu et al. [123] observed that in male zebrafish, the number of spermatozoa decreased and the number of spermatogonia and spermatocytes increased with increasing doses of the chemical. In female zebrafish, the number of primary oocytes increases with dose, while the number of other oocytes (cortical-alveolar oocyte, early vitellogenic oocyte, and mature oocyte) decreases. When these effects are considered, it is observed that spermatogenesis and oogenesis stages are seriously disturbed and inhibited.

A. 1. 8. Tris Phosphate

TBOEP is an increasingly used and important environmental contaminant due to its negative effects on reproductive toxicity and disruption of the endocrine system. According to the study conducted by Huang et al. [131], TBOEP has negative effects on the development of the male and female reproductive systems. In female zebrafish exposed to tris(2-butoxy ethyl) phosphate (TBOEP), the number of previtellogenic oocytes decreased while the number of oogonia increased. In male zebrafish, spermatogonia counts increased with dose, while spermatid counts decreased in the 100 mg/L dose group. In a study conducted by Xu et al. [85], after the application of Tris (2-butoxy ethyl)

phosphate (TBOEP) to zebrafish, the concentration of 17 β -estradiol increased in both sexes. In addition, testosterone increase was observed only in male zebrafish. Depending on the dose increase, an increase in the number of oogonia and previtellogenic oocytes in females, no change in the number of spermatogonia in males, an increase in the number of spermatocytes, and a decrease in the number of spermatids were observed.

Tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP) is one of the environmental pollutants that occur in aquatic environments and belongs to the group of tris phosphates. According to Sutha et al. [105], in their study, increasing doses of TCEP in female zebrafish caused atresia, vacuolization, an increase in atretic oocytes, and degenerate oocytes. In male zebrafish, there were decreases in the number of spermatozoa and spermatocytes, and distortion and atrophy of seminiferous tubule epithelium were reported. Exposure to Tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP) resulted in histopathological changes in egg and testis tissues in both male and female zebrafish.

According to a study conducted by Yang et al. [114] using a different phosphate derivative, 2-ethylhexyl diphenyl phosphate (EHDPHP), the number of vitellogenic oocytes decreased with increasing dose, while the number of perinucleolar oocytes increased. EHDPHP application resulted in damage to the ovaries and suppression of oogenesis. In male zebrafish, disturbances have been observed in seminiferous tubules and interstitial cells. Additionally, in all dose groups, there was a decrease in the number of spermatids. Anomalies in the development of sperm cells were observed after exposure to EHDPHP.

A. 1. 9. Dichloroaniline And Methylenedianiline

The substances 3,4-Dichloroaniline (3,4-DCA) and 4,40-Methylenedianiline (4,40-MDA), which are put to use in the production of most consumer or industrial outputs, are miscible with water. Considering the toxicological effects of these two aniline substances used in this research by Bhujyan et al. [8], testosterone and 17 β -estradiol (E₂) levels of both female and male zebrafish decreased and their reproductive potential could be impaired.

A. 1. 10. Metochlors

Ou-yang et al. [60], stated that metolachlor and S-metolachlor substances were applied to 5-month-old zebrafish. It was observed that estradiol (E₂) levels increased with changes in reproductive gene expression in female zebrafish and testosterone levels decreased in male zebrafish.

A. 1. 11. Tebuconazole

Tebuconazole is a common fungicide that affects the endocrine system of organisms in aquatic ecosystems [45]. In this study, Li et al. [45] applied 3 different life stages and their effects on the endocrine system were examined. In juvenile zebrafish exposed to tebuconazole, a reduction in germ cells of sexually mature zebrafish and male-directed sex differentiation were observed. It has been revealed that the 17 β -estradiol/testosterone ratio decreases at all life stages and therefore inhibits Cyp19 gene expression.

According to a study conducted by Jiang and colleagues [129], after the application of a mixture of Tebukonazol (TEB) and Difenokonazol (DIF) for 21 days, the number of perinuclear oocytes and cortical alveol oocytes increased in female zebrafish, the number of early vitellogenic oocytes decreased only in the DIF and mixture group, and the number of late/mature vitellogenic oocytes decreased in the TEB, DIF, and mixture group. "In the testis tissue of male zebrafish, an increase in the number of spermatogonia occurred only in the group treated with DIF, while a decrease in the number of spermatocytes occurred. The number of spermatocytes increased in the TEB and mixture groups. In addition to these effects, a decrease in the number of spermatids and spermatozoa was observed in the TEB, DIF, and mixture groups. Except for the single exposure of the TEB and DIF groups, late oogenesis and late spermatogenesis occurred in the mixture group.

A. 1. 12. Cypermethrin

Beta-Cypermethrin is a Type-2 synthetic pyrethroid insecticide frequently used in pest control. Lu et al. [51], in their research, observed differences in 17 β -estradiol (E2) and testosterone (T) in the gonads of zebrafish. With the results obtained, it has been observed that it harms the reproductive system of zebrafish by impairing sex hormone secretion and affecting HPG gene expression, as it delays gonadal development.

We can directly or indirectly take endocrine disruptors into our body system in many ways, especially in the environment we live in and the tools and equipment we use in our daily life. Thanks to the use of zebrafish as a model organism in the studies, these effects can be revealed to some extent (Table 1).

Table 1. Histopathological effects of some endocrine disruptors on zebrafish gonads.

ENDOCRINE INSTRUCTIONS USED	ORGAN-TISSUE	DAMAGES SEEN	SOURCE
Bisphenol A	Ovary	Increase in atretic follicles, oocyte development arrest, deformation with a decrease in oocytes, irregularities of nucleolus and degenerations of chromatin material, degeneration of oocytes, enlargement of the region between the vitelline membrane and the zona radiata, vacuolization in cortical alveoli	Akbulut and Yon, 2014
	Ovary	Fragmentation and cytoplasmic irregularities occurred in mature oocytes	Yon and Akbulut, 2014
	Ovary	There was an increase in degeneration and vacuolization of the cytoplasm and structural changes in the nuclei of the eggs, a significant increase in the number of atretic follicles	Molina et al., 2013
	Ovary	Atresia increased in cortical follicles, vitellogenic follicles, and mature follicles	Molina et al., 2018
	Ovary	Vacuolization in the peripheral region of primordial follicles, decrease in vitellogenic vesicles in vitellogenic and mature follicles, decrease in lipid droplets, decrease in the ratio of mature follicles and vitellogenic follicles	Molina et al., 2021
	Ovary	Significant increase in oocyte rate	Forner-Piquer et al., 2020
	Testes	Decreased spermatogonia cell numbers	
	Testes	Certain degenerations in the germinal epithelium and spermatozoa and decrease in cell number, an increase in the number of Sertoli cells, a change in cell component ratios, cell degeneration, a decline in spermatozoa and spermatogonia cells	Lora et al., 2016
	Testes-Ovary	A decrease in the number of previtellogenic oocytes and spermatozoa-containing cysts	Mostari et al., 2012

	Testes	A decrease in the number of spermatogonia in male individuals	Giommi et al., 2021
	Ovary-Testes	Female orientation of gonad tissues, increased number of atretic follicles	Song et al., 2020
Bisphenol S	Ovary	Lipid accumulation in tissues, decrease in the number of oocytes, increase in the number of cortical follicles and vitellogenic oocytes	Qin et al., 2021
Bisfenol F	Ovary-Testes	Decreased reproductive potential in males, transcriptional changes in the gene axes of the endocrine system in female gonads, causing reproductive toxicity, affecting the number of ovulations, decrease in reproductive rate, decrease in the number of embryos	Mu et al., 2022
Bisphenol AF(BPAF)	Testes	There were areas of no cells in the testis tissue and a decrease in the number of spermatids	Yang et al., 2016
	Ovary	The majority of cells were primary oocytes with fewer being matured oocytes.	
Bisphenol B(BPB)	Testes	In the expansion of the interstitial area between tubules and an acellular area	Yang et al., 2017
	Ovary	A significant decrease in the number of mature oocytes	
Floren-9-bisphenol (BPFL)	Testes	Degeneration of Leydig cells occurred	Özkan-Kotiloğlu et al., 2022
Ethinylestradiol (EE ₂) and Fadrozole	Ovary	Observation of interstitial proteinaceous fluid deposits, increase in atretic oocytes, observed degenerative mineralization	Luzio, 2016
	Testes	Observation of interstitial proteinaceous fluid deposits, enlargement of sperm ducts, adipocyte infiltration, separation of the basement membrane, the spread of sperm ducts, masculinization, interstitial alterations, asynchronous development	
17 α -Ethinylestradiol (EE ₂)	Gonad	Effect on sexual development, decrease in thymocyte count	Kernen et al., 2022
	Ovary	The number of vitellogenic oocytes increased	Schuster et al., 2019
	Testes	A decrease in the number of spermatozoa and spermatids	Silva et al., 2012
	Ovary	Fibrosis, formation of protein-rich fluid, and inflammatory tissue were observed in the intestinal tissue	
17 α -Ethinylestradiol and 17 β -Trenbolone	Ovary	Only previtellogenic oocytes were present in the ovary	Örn et al., 2006
Medroxyprogesterone	Gonad	Gender differentiation	

Acetate (MPA)	Teste	Effect on spermatogenesis, increase in spermatocyte cell number	Shi et al., 2019
Medroxyprogesterone Acetate (MPA) and Dydrogesterone (DDG)	Ovary	there was a decrease in the proportion of cortical alveolar oocytes at high concentrations of Dydrogesterone and both high and low concentrations of the mixture.	Zhao et al., 2015
Levonorgestrel	Ovary	At a dose of 1.64 ng levonorgestrel/L in the female zebrafish ovary, atretic oocytes were formed.	Teigeler et al., 2021
Dydrogesterone	Ovary	An increase in the number of atretic follicles	Shi et al., 2018
	Testes	An increase in the proportion of mature sperm	
Tributyltin	Testes	Increase in spermatocyte count, decrease in spermatogonia and spermatozoa count	Lan et al., 2020
	Ovary	The number of early-stage follicles in various stages of development in the ovaries increased, while the number of mid/late-stage follicles decreased	Xiao et al., 2018
Dibutyl phthalate (DBP)	Testes	Reduces the number of sperm, and affects the seminiferous tubules, with an increase in Leydig cells	Hu et al., 2010
	Ovary	The number of vitellogenic oocytes increased	Hu et al., 2020
Dibutyl phthalate (DBP) and Diisobutyl phthalate (DiBP)	Testes	A significant increase in the number of spermatocytes and a significant decrease in the number of spermatids	
	Testes (DBP)	Delay in developmental stages, increase in spermatocyte count, decrease in spermatozoa count	Chen et al., 2020
	Testes (DBP-H)	Decreased number of spermatocytes and spermatozoa cells	
Dibutyl phthalate (DBP) and 17 α -ethynyl estradiol (EE ₂)	Testes (DiBP)	Enlargements in intracellular spaces	Chen et al., 2015
	Testes	Decrease in the number of spermatozoa and an increase in the number of spermatogonia and spermatocytes	
Di (2-ethylhexyl) phthalate, dibutyl phthalate, and acetyl tributyl citrate.	Ovary	The development of perinucleolar oocytes and early cortical alveolar oocytes in ovarian tissues is not well observed, fragmentation, hyalinization, and hypertrophy of perifollicular cells in the zona radiata	Guo et al., 2016
	Testes	Impairments in spermatogonia and spermatocytes, undetermined cytoplasm, and a decrease in the number of Sertoli cells. Spermatozoa are examined as the smallest cells within the spermatogenic cells.	
Di(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP)	Testes	The number of germ cells and spermatozoa decreased while the number of spermatocytes increased	Uren-Webster et al., 2010

Di-isononyl phthalate (DiNP)	Ovary	The number of vitellogenic oocytes decreased in low-dose groups, but no changes were observed in high-dose groups. In the 0.42 mg/L, 420 mg/L, and 4200 mg/L dose groups, a smaller number of mature oocytes were observed compared to the other dose groups	Santangeli et al., 2017
Bis-(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP) and 17 β -Estradiol	Testes	An enlargement in the spermatid cysts and spermatogonial areas, a reduction in spermatocyte cysts.	Corradetti et al., 2013
Semircarbazide(SMC)	Testes	Sperm packed with spaces in the seminiferous tubules, degeneration, irregularities in spermatocytes, structurally deformed tunica propria and decreased sperm count	Yu et al., 2017
	Testes	Inhibition of testicular development, atrophy of germ cells, Decreased number of Sertoli cells, vacuolar degeneration, structural changes in seminiferous tubules, vacuolization of Sertoli cells, increased number of gonocytes, small cytoplasm, and small irregular nuclei in Leydig cells, increased atrophy	Hassanzadeh, 2017
Methylparaben	Ovary	Disruptions in the ooplasm in the interstitial space, disrupted yolk, granulomatous inflammation, and disruptions in the proteinaceous fluid. An increase in the number of atretic follicles and vitellogenic oocyte atrophy	Hassanzadeh 2016
	Testes	The number of spermatozoa decreased and the number of spermatogonia and spermatocytes increased	Hu et al., 2023
	Ovary	The number of primary oocytes increases with dose, while the number of other oocytes decreases.	
	Ovary	Increased number of oogonia and previtellogenic oocytes	Xu et al., 2017
Tris (2-butoxy ethyl) phosphate (TBOEP)	Testes	An increase in spermatocyte count, a decrease in spermatid count	
	Ovary	The number of previtellogenic oocytes decreased while the number of oogonia increased	Huang et al., 2019
	Testes	Spermatogonia counts increased with the dose, while spermatid counts decreased	
Tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP)	Ovary	Caused atresia, vacuolization, an increase in atretic oocytes, and degenerate oocytes	Sutha et al., 2022
	Testes	Decreases in the number of spermatozoa and spermatocytes and distortion and atrophy of seminiferous tubule epithelium	
2-Ethylhexyl diphenyl phosphate (EHDPHP)	Ovary	The number of vitellogenic oocytes decreased while the number of perinucleolar oocytes	Yang et al., 2022

increased			
Norethindrone (NET)	Testes	Disturbances have been observed in seminiferous tubules and interstitial cells, a decrease in the number of spermatids	Hou et al., 2020
	Ovary	Decrease in cortical alveolar oocyte cells, increase in atretic follicles, and late vitellogenic follicular cells, anomalies in the development of sperm cells	
	Ovary	Perinuclear oocytes were observed in the 810 ng/L dose group, while no late/mature oocytes were observed in the ovary tissues of the 84 ng/L dose group	Liang et al., 2020
	Testes	A significant expansion in the surface areas of mature spermatids, mature spermatozoa, and spermatocytes	
Tebukonazol (TEB) and Difenokonazol (DIF)	Ovary (TEB and DIF)	The number of perinuclear oocytes and cortical alveoli oocytes increased	Jiang et al., 2021
	Ovary (DIF and MIX)	The number of early vitellogenic oocytes decreased	
	Ovary (TEB, DIF, and MIX)	The number of late/mature vitellogenic oocytes decreased	
	Testes (DIF)	An increase in the number of spermatogonia and a decrease in the number of spermatocytes	
	Testes (TEB and MIX)	The number of spermatocytes increased	
	Testes (TEB, DIF and MIX)	A decrease in the number of spermatids and spermatozoa	
Testes (MIX)	Late oogenesis and late spermatogenesis		

B. SILENT POLLUTANTS: PESTICIDES

Pesticides are the chemicals, which are known as plant protection products used to control disease-causing vectors such as mice and rats, and reduce the disruptive effects of living organisms like insects, weeds, fungi that live on or around animals, human bodies, and plants, decrease the nutritive value of food sources when production, storage, and consumption[5]-[68]. In pesticides, while target and desired pests show selective and specific toxicity; it has minimal toxicity to humans, plants, and animals. However, every pesticide has some degree of toxicity. For this reason, no pesticide is safe for health. But when they are used under certain conditions, their risks are reduced [79].

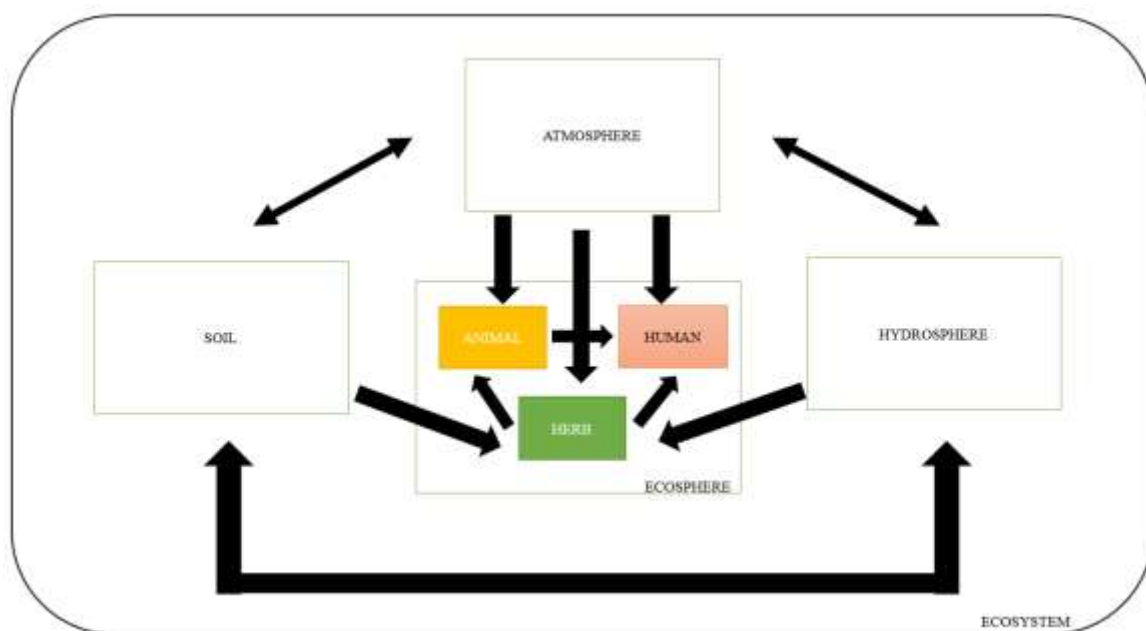


Figure 3. Transport of Pesticides in the Ecosystem.

B. 1. HISTOLOGICAL EFFECTS OF PESTICIDES, WHICH ARE INDISPENSABLE FOR AGRICULTURAL LIFE, ON GONADAL TISSUES OF ZEBRAFISH

B. 1. 1. Chlorpyrifos

Chlorpyrifos (CP), which is included in the organophosphorus group of carbamates, is not easily broken down in nature and is also used in the agricultural struggle. Fish is also a substance that is metabolized [71]. In a study about this substance, it was observed the level of vacuolization in the ovary and testes tissues increased depending on the exposure time when applied to adult zebrafish. In addition, the elongation of the seminiferous tubules in male fish was investigated. It was observed that vacuolization increased in both gonad tissues of the ovaries at 96 hours of exposure and degenerative oocyte and follicle atresia occurred in the ovarian tissue of female fish [55].

B. 1. 2. Roundup Wg

The effects on different target and non-target organisms for glyphosate-based herbicides, which are frequently used in global agriculture, are toxicologically significant. In a study by Davico et al. [17], an increase in first ovary follicles, a decrease in late ovarian follicles, and a smaller ovarian follicle diameter were observed for female zebrafish exposed to the glyphosate-based herbicide Roundup WG®(RWG). It was observed that the vitelline membrane in the ovarian follicle became thinner and the vitelline protein content increased in the high-dose groups. In addition, vacuolization in ovarian follicle cells, increases in perivitelline spaces, and impaired mitochondria in oocytes were observed.

B. 1. 3. Spirotetramat

In studies with Spirotetramate, a keto-enol insecticide, it has been reported that it has a toxic effect on living things in aquatic ecosystems [74]. Wu et al. [84], stated that Spirotetramate substance in the ovarian tissues of female zebrafish decreased the diameter of the oocytes, the diameter of the oocytes of female zebrafish exposed to high concentrations became even smaller, and the oocytes in the ovarian tissues became less mature, and most oocytes showed the first three oocyte phases (primary oocyte, cortical-alveolar oocyte, vitellogenic oocyte) but did not show the fourth and fifth oocyte stages (maturation oocyte, mature egg).

B. 1. 4. Pyriproxyfen

Pyriproxyfen is a type of insecticide used to protect cotton crops or other crops from pests. Maharajan et al. [54], stated that the Pyriproxyfen (PPF) substance applied to zebrafish is thought to delay egg development in the decreased E₂/T (estrogen-testosterone) ratio in the reproductive system of zebrafish, and it has been stated that the number of mature oocytes begins to decrease with low E₂ concentration level and insufficient VTG (vitellogenin) production. For this reason, it has been observed that male and female zebrafish gonads can impair the reproductive success of the next generation by showing histopathological destructive effects. A reduction in ripe spermatozoa and vitellogenic oocytes was observed in zebrafish. It has been explained that the number of spermatogonia and spermatid cells changes depending on the dose increase, the number of spermatid cells and spermatozoa cells decreases, and the number of spermatogonia and spermatocyte cells increases. Perinuclear oocytes and alveolar oocytes increased in ovarian tissues, while the number of vitellogenic oocytes decreased with increasing doses.

B. 1. 5. Deltamethrin

In a study conducted with Deltamethrin, a synthetic pyrethroid insecticide, fragmentation of the vesicle structures of the oocytes, irregularities in the cytoplasm, irregularity in the chromatin material of the primary oocytes, shrinkage in the nucleoli, swelling, and a decreased in the number of cortical alveoli, and degeneration in the ooplasm were observed in the ovary tissue of adult female zebrafish in 2 different dose groups. Depending on the dose increase, while the chromatin material degenerated, it was observed that the ooplasm was in a granular structure and there were spaces between it and the vitelline membrane. There was a decline in primary oocytes, their growth arrest, autolysis, degeneration, and deterioration in cortical granules. With these findings, it was observed that the chromatin material was degenerated compared to the zebrafish in the control group, with an increment in the intraovarian connective tissue and atretic follicles, and deterioration of oocyte morphology [40].

Petrovici et al. [63], observed that there was a decrease in the number and size of spermatocytes, and a slight increase in spermatogonia, depending on the dose increase in the testicular tissue of male zebrafish. In some experimental groups, mature spermatozoa were found in the seminiferous tubules. However, in the group with the highest dose, a significant reduction in the seminiferous tubules was observed, as well as a decrease in the size and quantity of sperm cells. While few spermatozoa were observed in the lumen of the seminiferous tubules, infiltration with an acidophilic fluid was observed on the testicular edge of only one zebrafish.

B. 1. 6. Cypermethrin

Cypermethrin, a different substance belonging to the synthetic pyrethroid group, is one of the most common pollutants in freshwater recently and is generally used to control harmful organisms in domestic, agricultural, and industrial areas [92]. Pitchika et al. [64], observed that when 10 µg/l⁻¹ of cypermethrin was applied to zebrafish, sperm count decreased in male fish and there were no significant changes in plasma vitellogenin levels in both sexes. In conclusion, it was specified that cypermethrin caused spermatotoxicity in zebrafish.

Beta-cypermethrin is a type-2 synthetic pyrethroid insecticide frequently used in pest control. In a study by Lu et al. [51], cortical alveoli increased in the gonads of zebrafish, while early vitellogenic oocytes and mature oocytes decreased in the ovaries. A decrease in spermatids and an increase in spermatocytes and spermatogonia were observed in the testicles.

B. 1. 7. Mancozeb

Abar Gurol et al. [6], applied Mancozeb substance, a type of fungicide, to male zebrafish, and observations were made at 5 ppm exposure. Fusion and fibrosis in the seminiferous tubules, degeneration in growing spermatogenic cell groups, bleeding, and intertubular space formations were observed in the parts between sperms and spermatogenic cells. It was stated that as the dose increased, the seminiferous tubules were irregular and their borders could not be distinguished. Significant signs of vacuolization and edema were observed. In some tubules, very thin basement membranes and hypertrophy of spermatocytes were observed. Clusters of degenerative spermatogenic cells were selected, and some of these cells were found to contain pycnotic or karyolytic nuclei. In some tubules, It was seen that the developing spermatogenic cells decreased and there were sperm in these tubules only in the lumen region and the sperm count decreased.

B. 1. 8. Flutolanil

Flutolanil, another type of fungicide, was reported by Teng et al. [78], to apply to zebrafish, it was observed that as the dose increased, the number of spermatozoa in the testicular tissue decreased and the seminiferous tubule lumen was destroyed at a dose of 1000 mg/L.

B. 1. 9. Climbazole

Climbazole (CBZ), a different type of fungicide, was reported by Liao et al. [47] and is used in fungal infections and various personal care products. In this study with CBZ substance, it was observed that it significantly affected purine and glutathione metabolism in male zebrafish and accordingly induced testicular cell apoptosis. In addition, it has been observed that it can decrease sperm production by inhibiting the synthesis of basic sex hormones.

B. 1. 10. Tebuconazole And Diphenol Conazole

In a study done by Jiang et al. [33], the MIX group consisting of triazole fungicides tebuconazole (TEB) and diphenol conazole (DIF) substances and mixtures were applied to zebrafish. It was noticed that vitellogenic oocytes decreased in DIF and MIX groups applied in female zebrafish, while late vitellogenic oocytes decreased in TEB, DIF, and MIX groups. In male zebrafish, it was seen that spermatogonia increased and spermatocyte decreased in the applied DIF group, while the spermatids and spermatozoa decreased in TEB, DIF, and MIX exposure. It has been said that fish exposed to the MIX group have rates of late oogenesis and late spermatogenesis.

B. 1. 11. Diazinon

Diazinon, a different pesticide type, is a common pesticide that can affect aquaculture. In the study conducted by Darvishi et al. [16], atrial and hyperplasia follicles were observed along with a decrease in oocyte development depending on the dose increase in female fish with diazinon application to zebrafish. In addition, when the endocrine effect was examined, it was observed that progesterone decreased significantly, but the ratios of 17 β -estradiol and testosterone did not change.

Pesticides affect all living forms due to their excessive use in the agricultural sector. It affects the aquatic ecosystem, the terrestrial ecosystem around agricultural areas, the people who are the practitioners, the balance of the habitat, and even all the beneficial or harmful organisms in the environment by passing from the soil to the seas and lakes. These effects may occur after long-term or short-term exposure, or there may be no known effects. For this reason, Zebrafish, a model organism, has been a role model for many researchers to try pesticides. Studies have shown that while pesticides have beneficial effects on their pests, they negatively affect gonad development in zebrafish. Since pesticides are indispensable in our lives, they silently affect all living things (Table 2).

Table 2. Effects of some pesticide types on zebrafish ovary-testicular tissues.

PESTICIDE	ORGAN-	DAMAGES SEEN	SOURCE
------------------	---------------	---------------------	---------------

USED	TISSUE		
Chlorpyrifos (CP)	Ovary	Advanced vacuolization, degenerative oocytes, follicle atresia	Manjunatha, 2015
	Testes	Elongation, vacuolization in seminiferous tubules	
Roundup WG®(RWG)	Ovary	Increase in the number of primary follicles, decrease in the number of late ovarian follicles, decrease in follicle diameter, thinning of the follicle vitelline membrane, increase in vitelline protein content, vacuolization in follicle cells, increase in perivitelline cavities, deterioration in the structure of mitochondria in oocytes	Davico et al., 2021
Spirotetramate	Ovary	Reduction in diameter of oocytes, late maturation in oocytes	Wu et al., 2018
Pyriproxyfen	Ovary	Decreased vitellogenic oocytes, increased perinuclear oocytes, and alveolar oocytes decreased vitellogenic oocytes	Maharajan et al., 2020
	Testes	Decrease in mature spermatozoa, changes in spermatogonia and spermatid cells, decrease in spermatid cells and spermatozoa cells, increase in the number of spermatogonia and spermatocyte cells	
Deltamethrin	Ovary	Disintegration in vesicle structures, irregularities in the cytoplasm, irregularity in the chromatin material of primary oocytes, shrinkage of the nucleoli, degeneration in the ooplasm, degeneration of the chromatin material, decrease in primary oocytes and their growth arrest, autolysis, degeneration, deterioration in cortical granules, degeneration of chromatin material, increase in follicles in the connective tissue, atretic atrophy, impaired oocyte morphology	Koç et al., 2009
Deltamethrin	Testes	Decreased spermatocyte count, increased number of spermatogonia, decreased size and amount of sperm cells, greatly reduced seminiferous tubules, few spermatozoa in the lumen of seminiferous tubules, infiltration with an acidophilic fluid on the testicular edge of only one zebrafish	Petrovici et al., 2020
Cypermethrin	Testes	Decrease in sperm count	Pitchika et al., 2019
Beta-cypermethrin	Ovary	An increase in the number of cortical alveoli, a decrease in early vitellogenic oocytes, and mature oocytes	Lu et al., 2021
	Testes	Decreased spermatid count, increased spermatocyte and spermatogonia count	
Flutolanil	Testes	Decrease in sperm numbers, degeneration of seminiferous tubule lumen	Teng et al., 2020
Mancozeb	Testes	Fusion and fibrosis in the seminiferous tubules, degeneration in growing spermatogenic cell groups, bleeding and intertubular space formations, irregularity and indistinct borders in seminiferous tubules, vacuolization and edema, hypertrophy of spermatocytes, degenerative spermatogenic cell clusters and some of these cells in cytolytic pycnotic or pycnotic cells. In some tubules, there is a decrease in spermatogenic cells developing in some tubules	Arman et al., 2020

		and there is only sperm in the lumen region in these tubules and a decrease in sperm count	
Climbazole	Testes	Inducing testicular cell apoptosis, reducing sperm production by inhibiting the synthesis of essential sex hormones	Liao et al., 2020
	Ovary(DIF and MIX)	Decreased number of vitellogenic oocytes	
	Ovary(TE B, DIF, and MIX)	Decreased number of late vitellogenic oocytes	
Tebuconazole (TEB)	Testes (DIF)	Increase in spermatogonia cells, decrease in spermatocyte cells	Jiang et al., 2021
Diphenolconazole (DIF)	Testes (TEB, DIF, and MIX)	Decreased number of spermatids and spermatozoa	
MIX	Testes-Ovary	Late oogenesis and late spermatogenesis	
Diazinon	Ovary	Decreased oocyte development, increased atresia, and hyperplasia of follicles	Darvishi et al., 2022

C. HEAVY METALS- ACCUMULATION IN MODEL ORGANISM ZEBRAFISH GONADS

Heavy metals, one of the sources of chemical pollution in the aquatic environment, are transition elements in the periodic system. Heavy metals pass into aquatic environments with industrial wastes, fires in forests, dust carried by the wind, volcanic eruptions, residues carried by erosion, domestic wastes, and sewage, and affect the metabolism of living things. Heavy metals mixed with the aquatic environment such as seas, lakes, and rivers cause bioaccumulation in fish. The accumulation level of heavy metals in different tissues of fish varies according to different parameters. These parameters vary according to the amount of heavy metal in the environment, the interaction time of the fish with the heavy metal, the age of the fish, the type of heavy metal, the metabolic activity of the fish, the stage of development, the physicochemical state of the water as well as the tissues and organs. In the aquatic environment where they live, fish take heavy metals from the external environment through gills, food, and skin [4]-[61].

C. 1. Fluoride

Li et al. [44], stated that in a study conducted with fluoride, which is naturally found in the earth's crust, it caused the dissolution of the ovarian follicular membrane and hypertrophic oocytes in female zebrafish at 18.60 mg/L exposure for 30 days in the gonad tissues of zebrafish. And at 36.83 mg/L exposure, severe deformations and atretic follicles were observed in ovarian tissues. It was observed that atretic follicles increased at 18.60 mg/L exposure for 60 days and there were more serious dissolutions in the follicular membrane at 36.83 mg/L exposure. In male fish, on the other hand, as the day and exposure rate increased, it was observed that the cell membrane structure was loosened and destroyed, and there were acellular areas in the testis tissues at 36.83 mg/L exposure for 60 days.

C. 2. Copper

Copper (Cu) element, which is one of the vital heavy metals found in surface waters, negatively affects the living things in the aquatic ecosystem, and it is necessary for red blood cells and many oxidation and reduction processes in animals and humans [10]. Cao et al. [10], reported that it was

found that the number of spermatogonia in the testis tissue of zebrafish exposed to copper decreased, and the number of primordial follicles increased, the number of primary follicles, secondary follicles, and mature follicles decreased in female fish depending on the dose increase. On the other hand, it was observed that the number of spermatozoa in the testis tissue decreased. It was observed that the number of mature follicles in the ovarian tissue of female zebrafish exposed to low doses for 30 days decreased, and as the dose increased, the number of secondary and mature follicles in the ovary tissue of female fish decreased, while the number of spermatocytes and spermatozoa in the testicular tissue of male fishes decreased. As the day and dose increased, it was stated that there was no death in the experimental groups. It has been observed that zebrafish exposed to copper(Cu) adversely affect gonadal development and damage the gonad structure. It has been said that it changes the gene expressions related to the endocrine system in the gonads and also affects the reproductive biology of zebrafish of both sexes. Observing the conclusion of this study shows was revealed that copper causes histopathological effects in zebrafish gonads.

C. 3. Uranium

Uranium [15] is included in the heavy metals group in endocrine-disrupting chemicals (EBC). Although there are not many studies on uranium, Barillet[35], stated in his study, that in the exposure of water-based uranium to the gonad tissue of adult zebrafish; uranium material was not found in the testes tissues of fish exposed to normal uranium, it was observed that there was uranium in the testicles of fish exposed to Depleted Uranium (DU) or DU-233U mixture. Nuclear vacuoles and changes in spermatozoa were observed in spermatozoa nuclei. In addition to these effects, it has been observed that it does not cause death since it is not very toxic to fish. Simon et al. [72], on the other hand, stated/observed that application of depleted uranium (DU) to zebrafish did not cause any histological effect in the ovaries of female fish, but it caused changes in the seminiferous tubule structure and cyst formation in the testicles of male fish. However, vacuolization in Sertoli cells and deterioration in Leydig cells, and cluster formations in the intertubular space were observed. When the fish were re-treated, the intensity of uranium's impact decreased, but its negative effects continued to be seen.

C. 4. Thallium

The element thallium, which is very rare in nature, is widely found in the aquatic ecosystem. Thus, it has negative effects on human health, especially on aquatic organisms [28]. Research done by Hou et al. [28], observed that there was a decrease in degenerated oocytes and mature oocytes in zebrafish ovaries administered thallium. According to the studies of the researchers, heavy metals that mixed with the aquatic ecosystem and accumulated caused negative effects on the zebrafish gonads. In addition to their histopathological effects, some heavy metals (copper) have been observed to affect gene expressions related to the endocrine system in the gonads. In this review, in which various heavy metals are discussed, it can be said that heavy metals in nature have a negative effect, considering the effect on zebrafish. (Table 3)

Table 3. Histological effects of some heavy metals on zebrafish tissues.

HEAVY METAL USED	ORGAN-TISSUE	DAMAGES SEEN	SOURCE
Fluoride(F ⁻)	Ovary	Increase in hypertrophic and atretic oocytes, Dissolution in follicular membrane	Li et al., 2015
	Testes	Loose and damaged tissues in the cell membrane, increase in acellular areas	
Copper (Cu)	Ovary	Decrease in the number of follicles	Cao et al., 2019
	Testes	Decreased spermatozoa count, decreased spermatozoa count, decreased spermatocyte count	

Uranium	Testes	No pathological findings	Barillet, 2010
Depleted Uranium (DU) DU-233U	Testes	Nuclear vacuoles in spermatozoa nuclei, changes in spermatozoa	
Depleted Uranium (DU)	Ovary	No histopathological findings	Simon et al., 2018
	Testes	Cyst formation with changes in the seminiferous tubule structure over time, vacuolization in Sertoli cells, deterioration in Leydig cells, cluster formations in the intertubular space	
Thallium	Ovary	Degenerated oocytes, decreased number of mature oocytes	Hou et al., 2017

D. NANOPARTICLES- TOXIC EFFECTS OF VARIOUS NANOPARTICLES ON MODEL ORGANISM ZEBRAFISH

For more than two decades, work in the field of nanotechnology has attracted attention with its revolutionary promises, including medicine [30]. Nanotechnology is an important technology used in various industrial fields today [11]. In the agriculture and food industry, its applications are increasing day by day, from phytosanitary products to ingredients included in foodstuffs or food packaging [30]. Commercial use and uncontrolled release of nanoparticles may pose significant risks to environmental pollution [11]. Nanoparticles are deliberately surrounded by bioconjugates that target specific cells. These bioconjugates can be DNA or proteins. Uncoated or coated nanoparticles cause biodegradation in the cell environment and disrupted nanoparticles cause cellular responses. Accumulation of biodegradable nanoparticles in cells may cause pathological changes within the cell, such as disruption of organelle integrity [20]. Although nanoparticle measurement is an important parameter in reproductive toxicity, zebrafish is one of the best model organisms for evaluating reproductive toxicity with the advantage of a high reproductive rate. Thus, nanoparticles may have effects on the reproductive system and fetal development [9]-[75]. Nanotoxicology also is a discipline that reveals important studies that connect many different fields of science like biology, medicine, and toxicology [11]-[19]-[83]. Zebrafish is an important model organism for toxicity measurement of nanoparticles due to its high reproductive rate, and these nanoparticles can affect fetal development in both male and female fish [11]-[81].

D. 1. Titanium Dioxide

Titanium dioxide (TiO₂) nanoparticle is used in the purification of water by cleaning micropollutants, pesticides, dyes, and organic pollutants. In addition to its benefits, it can pose a health risk to humans and animals as a result of contact. Toxic and degenerative effects have been observed in animal experiments [22]-[93]. Titanium dioxide nanoparticles are the most common and commercial substance used in personal care products that we use in daily life such as sunscreens, soap, and shampoo. Chronic exposure to titanium dioxide nanoparticles can cause toxic effects on the zebrafish reproductive system [7]-[58]-[76]. In a different study, it was observed that there was DNA damage in zebrafish treated with high doses of titanium dioxide [7]-[67]. Considering the studies in which Titanium dioxide (TiO₂) was applied to zebrafish testis tissues; Wang et al. [81], in their research, observed a defect in egg production and follicle formation in female zebrafish. With the findings obtained at the end of the study, they suggested that titanium dioxide could pass to the ovary through blood circulation and directly impair oocyte development. In a different titanium dioxide research, Fang et al. [23] observed an increase in eggs in females during the exposure period. It was observed that egg production decreased in the group treated with titanium dioxide and BPA. In the study conducted by Akbulut and Yön [2], it was observed that when testicular tissues were exposed to low doses of TiO₂, there was vacuolization in the seminiferous tubules, the number of spermatogonia decreased, and the number of sperm cells increased. As the dose increased, it was observed that many

seminiferous tubules merged and the seminiferous tubules were disrupted, the severity of degeneration increased, the spaces between sperm cells increased, and spermatogonia, spermatocyte, and spermatid cells decreased in TiO₂ exposure. In another study, Kotil et al. [41] stated that, due to the increase in the dose of titanium dioxide (TiO₂) in testicular tissues, it was observed that in the exposure to TiO₂, loss of cristae in the cytoplasm of Sertoli cells, mitochondrial degeneration in spermatogenic cells and spermatozoa, enlargement of perinuclear spaces in spermatids, cytoplasmic organelles degenerated into membrane residues and lysis in Sertoli cells. In these studies, in which TiO₂ was applied, changes were observed in the testis tissues of zebrafish, while no death was observed. In a different study by Cheng et al. [14], the growth effect of Microcystin-LR (MCLR) in the presence of titanium dioxide was examined. Accumulation of both substances has been observed in the gonads of zebrafish. While no significant changes were observed in ovarian and testicular morphology, a significant decrease in estradiol (E₂) and testosterone (T) levels was observed, along with a dysregulated gene transcription in the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal (HPG) axis. As a result, there was no change in the developmental stages of the gonads of female and male zebrafish. Wang et al. [80] in their study, titanium dioxide (TiO₂) resulted in ultrastructural demount of the intercellular junctions in germ cells in male zebrafish testes and a decrease in transepithelial electrical resistance in TM4 cells induced by the PBDEs congener 2, 20, 4, 0 tetrabromodiphenyl ether (BDE47) stated that the damage was exacerbated.

D. 2. Gold Nanoparticles

Gold nanoparticles are widely used in the medical industry thanks to their chemical stability and unique optical properties, and for this reason, they are of great interest in the scientific world [11]-[73]. Besides being used in drug delivery [7]-[46]-[76], immunochromatography diagnostics, optical microscopy, and confocal laser microscopy are also used as imaging particles and are even important substances used for cancer therapy [11]-[21]-[31]-[39]-[48]-[81].

D. 3. Silver Nanoparticles

Dayal et al. [18] in their study, observe many nucleoli in the perinucleolar stage (PS) oocyte nuclei, which caused thread breaks in the ovaries of female zebrafish. It was observed that zona radiata separated in the membranes of oocytes at the vitellogenic and mature stages and became atretic oocytes. Silver nanoparticles are the most studied substances because they are widely used in the cosmetics industry, biosensors, drug delivery systems, and antimicrobial agents [11]-[34]-[62]-[65]-[89]. It is used in medical imaging, bactericidal applications as well as consumer products [1]-[7]. Chen et al. [12], in a study with silver nanoparticles (AgNP), AgNPs similar to oocyte maturation-inducing hormones were observed to induce germinal vesicle destruction (GVBD). It has been observed that AgNO₃ has cytotoxic effects on follicle cells. Zebrafish exposure to AgNP(30 mg/mL) and AgNO₃(10 mg/mL) doses revealed irregularities, nuclear condensation, and fragmentation in the oocyte cytoplasm. In AgNO₃ exposure, it was observed that there was acute vacuolization in the ovarian follicle cells, and swelling in the mitochondria, and due to these results, the follicle cells underwent apoptosis. A study conducted by Orbea et al. [59], observed the ratio of silver nanoparticles increased in the tissues of male zebrafish. Ma et al. [53] stated that the increasing use of silver nanoparticles (AgNP) can cause negative effects on aquatic organisms. As a result of the study, it was observed that the fertility of female zebrafish decreased significantly with the increase of apoptotic cells in the gonads.

D. 4. Silica Nanoparticles

The effects of Silica Nanoparticles (SNP) and Cadmium Chloride (CdCl₂), which are major environmental pollutants, Liu et al., [49] in their study observed ovary structure and function changed as a result of exposure of zebrafish to these substances, there were results in a decrease in ovarian quality, a decrease in the number of mature oocytes and a deterioration in offspring development.

Nanoparticle studies in model organism zebrafish are less than in other studies. Nanoparticles, which are included in our lives with the development of technology, can cause toxic effects in fish as well as affect humans by exposure over time. In these studies, the use of zebrafish has been a guide to make it easier for us to predict their effects on other living organisms (Table 4).

Table 4. Effects of some nanoparticles on zebrafish gonads.

NANOPARTICLES USED	ORGAN-TISSUE	DAMAGES SEEN	SOURCE	
Titanium dioxide (TiO ₂)	Ovary	Impaired egg production and follicle formation, impaired oocyte development	Wang et al., 2011	
		Increase in the number of eggs	Fang et al., 2015	
		In the group administered with BPA, however, egg production decreased		
	Testes	Vacuolization in the seminiferous tubules, decrease in spermatogonia, increase in sperm cells, union in the seminiferous tubules, deterioration of the seminiferous tubules, increase in the severity of degeneration, increase in the spaces between sperm cells, decrease in the number of spermatocyte and spermatid cells	Akbulut and Yön, 2016	
		Loss of cristae in the cytoplasm of Sertoli cells, mitochondrial degeneration in spermatogenic cells and spermatozoa, enlargement of perinuclear spaces in spermatids, the degenerative transformation of cytoplasmic organelles into membrane remnants, and necrosis with lysis in Sertoli cells	Kotil et al., 2017	
		High rate of autophagy and necrosis in Sertoli cells	Bai and Tang, 2019	
		Ultrastructural localization of intercellular junctions of germ cells	Wang et al., (2021)	
	Ovary-Testes	Irregularity in hormonal level with no effect on the gonads	Cheng et al., 2018	
	Gold nanoparticles	Ovary	Separation of zona radiata in membranes of vitellogenic and mature oocytes, atretic oocytes	Dayal et al., 2016
	Silver nanoparticles	Ovary	Observation of cytotoxic effect in follicle cells, irregularities in the oocyte cytoplasm, nuclear condensation and fragmentation, acute vacuolization in ovarian follicle cells, swelling in mitochondria, apoptosis in follicle cells	Chen et al., 2016
Testes		Increase in silver nanoparticle ratio	Amaia Orbea et al., 2017	
Gonad		Increase in apoptotic cells	Ma et al., 2018	
Silica nanoparticles (SiNP) and cadmium chloride (CdCl ₂)	Ovary	Change in ovarian structure and function, decrease in ovarian quality, decrease in the number of mature oocytes, impaired offspring development	Pai et al., 2021	

IV. CONCLUSIONS

Because of its advantages in determining the effects of environmental pollutants, which are a global problem, zebrafish is a preferred model organism. These pollutants released into the water, have become threatening to many living organisms' health through the ecological cycle. Research on reproductive toxicity in zebrafish may be important for toxicity studies. Toxic data developed on the zebrafish reproductive system due to chemical sources will be useful for applications to be made on this subject. The effects of these chemical pollutants can be determined through studies and the damages they may cause can be prevented.

Today, environmental pollution has increased so much that the results cannot be measured. Environmental pollution has become an important problem with the development and spread of industry; agriculture, industry, and technology areas and the increase of the negative effects of environmental pollutants on terrestrial or aquatic ecosystems. Because of its advantages in determining the effects of environmental pollutants, which are a global problem, zebrafish is a preferred model organism. These pollutants released into the water, have become threatening to many living organisms' health through the ecological cycle. Research on reproductive toxicity in zebrafish may be important for toxicity studies. Toxic data developed on the zebrafish reproductive system due to chemical sources will be useful for applications to be made on this subject. The effects of these chemical pollutants can be determined through studies and the damages they may cause can be prevented. The effects of these chemical pollutants can be determined through studies, and the damage they may cause can be prevented.

Consciously or unconsciously, the release of waste into nature and the pollution of aquatic ecosystems should be prevented. We must reduce the use of these harmful chemicals to provide a clean living environment for all living beings in the ecosystem.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Ahamed, M. S. Alsali, and M. K. J. Siddiqui, "Silver nanoparticle applications and human health," *Clinica Chimica Acta*, vol. 411., pp. 1841–1848, 2010.
- [2] C. Akbulut and N. D. Yon, "Histopathology and Cellular Apoptosis At Spermatogenic Cells of Zebrafish (*Danio rerio*) At Acute and Sub-Chronic Exposure of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanoparticles," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 8, pp. 2991-2997, 2016.
- [3] C. Akbulut and N.D. Yon, "Teratologic effects of bisphenol a on zebrafish (*Danio rerio*)," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 17(1), pp. 105-111, 2013.
- [4] Y. Aktop and I. T. Cagatay, "Accumulation and Effects of Heavy Metals in Fish," *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, vol. 6, pp. 37-44, 2020.
- [5] S. Arman, "Zebrafish (*Danio rerio*) In Pesticide-Induced Cardiac Toxicity Research" *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, pp. 1417-1430, 2019.
- [6] M. Abar Gurol, S. Arman, and N. D. Yon, "Effects of Mancozeb on the Testicular Histology of the Zebrafish (*Danio rerio*)," *International Journal of Limnology*, vol. 56, pp. 10, 2020.
- [7] C. Bai and M. Tang "Toxicological study of metal and metal oxide nanoparticles in zebrafish," *Journal of Wiley Applied Toxicology*, vol. 40, pp. 37–63, 2020.
- [8] M. N. H. Bhujyan, H. Kang, J. Choi, S. Lim, Y. Kho, and K. Choi, "Effects of 3,4-dichloroaniline (3,4-DCA) and 4,40-methylenedianiline (4,40-MDA) on sex hormone regulation and reproduction of adults," *Chemosphere*, vol. 269, pp. 128768, 2021.

- [9] L. Braydich-Stolle, S. Hussain, J. J. Schlager, and M. C. Hofmann, "In Vitro Cytotoxicity of Nanoparticles in Mammalian Germline Stem Cells," *Toxicological Sciences*, vol. 88, pp. 412–419, 2005.
- [10] J. Cao, G. Wang, T. Wang, G. Chen Wenjing, P. Wu, X. He, and L. Xie, "Copper caused reproductive endocrine disruption in zebrafish (*Danio rerio*)," *Aquatic Toxicology*, vol. 211, pp. 124–136, 2019.
- [11] C. Chakraborty, A. R. Sharma, G. Sharma, and S. S. Lee, "Zebrafish: A complete animal model to enumerate the nanoparticle toxicity," *Journal Nanobiotechnology*, vol. 14, pp. 65, 2016.
- [12] S. X. Chen, X. Z. Yang, Y. Deng, J. Huang, Y. Li, Q. Sun, C. P. Yu, Y. Zhu, and W. S. Hong, "Silver nanoparticles induce oocyte maturation in zebrafish (*Danio rerio*)," *Chemosphere*, vol. 170, pp. 51-60, 2017.
- [13] H. Chen, K. Chen, X. Qiu, H. Xu, G. Mao, T. Zhao, W. Feng, E. S. Okeke, X. Wu, and L. Yang, "The reproductive toxicity and potential mechanisms of combined exposure to dibutyl phthalate and diisobutyl phthalate in male zebrafish (*Danio rerio*)," *Chemosphere*, vol. 258, pp. 127238, 2020.
- [14] H. Cheng, W. Yan, Q. Wu, J. Lu, C. Liu, T. C. Hung, and G. Li, "Adverse reproductive performance in zebrafish with increased bioconcentration of microcystin-LR in the presence of titanium dioxide nanoparticles," *Environmental Science Nano*, vol. 5, pp. 1208–1217, 2018.
- [15] S. Cetinkaya, "Endocrine disruptors and their effects on puberty," *Dicle Tip Dergisi*, vol. 36, pp. 59-66, 2009.
- [16] M. Darvishi, R. Safari, S. H. Hoseinifar, A. Shabani, M. Dadar, Z. Jarayedi, and M. Paolucci, "Sublethal doses of diazinon affected reproductive, immune, and oxidative status in female zebrafish (*Danio rerio*)," *Aquaculture Reports*, vol. 22, pp. 100944, 2022.
- [17] C. E. Davico, A. G. Pereira, L. Nezzi, M. L. Jaramillo, M. Silveira de Melo, Y. M. R. Müller, and E. M. Nazari, "Reproductive toxicity of Roundup WG® herbicide: impairments in ovarian follicles of model organism *Danio rerio*," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 15147–15159, 2021.
- [18] N. Dayal, Thakur M., P. Patil, D. Singh, G. Vanage, and D. Joshi, "Histological and genotoxic evaluation of gold nanoparticles in ovarian cells of zebrafish (*Danio rerio*)," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 18, pp. 291, 2016.
- [19] K. Donaldson, V. Stone, L. Tran, W. G. Kreyling, and P. Borm, "Nanotoxicology," *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 61, pp. 727–728, 2004.
- [20] N. Lewinski, V. Colvin, and R. Drezek, R. "Cytotoxicity of Nanoparticles," *Small-Journal*, vol. 4, pp. 26–49, 2008.
- [21] L. A. Dykman, and N. G. Khlebtsov, "Gold nanoparticles in biology and medicine: recent advances and prospects," *Acta Naturae*, vol. 3, pp. 34–55, 2011.
- [22] E. Esmeray and O. Ozata, "Use of nanoparticles in Environmental Engineering and synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) with basic laboratory materials," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 16, pp. 521-527, 2019.
- [23] Q. Fang, Q. Shi, Y. Guo, J. Hua, X. Wang, and B. Zhou, "Enhanced Bioconcentration of Bisphenol A in the Presence of NanoTiO₂ Can Lead to Adverse Reproductive Outcomes in Zebrafish," *Environmental Science & Technology*, vol. 50(2), pp. 1005-1013, 2015.

- [24] Forner-Piquer, S. Beato, F. Piscitelli, S. Santangeli, V. Di Marzo, H. R. Habibi, F. Maradonna, and O. Carnevali, "Effects of Bisphenol-A On Zebrafish Gonads: Focus On The Endocannabinoid System," *Environmental Pollution*, vol. 264, pp. 114710, 2020.
- [25] N. Hassanzadeh, "Histopathological Evaluation of The Zebrafish (*Danio rerio*) Testis Following Exposure To Methyl Paraben," *International Journal of Aquatic Biology*, vol. 5, pp. 71-78, 2007.
- [26] T. C. K. Heiden, C. A. Struble, M. L. Rise, M. J. Hessner, R. J. Hutz, and M. J. Carvan, "Molecular targets of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) within the zebrafish ovary: Insights into TCDD-induced endocrine disruption and reproductive toxicity," *Reproductive Toxicology*, vol. 25, pp. 47-57, 2008.
- [27] J. Hou, L. Li, N. Wu, Y. Su, W. Lin, G. Li, and Z. Gu, "Reproduction impairment and endocrine disruption in female zebrafish after long-term exposure to MC-LR: A life cycle assessment," *Environmental Pollution*, vol. 208, pp. 477-485, 2016.
- [28] L. P. Hou, Y. Yang, H. Shu, G. G. Ying, J. L. Zhao, Y. B. Chen, Y. H. Chen, G. Z. Fang, X. Li, and J. S. Liu, "Changes in Histopathology, Enzyme Activities, and the Expression of Relevant Genes in Zebrafish (*Danio rerio*) Following Long Term Exposure to Environmental Levels of Thallium," *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 99, pp. 574-581, 2017.
- [29] L. Hou, S. Chen S, W. Shi, H. Chen, Y. Liang, X. Wang, J. Tan, Y. Wang, X. Deng, M. Zhan, J. Long, G. Cai, S Luo, C. Zhang, J Liu, J. Y. S Leung, and L Xie, "Norethindrone Alters Mating Behaviors, Ovary Histology, Hormone Production and Transcriptional Expression of Steroidogenic Genes in Zebrafish (*Danio rerio*)," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 195, pp. 110496, 2020.
- [30] E. Houdeau, L. Bruno, L. Dominique, and P. Fabrice, "Nanoparticles and food: an emerging risk in human health?," *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, vol. 433, pp. 10, 2018.
- [31] X. Huang, I. H. El-Sayed, W. Qian, and M. A. Al-Sayed, "Cancer cell imaging and photothermal therapy in the near-infrared region by using gold nanorods," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 128, pp. 2115-20, 2006.
- [32] M. Jia, M. Teng, S. Tian, J. Yan, Z. Meng, S. Yan, R. Li, Z. Zhou, and W. Zhu, "Effects of penconazole enantiomers exposure on hormonal disruption in zebrafish *Danio rerio* (Hamilton, 1822)," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 43476-43482, 2021.
- [33] J. Jiang, L. Chen, X. Liu, L. Wang, S. Wu, and X. Zhao, "Histology and multi-omic profiling reveal the mixture toxicity of tebuconazole and difenoconazole in adult zebrafish," *Science of the Total Environment*, vol. 795, pp. 148777, 2021.
- [34] S. Jin and K. Ye, "Nanoparticle-mediated drug delivery and gene therapy," *Biotechnology Progress*, vol. 23, pp. 32-41, 2007.
- [35] S. Barillet, V. Larno, M. Floriani, A. Devaux, and C. Adam-Guillermin, "Ultrastructural effects on gill, muscle, and gonadal tissues induced in zebrafish (*Danio rerio*) by a waterborne uranium exposure," *Aquatic Toxicology*, vol. 100, pp. 295-302, 2010.
- [36] B. Kaptaner and G. Unal, "Alterations in the Immunohistochemical Staining of Cytochrome P4501A in the Hepatocytes of *Chalcalburnus tarichi* (Pallas 1811) (*Cyprinidae*) Exposed to 17 α -Ethinylestradiol and 4-n-Nonylphenol," *Doğru Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 3, pp. 83-94, 2020.

- [37] F. E. Kayhan, G. Kaymak, H. E. Esmer Duruel, and S. Tartar Kızılkaya, "The Use of Zebrafish (*Danio rerio* Hamilton, 1822) in Biological Research and Its Importance," *Journal of Gaziosmanpasa Scientific Research*, c. 7, s. 2, ss. 38-45, 2018.
- [38] L. Kernen, A. Phan, J. Bo, E. L. Herzog, J. Huynh, H. Segner, and L. Baumann, "Estrogens as immunotoxicants: 17 α -ethinylestradiol exposure retards thymus development in zebrafish (*Danio rerio*)," *Aquatic Toxicology*, vol. 242, pp. 106025, 2022.
- [39] S. Klein, S. Petersen, U. Taylor, D. Rath, and S. Barcikowski, "Quantitative visualization of colloidal and intracellular gold nanoparticles by confocal microscopy," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 15, pp. 036015, 2010.
- [40] N. D. Koc, M. N. Muslu, F. E. Kayhan, and S. Ozesen Colak, "Histopathological Changes In Ovaries of Zebrafish (*Danio rerio*) Following Administration of Deltamethrin" *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 18(10), pp. 1872-1878, 2009.
- [41] T. Kotil, C. Akbulut, and N. D. Yon, "The Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles on Ultrastructure of Zebrafish Testis (*Danio rerio*)," *Micron*, vol. 100, pp. 38-44, 2017.
- [42] E. Kokdemir Unsar, and N. A. Perendeci, "Environmental fate of nanoparticles and their impacts on anaerobic digestion process," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 22(6), pp. 503-512, 2015.
- [43] X. R. Lan, Y. W. Li, Q. L. Chen, Y. J. Shen, and Z. H. Liu, "Tributyltin impaired spermatogenesis and reproductive behavior in male zebrafish," *Aquatic Toxicology*, vol. 224, pp. 105503, 2020.
- [44] M. Li, J. Cao, J. Chen, J. Song, B. Zhou, C. Feng, and J. Wang, "Waterborne fluoride exposure changed the structure and the expressions of steroidogenic-related genes in gonads of adult zebrafish (*Danio rerio*)," *Chemosphere*, vol. 145, pp. 365-375, 2016.
- [45] S. Li, Q. Sun, Q. Wu, W. Gui, G. Zhu and D. Schlenk, "Endocrine Disrupting Effects of Tebuconazole on Different Life Stages of Zebrafish (*Danio rerio*)," *Environmental Pollution*, vol. 249, pp. 1049-1059, 2019.
- [46] Y. F. Li and C. Chen, "Fate and toxicity of metallic and metal-containing nanoparticles for biomedical applications," *Small*, vol. 7(21), pp. 2965–2980, 2011.
- [47] X. L. Liao, Z. F. Chen, T. Zou, Z. C. Lin, X. F. Chen, Y. Wang, Z. Qi, and Z. Cai, "Chronic Exposure to Climbazole Induces Oxidative Stress and Sex Hormone Imbalance in the Testes of Male Zebrafish," *Environmental Research*, vol. 184, pp. 109310, 2020.
- [48] Z. Z. J. Lim, J. E. J. Li, C. T. Ng, L. Y. L. Yung, and B. H. Bay, "Gold nanoparticles in cancer therapy," *Acta Pharmacologica Sinica*, vol. 32, no. 8, pp. 983–90, 2011.
- [49] P. Liu, Y. Zhao, S. Wang, H. Xing, and W. F. Dong, "Effect of combined exposure to silica nanoparticles and cadmium chloride on female zebrafish ovaries," *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 87, pp. 103720, 2021.
- [50] J. Lora, A. M. Molina, C. Bellido, A. Blanco, J. G. Monterde and M. R. Moyano, "Adverse Effects of Bisphenol A On The Testicular Parenchyma of Zebrafish Revealed Using Histomorphological Methods," *Veterinarni Medicina*, vol. 61(10), pp. 577–589, 2016.
- [51] J. Lu, Q. Wu, Q. Yang, G. Li, R. Wang, Y. Liu, C. Duan, S. Duan, X. He, Z. Huang, X. Peng, W. Yan, and J. Jiang, "Molecular mechanism of reproductive toxicity induced by beta-cypermethrin in

zebrafish,” *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 239, pp. 108894, 2021.

[52] A. Luzio, S. M. Monterio, E. Rocha, A. A. Fontainhas-Fernandes, and A. M. Coimbra, “Development and Recovery of Histopathological Alterations in Thegonads of Zebrafish (*Danio rerio*) After Single and Combined Exposure to Endocrine Disruptors (17-Ethinylestradiol and Fadrozole),” *Aquatic Toxicology*, vol. 175, pp. 90–105, 2016.

[53] Y. B. Ma, C. J. Lu, M. Junaid, P. P. Jia, L. Yang, J. H. Zhang, and D. S. Pei, “Potential adverse outcome pathway (AOP) of silver nanoparticles mediated reproductive toxicity in zebrafish,” *Chemosphere*, vol. 207, pp. 320-328, 2018.

[54] K. Maharajan, S. Muthulakshmi, C. Karthik, B. Nataraj, K. Nambirajan, D. Hemalatha, S. Jiji, K. Kadirvelu, K. C. Liu and M. Ramesh, “Pyriproxyfen Induced Impairment of Reproductive Endocrine Homeostasis and Gonadal Histopathology in Zebrafish (*Danio rerio*) By Altered Expression of Hypothalamus-Pituitary-Gonadal (HPG) Axis Genes,” *Science of The Total Environment*, vol. 735, pp. 139496, 2020.

[55] B. Manjunatha and G. H. Philip, “Reproductive Toxicity of Chlorpyrifos Tested in Zebrafish (*Danio rerio*): Histological and Hormonal End Points. Toxicology and Industrial Health,” *Sage Journals*, vol. 32(10), 1808-1816, 2015.

[56] L. Molina, A. M. Abril, N. L. Benitez, A. Huertas-Abril, P. V. A. Soldado, N. Blanco, C. M. Salvago, and M. Rosario, “Proteomic profile of the effects of low-dose bisphenol A on zebrafish ovaries,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 156, pp. 112435, 2021.

[57] X. Mu, S. Qi, J. Liu, H. Wang, L. Yuan, L. Qian, T. Li, Y. Huang, C. Wang, Y. Guo, and Y. Li, “Environmental level of bisphenol F induced reproductive toxicity toward zebrafish,” *Science of the Total Environment*, vol. 806, pp. 149992, 2022.

[58] M. T. Noman, M. A. Ashraf, and A. Ali, “Synthesis and applications of nano-TiO₂: A review,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, pp. 3262–3291, 2018.

[59] Orbea, N. Gonzalez-Soto, J. M. Lacave, I. Barrio, and M. P. Cajaraville, “Developmental and reproductive toxicity of PVP/PEI-coated silver nanoparticles to zebrafish,” *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* vol. 199, pp.59–68, 2017.

[60] K. Ou-Yang, T. Feng, Y. Han, G. Li, and H. Ma, “Bioaccumulation, metabolism, and endocrine-reproductive effects of metolachlor and its S-enantiomer in adult zebrafish (*Danio rerio*),” *Science of the Total Environment*, vol. 802, pp. 149826, 2022.

[61] G. Ozbolat and A. Tuli, “Effects of Heavy Metal Toxicity on Human Health,” *Archive Source Review Journal*, vol. 25(4), pp. 502-521, 2016.

[62] P. Perugini, S. Simeoni, S. Scalia, I. Genta, T. Modena, B. Conti, and F. Pavanetto, “Effect of nanoparticle encapsulation on the photostability of the sunscreen agent, 2-Ethylhexyl-p-methoxycinnamate,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 246, pp. 37–45, 2002.

[63] Petrovici, S. A. Strungaru, M. Nicoara., M. A. Robea, C. Solcan, and C. Faggio, “Toxicity of Deltamethrin to Zebrafish Gonads Revealed by Cellular Biomarkers,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 8, pp. 73, 2020.

- [64] G. K. Pitchika, K. V. Swamy, T. S. Ranjani, C. R. Tyler, S. B. Sainath, and G. H. Phillip, "Effect of cypermethrin on Reproductive efficacy in zebrafish (*Danio rerio*): In vivo and silico studies," *Journal of Environmental Biology*, vol. 40, pp. 985-994, 2019.
- [65] T. Prow, R. Grebe, C. Merges, J. Smith, D. S. Mcleod, J. F. Leary, and G. Luty, "Nanoparticle tethered biosensors for autoregulated gene therapy in hyperoxic endothelium," *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, vol. 2, pp. 276, 2006.
- [66] J. Y. Qin, S. Ru, W. Wang, L. Hao, S. Wei, J. Zhang, J. Q. Xiong, J. Wang, and X. Zhang, "Unraveling the mechanism of long-term bisphenol S exposure disrupted ovarian lipids metabolism, oocytes maturation, and offspring development of zebrafish," *Chemosphere*, vol. 277, pp. 130304, 2021.
- [67] L. Rocco, M. Santonastaso, F. Mottalo, D. Costagliola, T. Suero, S. Pacifico, and V. Stingo, "Genotoxicity assessment of TiO₂ nanoparticles in the teleost *Danio rerio*," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 113, pp. 223–230, 2015.
- [68] N. Sataloglu, B. Aydın, and A. Turla, "Pesticide Poisoning" *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, vol. 6 (3), pp. 169-174, 2007.
- [69] T. Seven, B. Can, B. N. Darende, and S. Ocak, "Heavy Metals Pollution in Air and Soil," *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 1(2), pp. 91-103, 2018.
- [70] W. J. Shi, D. D. Ma, Y. X. Jiang, L. Xie, J. N. Zhang, G. Y. Huang, H. X. Chen, L. P. Hou, Y. S. Liu, and G. G. Ying, "Medroxyprogesterone Acetate Affects Sex Differentiation and Spermatogenesis in Zebrafish," *Aquatic Toxicology*, vol. 212, pp. 70–76, 2019.
- [71] D. Simon, S. Helliwell, and K. Robards, "Analytical chemistry of chlorpyrifos and diuron in aquatic ecosystems," *Analytica Chimica Acta*, vol. 360, pp. 1-16, 1998.
- [72] O. Simon, B. Gagnaire, V. Camilleri, I. Cavalie, M. Floriani and C. Adam-Guillermin, "Toxicokinetic and toxicodynamic of depleted uranium in the zebrafish, *Danio rerio*," *Aquatic Toxicology*, vol. 197, pp. 9–18, 2018.
- [73] G. Singhal, R. Bhavesh, A. R. Sharma, and R. P. Singh, "Ecofriendly biosynthesis of gold nanoparticles using medicinally important *Ocimum basilicum* leaf extract," *Advanced Science, Engineering and Medicine*, vol. 4, pp. 62–66, 2012.
- [74] V. M. Simsek and N. Uygun, "Investigation of side effects of some pesticides on important parasitoids and predators in citrus ecosystem," *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, vol. 4 (2), pp. 141-154, 2013.
- [75] B. Tang, J. Tao, S. Xu, J. Wang, C. Hurren, W. Xu, L. Sun, and X. Wang, "Using hydroxy carboxylate to synthesize gold nanoparticles in heating and photochemical reactions and their application in textile coloration," *Chemical Engineering Journal*, vol. 172, pp. 601-607, 2011.
- [76] M. Tang and C. Bai, "Toxicological study of metal and metal oxide nanoparticles in zebrafish," *Journal of Applied Toxicology*, vol. 40, pp. 37–63, 2019.
- [77] Z. S. Taylan and H. Boke Ozkoc, "The Use of Some Sub-mersed and Free floating Aquatic Macrophytes in the Bioremediation of Heavy Metal Pollution," *BAÜ FBE Dergisi*, vol. 9(2), pp. 17-33, 2007.

- [78] M. Teng, C. Wang, M. Song, X. Chen, J. Zhang, and C. Wang, "Chronic Exposure of Zebrafish (*Danio rerio*) To Flutolanil Leads To Endocrine Disruption and Reproductive Disorders," *Environmental Research*, vol. 184, pp. 109310, 2020.
- [79] N. Vural, "Pesticides," *Toxicology*, Ankara, Turkey: Ankara Universitesi Basimevi, 2005, cp. 3, pp. 344-401.
- [80] C. Wang, J. Zhu, X. Gong, Y. Liang, S. Xu, and Y. Yu, "Bioaccumulation of BDE47 in testes by TiO₂ nanoparticles aggravates the reproductive impairment of male zebrafish by disrupting intercellular junctions," *Nanotoxicology*, vol. 15:8 pp. 1073-1086, 2021.
- [81] G. Wang, A. S. Stender, W. Sun and N. Fang, "Optical imaging of non-fluorescent nanoparticle probes in live cells," *Analytst*, vol. 135, pp. 215–221, 2010.
- [82] J. Wilson-Raw, Z. Zhao, X. Zhang, Y. Chen, H. Liu, Y. Chang, R. George, and J. Wang, "Disruption of zebrafish (*Danio rerio*) reproduction upon chronic exposure to TiO₂ nanoparticles," *Chemosphere*, vol. 83, pp. 461–467, 2010.
- [83] C. Weiss and S. Diabate, "A special issue on nanotoxicology," *Archives of Toxicology*, vol. 85, pp. 705–706, 2011.
- [84] H. Wu, Q. Rao, J. Zheng, C. Mao, Y. Sun, D. Gu, M. Wang and X. Liu, "Biochemical and Histological Alterations in Adult Zebrafish (*Danio rerio*) Ovary Following Exposure To The Tetric Acid Insecticide Spirotetramat," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 164, pp. 149–154, 2018.
- [85] Q. Xu, D. Wu, Y. Dang, L. Yu, C. Liu, and J. Wang, "Reproduction impairment and endocrine disruption in adult zebrafish (*Danio rerio*) after waterborne exposure to TBOEP," *Aquatic Toxicology*, vol. 182, pp. 163–171, 2017.
- [86] R. Yang, X. Wang, J. Wang, P. Chen, Q. Liu, W. Zhong, and L. Zhu, "Insights into the sex-dependent reproductive toxicity of 2-Ethylhexyl diphenyl phosphate on zebrafish (*Danio rerio*)," *Environment International*, vol. 158, pp. 106928, 2022.
- [87] Y. Yıldırım, N. Ertas Onmaz N., Z. Gonulalan, H. Hızlısoy, S. Al, C. Candemir Gungor, H. B. Disli, A. Dışhan, and M. Barel, "Effects of Bisphenols and Phthalates on Public Health," *Journal of The Faculty of Veterinary Medicine Erciyes University*, vol. 17(1), pp. 68-75, 2020.
- [88] B. Yıldız Fendoglu, B. Kocer-Gümüşel, and P. Erkekoglu, "A General Overview on Endocrine Disrupting Chemicals and Their Mechanism of Action," *Hacettepe University Journal of The Faculty of Pharmacy*, vol. 39(1), pp. 30-43, 2019.
- [89] K. Y. Yoon, J. H. Byeon, J. H. Park, and J. Hwang, "Susceptibility constants of Escherichia coli and Bacillus subtilis to silver and copper nanoparticles," *Science of the Total Environment*, vol. 373, pp. 572–575, 2007.
- [90] M. Yu, Y. Feng, X. Zhang, J. Wang, H. Tian, W. Wang, and S. Ru, "Semicarbazide Disturbs the Reproductive System of Male Zebrafish (*Danio rerio*) Through the Gabaergic System," *Reproductive Toxicology*, vol. 73, pp. 149-157, 2017.
- [91] H. Segner, "Zebrafish (*Danio rerio*) as a model organism for investigating endocrine disruption," *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 149, pp. 187–195, 2009.

- [92] E. V. Paravani, M. F. Simoniello, G. L. Poletta, and V. H. Casco, "Cypermethrin induction of DNA damage and oxidative stress in zebrafish gill cells," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 173, pp. 1–7, 2019.
- [93] N. Berik, "Possible Harmful Effects of Titanium Dioxide and Nano Titanium Dioxide Use on Aquatic Products," *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, vol. 1, pp. 59-65, 2018.
- [94] N. D. Yon and C. Akbulut, "Histological Changes in Zebrafish (*Danio rerio*) Ovaries Following Administration of Bisphenol A," *Pakistan Journal Zoology*, vol. 46(4), pp. 1153-1159, 2014.
- [95] M. Molina, A.J. Lora, A. Blanco, J.G. Monterde, N. Ayala, and R. Moyano, "Endocrine-active compound evaluation: Qualitative and quantitative histomorphological assessment of zebrafish gonads after bisphenol-A exposure," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 88, pp. 155–162, 2013.
- [96] A.M. Molina, N. Abril, N. Morales-Prietob, J.G. Monterde, A. J. Lora, N. Ayala, and R. Moyano, "Evaluation of toxicological endpoints in female zebrafish after bisphenol A exposure," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 112, pp. 19-25, 2018.
- [97] S. Keiter, L. Baumann, H. Färber, H. Holbech, D. Skutlarek, M. Engwall, and T. Braunbeck, "Long-term effects of a binary mixture of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and bisphenol A (BPA) in zebrafish (*Danio rerio*) ," *Aquatic Toxicology*, vol. 118–119, pp. 116–129, 2012.
- [98] Q. Fang, Q. Shi, Y. Guo, J. Hua, X. Wang, and B. Zhou, "Enhanced Bioconcentration of Bisphenol A in the Presence of Nano TiO₂ Can Lead to Adverse Reproductive Outcomes in Zebrafish," *Environmental Science Technology*, vol.50(2), pp. 1005-1013, 2016.
- [99] C. Giommi, H. R. Habibi, M. Candelma, O. Carnevali, and F. Maradonna, "Probiotic Administration Mitigates Bisphenol A Reproductive Toxicity in Zebrafish," *International Journal of Molecular Sciences*, vol, 22, pp. 9314, 2021.
- [100] F. Cariati, L. Carbone, A. Conforti, F. Bagnulo, S. R. Peluso, C. Carotenuto, C. Buonfantino, E. Alviggi, C. Alviggi, and I. Strina, "Bisphenol A-induced Epigenetic Changes and Its Effects on the Male Reproductive System," *Frontiers in Endocrinology*, vol. 11, pp. 413, 2020.
- [101] Y. Liu, C. Yuan, S. Chen, Y. Zheng, J. Gao, and Z. Wang, "Global and cyp19a1a gene specific DNA methylation in gonads of adult rare minnow *Gobiocypris rarus* under bisphenol A exposure," *Aquatic Toxicology*, vol. 156, pp. 10-16, 2014.
- [102] S. Gonzalez-Rojo, M. Lombó, C. Fernández-Díez, and M.P. Herráez, "Male exposure to bisphenol a impairs spermatogenesis and triggers histone hyperacetylation in zebrafish testes," *Environmental Pollution*, vol. 248, pp. 368-379, 2019.
- [103] Q. Yang, X. Yang, J. Liu, W. Ren, Y. Chen, and S. Shen, "Exposure to Bisphenol B Disrupt Steroid Hormone Homeostasis and Gene Expression in the Hypothalamic–Pituitary–Gonadal Axis of Zebrafish," *Water Air Soil Pollution*, vol. 228, pp. 112, 2017.
- [104] X. Yang, Y. Liu, J. Li, M. Chen, D. Peng, Y. Liang, M. Song, J. Zhang, and G. Jiang, "Exposure to Bisphenol AF Disrupts Sex Hormone Levels and Vitellogenin Expression in Zebrafish," *Environmental Toxicology*, vol. 31(3), pp 285-294, 2016.
- [105] J. Sutha, P. A. Anila, M. Gayathri, and M. Ramesh, "Long-term exposure to tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP) causes alterations in reproductive hormones, vitellogenin, antioxidant enzymes, and histology of gonads in zebrafish (*Danio rerio*): In vivo and computational analysis,"

Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, vol. 254, pp. 109263, 2022.

[106] S. Ozkan-Kotiloglu, P. Arslan, G. Akca, and A. C. Gunal, "Are BPA-free plastics safe for aquatic life? - Fluorene-9-bisphenol induced thyroid-disrupting effects and histopathological alterations in adult zebrafish (*Danio rerio*)," *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 260, pp. 109419, 2022.

[107] M. H. Mostari, M. M. Rahaman, M. A. Akhter, M.H. Ali, T. Sasanami, and T. Tokumoto, "Transgenerational effects of bisphenol A on zebrafish reproductive tissues and sperm motility," *Reproductive Toxicology*, vol. 109, pp. 31-38, 2022.

[108] Molina, N. Abril, N. Morales-Prieto, J. Monterde, N. Ayala, A. Lora, and R. Moyano, "Hypothalamic-pituitary-ovarian axis perturbation in the basis of bisphenol A (BPA) reproductive toxicity in female zebrafish (*Danio rerio*)," *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 156, pp. 116-124, 2018

[109] S. Orn, S. Yamani and L. Norrgren, "Comparison of Vitellogenin Induction, Sex Ratio, and Gonad Morphology Between Zebrafish and Japanese Medaka After Exposure to 17 α -Ethinylestradiol and 17 β -Trenbolone," *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 51, pp. 237–243, 2006.

[110] C. Schuster, G. Z. P. Rodrigues, B. G. Zwetsch, A. L. H. Garcia and G. Gehlen, "17 α -Ethinyl estradiol induces behavioral and reproductive damages in zebrafish (*Danio rerio*)," *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, vol. 14, no. 1, pp. 59-64, 2019.

[111] P. Silva, M. J. Rocha, C. Cruzeiro, F. Malhãoa, B. Reis, R. Urbatzka, R. A. F. Monteiro, and E. Rocha, "Testing the effects of ethinylestradiol and of an environmentally relevant mixture of xenoestrogens as found in the Douro River (Portugal) on the maturation of fish gonads—A stereological study using the zebrafish (*Danio rerio*) as a model," *Aquatic Toxicology*, vol. 124–125, pp. 1–10, 2012.

[112] M. M. Cosme, A. L. Lister, and G. Van Der Kraak, "Inhibition of spawning in zebrafish (*Danio rerio*): Adverse outcome pathways of quinacrine and ethinylestradiol," *General and Comparative Endocrinology*, vol. 219, pp. 89–101, 2015.

[113] Luzio, S. M. Monteiro, S. Garcia-Santos, E. Rocha, A. A. Fontainhas-Fernandes, and A. M. Coimbra, "Zebrafish sex differentiation and gonad development after exposure to 17 α -ethinylestradiol, fadrozole and their binary mixture: A stereological study," *Aquatic Toxicology*, vol. 166, pp. 83–95, 2015.

[114] R. Yang, X. Wang, J. Wang, P. Chen, Q. Liu, W. Zhong, and L. Zhu, "Insights into the sex-dependent reproductive toxicity of 2-Ethylhexyl diphenyl phosphate on zebrafish (*Danio rerio*)," *Environment International*, vol. 158, pp. 106928, 2022.

[115] X. Hu, W. Li, F. Tian, Y. Wang, W. Song, R. Li, X. Ding, and T. Jin, "Study on the gonadal developmental toxicity of dibutyl phthalate in male zebrafish of F1 generation," *Journal of Hygiene Research*, vol. 39(2), pp. 231-234, 2010.

[116] P. Chen, S. Li, L. Liu, and N. Xu, "Long-Term Effects of Binary Mixtures of 17 α -Ethinyl Estradiol and Dibutyl Phthalate in a Partial Life-Cycle Test with Zebrafish (*Danio rerio*)," *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 34, no. 3, pp. 518–526, 2015.

- [117] J. Hu, K. Jiang, X. Tang, H. Liu, H. Zhang, X. Yang, X. Nie, and H. Luo, "Chronic exposure to di-n-butyl phthalate causes reproductive toxicity in zebrafish," *Journal of Applied Toxicology*, vol. 40(12), pp. 1694-1703, 2020.
- [118] H. Guo, S. Muhammad, Z. Zhang, and T. R. Pavas, "Combined exposure of di (2-ethylhexyl) phthalate, dibutyl phthalate, and acetyl tributyl citrate: Toxic effects on the growth and reproductive system of zebrafish (*Danio rerio*)," *International Journal of Environmental Science and Toxicology*, vol. 5 (1), pp. 154-162, 2016.
- [119] T. M. Uren-Webster, C. Lewis, A. L. Greforyi C. Paull, and E. M. Santos, "Mechanisms of toxicity of di(2-Ethylhexyl) phthalate on the reproductive health of male zebrafish," *Aquatic Toxicology*, vol. 99, pp. 360–369, 2010.
- [120] S. Santangeli, F. Maradonna, M. Zanardini, V. Notarstefano, G. Gioacchini, I. Forner-Piquer, H. Habibi, and O. Carnevali, "Effects of diisononyl phthalate on *Danio rerio* reproduction," *Environmental Pollution*, vol. 231, pp. 1051-1062, 2017.
- [121] B. Corradetti, A. Stronati, L. Tosti, G. Manicardi, O. Carnevali, and D. Bizzaro, "Bis-(2-Ethylhexyl) phthalate impairs spermatogenesis in zebrafish (*Danio rerio*) ," *Reproductive Biology*, vol. 13, pp. 195–202, 2013.
- [122] N. Hassanzadeh, "Histopathological Changes of Zebrafish (*Danio rerio*) Ovaries Exposed to Sub-lethal Concentrations of Methyl Paraben," *Journal of Aquatic Ecology*, vol. 6(3), pp. 75-83, 2016.
- [123] C. Hu, Y. Bai, J. Li, B. Sun, and L. Chen, "Endocrine disruption and reproductive impairment of methylparaben in adult zebrafish," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 171, pp. 113545, 2023.
- [124] S. Zucchi, S. Castiglioni and K. Fent, "Progesterone Alters Global Transcription Profiles at Environmental Concentrations in Brain and Ovary of Female Zebrafish (*Danio rerio*)," *Environmental Science and Toxicology*, vol. 47, pp. 12548–12556, 2013.
- [125] Y. Zhao, S. Castiglioni, and K. Fent, "Synthetic Progestins Medroxyprogesterone Acetate and Dydrogesterone and Their Binary Mixtures Adversely Affect Reproduction and Lead to Histological and Transcriptional Alterations in Zebrafish (*Danio rerio*)," *Environmental Science and Toxicology*, vol. 49, pp. 4636–4645, 2015.
- [126] Y. Q. Liang, Z. Jiang, C. G. Pan, Z. Lin, Z. Zhen, L. Hou, and Z. Dong, "The progestin norethindrone alters growth, reproductive histology and gene expression in zebrafish (*Danio rerio*)," *Chemosphere*, vol. 242, pp. 125285, 2020.
- [127] M. Teigeler, D. Schaudien, W. Böhmer, R. Länge, and C. Schäfers, "Effects of the Gestagen Levonorgestrel in a Life Cycle Test with Zebrafish (*Danio rerio*)," *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 00, no. 00, pp. 1–12, 2021.
- [128] W. J. Shi, Y. X. Jiang, G.Y. Huang, J. L. Zhao, J. N. Zhang, Y. S. Liu, L. Xie, and G. G. Ying, "Dydrogesterone causes male bias and accelerates sperm maturation in zebrafish (*Danio rerio*)," *Environmental Science and Toxicology*, vol. 52(15), pp. 8903-8911, 2018.
- [129] J. Jiang, L. Chen, X. Liu, L. Wang, S. Wu, and X. Zhao, "Histology and multi-omic profiling reveal the mixture toxicity of tebuconazole and difenoconazole in adult zebrafish," *Science of the Total Environment*, vol. 795, pp. 148777, 2021.
- [130] W. Y. Xiao, Y.W. Li, Q. L. Chen, and Z. H. Liu, "Tributyltin impaired reproductive success in female zebrafish through disrupting oogenesis, reproductive behaviors, and serotonin synthesis," *Aquatic Toxicology*, vol. 200, pp. 206-216, 2018.

[131] Y. Huang, J. Liu, L. Yu, C. Liu, and J. Wang, "Gonadal impairment and parental transfer of tris (2-butoxy ethyl) phosphate in zebrafish after long-term exposure to environmentally relevant concentrations," *Chemosphere*, vol. 218, pp. 449-457, 2019.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Plantago lanceolata L. Seed Coat Variation and Its Implications on the Usage of Seed Micromorphology Among Widespread Taxa

 Almıla ÇİFTÇİ

Department of Biology, Faculty of Science, İstanbul University, İstanbul, TÜRKİYE

Corresponding author's e-mail address: almila.ciftci@istanbul.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1144720

ABSTRACT

Seed coat micromorphology has been great help in systematic studies over the past century. It is useful in most plant groups, including the widespread taxa. Although phenotypic plasticity in plants is a well-known phenomenon, there are not many micromorphological studies investigating whether plants with wide distribution areas show variation in seed coat characteristics. *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae), as one of the most widespread *Plantago* taxa, is used in this study to investigate the presence of seed microsculpture variation among different populations. The seeds of 50 populations from across Turkey were analyzed using Stereomicroscope and SEM. Some seed surface characters of *P. lanceolata* were found to be consistent (cell shapes and anticlinal wall shapes), whereas others were variable (anticlinal walls, periclinal walls and surface sculpture). Irregularly wrinkled surface is reported in *P. lanceolata* seeds for the first time in this study. No correlation between geographical differences and seed characters were found. These results indicate that caution should be taken when dealing with widespread taxa with high levels of variation.

Keywords: Micromorphology, *Plantago*, SEM, Seed coat

Plantago lanceolata L. Taksonunda Tohum Kabuk Varyasyonu ve Bunun Yaygın Bitki Taksonlarında Tohum Yüzey Karakterlerinin Kullanımına Etkileri

ÖZ

Tohum kabuğu mikromorfolojisi, geçtiğimiz yüzyılda sistematik çalışmalara çok yardımcı olmuştur. Yaygın taksonlar dahil olmak üzere, çoğu bitki grubunda faydalı karakterler vermektedir. Bitkilerde fenotipik plastisite iyi bilinen bir kavram olmasına rağmen, geniş yayılış alanlarına sahip bitkilerin, tohum kabuğu karakterleri özelinde değişiklik gösterip göstermediğini araştıran çok fazla mikromorfolojik çalışma bulunmamaktadır. En yaygın sinirliot türlerinden biri olan *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae), bu çalışmada farklı popülasyonlar arasında tohum mikromorfolojisinde varyasyonun varlığını araştırmak için seçilmiştir. Türkiye genelinden 50 popülasyonun tohumları ışık mikroskobu ve tarama elektron mikroskobu kullanılarak analiz edildi. *P. lanceolata*'nın bazı tohum yüzey karakterlerinin tutarlı olduğu (hücre ve antiklinal duvar şekilleri), diğerlerinin ise değişken olduğu (antiklinal duvarlar, periklinal duvarlar ve yüzey özellikleri) tespit edilmiştir. *P. lanceolata* tohumlarında düzensiz buruşuklara sahip yüzey özelliği, ilk kez bu çalışmada rapor edilmiştir. Coğrafi

farklılıklar ile tohum karakterleri arasında bir ilişkiye ise rastlanmamıştır. Bu sonuçlar, yüksek düzeyde varyasyona sahip yaygın taksonlarla tohum mikromorfolojisi çalışılırken dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikromorfoloji, *Plantago*, SEM, Tohum kabuğu

I. INTRODUCTION

Plantago L. (Plantaginaceae) taxa, like many others, have been subject to a number of seed micromorphology studies. Among these taxa, *Plantago lanceolata* L. is one of the most geographically widespread and popular subjects for study. It is economically important for medicinal uses [1]. Both natural and naturalized populations contribute to its wide distribution around the world. *Plantago lanceolata* may be considered a successful weed as it can adapt to a variety of environmental conditions. Its wide distribution and adaptability have resulted in wide phenotypic variation. Thus, it has been subject to numerous studies on plasticity [2-5].

Phenotypic plasticity is an organism's response to environmental conditions through changes in its phenotype. It has long been known that the growth habit of *P. lanceolata* is highly variable, and most of its vegetative and reproductive traits vary in parallel [6].

The seeds of some *Plantago* taxa are important sources of medicine [7-9], as well as cosmetics and nutrition [10]. It is of vital importance to correctly identify plants when it comes to ethnobotanical uses. However, information on *Plantago* seed characteristics in literature vary as much as the *Plantago* itself [11]. This is probably due to the wide distribution and high adaptability of some widespread plantains.

Seed surface micromorphology is considered a good character in the majority of plant groups and has found wide usage in systematic studies. Micromorphological studies on the seeds of various *Plantago* taxa have been carried out in recent years [12-15]. All of these studies found seed microsculpture to be useful in systematics but none of them mentioned variation of this trait within or between populations.

The aim of this study is to understand the limits of plasticity of seed surface sculpture characteristics using herbarium specimens collected throughout Turkey and to provide insight into the usage of seed micromorphology in systematic studies within widespread taxa.

II. MATERIAL AND METHODS

A. PLANT MATERIAL

The plant material used in this study was taken from the collection of Istanbul University Science Faculty Herbarium (ISTF). Plants were collected from across Turkey in 1941-2002. 50 specimens with mature seeds in good condition were selected for use in this study and two seeds were taken from each specimen. Detailed information on specimens is given in Table 1.

Table 1. Collection information of the specimens examined in this study.

ISTF No	Location	Habitat and altitude	Date	Collector
1102	Kayseri		2.8.1941	A. Heilbronn, M. Heilbronn
15794	İstanbul: Kilyos		24.6.1956	B. Tutel
22329	İstanbul: Tuzla	roadside	30.6.1967	R. Bulut

22343	Tekirdağ: Marmara Ereğlisi		1.7.1969	G. Sanlı
22528	Balıkesir: Edremit, Akçay	seaside, sea level	6.8.1967	B. Tutel
22686	Kocaeli: Bayramoğlu-Çayırova	field edge	23.8.1967	B. Tutel, A. Aydın, R. Bulut
22829	İstanbul: Bostancı-Altın-tepe	roadside	30.10.1967	A. Aydın
23330	Tekirdağ: Barbaros, Kumbağ	roadside	1.8.1968	R. Bulut
23390	Konya: Beyşehir-Avşar gardens	damp places	18.8.1968	R. Yiğit
23402	İstanbul: Yalova	seaside, sea level	29.8.1968	B. Tutel
23867	Adana: Feke, around Çardak	roadside, field edge, 736 m	25.6.1969	A. M. Eld.
23964	Trabzon: Akçaabat-Başıküzü	hills, 20 m	1.7.1969	H. Demiriz
24068	Antalya: Güzeloba	damp places, 18 m	5.7.1969	G. Kaynak
24086	İzmir: Kemalpaşa, Bornova	roadside	6.7.1969	H. Demiriz
24291	Rize: İyidere, Fethiye	field edge, 50 m	21.7.1969	A. Çırpıcı
24302	Rize: İyidere, Fethiye, Çanakçeşme valley	250 m	21.7.1969	A. Çırpıcı
24370	İstanbul: Levent, Sarıyer, Etiler	field edge	29.7.1969	B. Tutel
24431	Erzurum: Palandöken, mouth of Kırkdeğirmen river	stony roadside, 2230 m	3.8.1969	H. Demiriz, O. Özbay, S. Özyurt
24592	İstanbul: Silivri, Semizkum	20 m	20.8.1969	H. Demiriz
24608	İstanbul: Sarıyer, Bahçeköy, Forestry Faculty	meadow	4.9.1969	H. Demiriz, B. Tutel, S. Özyurt
24610	İstanbul: Sarıyer, Bahçeköy, Neşet suyu	meadow	4.9.1969	H. Demiriz, B. Tutel, S. Özyurt
24617	İstanbul: Sarıyer, Kemerburgaz- Ayazaga, Cendere valley	roadside, field edge	4.6.1969	B. Tutel, S. Özyurt, H. Demiriz
24618	İstanbul: Sarıyer, Kemerburgaz- Ayazaga, Cendere valley	roadside field side	4.9.1969	H. Demiriz, B. Tutel, S. Özyurt
25042	İstanbul: Kadıköy, Selamicesme- Ciftehavuzlar	damp places	27.7.1970	A. Aydın
25588	Düzce: Gümüşova, Cukuralan	damp places	21.6.1971	M. Tüzün
26417	Kocaeli: İzmit-Golcuk	roadside, field edge	25.6.1972	B. Tutel
26553	İstanbul: Şile, around Fener	hills	28.7.1972	B. Tutel, A. Aydın, İ. Delice
26612	İstanbul: Kartal, Aydos, S. facing slopes	meadow, 450 m	16.8.1972	İ. Delice
26659	İstanbul: Florya	seaside, 10 m	29.8.1972	B. Tutel
27342	Bitlis: Tatvan, Kirkor mountain S slopes	hills, 1900 m	18.7.1973	H. Pesmen
27399	Samsun: Terme, Unye	roadside	10.8.1973	N. Tutel
28239	Rize: İyidere, Fethiye Mah.		28.9.1974	A. Çırpıcı, İ. Delice
28317	Erzurum: Tortum, Kaledibi, Tortum river valley		1.10.1974	H. Demiriz, A. Çırpıcı, İ. Delice
29739	Kayseri: Bünyan-Pınarbaşı, Pazarören road fork	dry meadow	14.7.1976	A. Çırpıcı
29807	Bingöl: Yolçatı, Bilaloğlu	stony roadside, 1570 m	17.7.1976	H. Demiriz, B. Tutel, A. Çırpıcı
29913	Bitlis: Tatvan, Küçüksu-Gevas, Van Lake S shore	stony roadside, 1630 m	19.7.1976	B. Tutel, H. Demiriz

30008	Diyarbakır: Lice, Hazro, Uzunargit, Değirmen	damp places, 890 m	3.8.1976	S. Alakuş, H. Demiriz, H. Olgaç
32126	Nigde: Aksaray, Hamidiye		22.6.1978	T. Altug
32660	Kütahya: Gediz, Murat Mountain			A. Çırpıcı
32724	Edirne: Enez, University Camp	damp places	19.8.1978	T. Çelebioglu, T. Altuğ
35936	Denizli: Pamukkale	meadow	13.8.1991	B. Tutel
35942	Edirne: Keşan, Erikli köyü, Yali mv.	roadside, field edge, sea level	23.8.1991	B. Tutel
35985	Aksaray: Güzelyurt, Ihlara valley	meadow, 1271 m	29.10.1991	S. Kuş
36101	Antalya: Beydağları, Tünektepe	roadside, field edge, 670 m	3.6.1993	B. Tutel
36182	Amasya: Taşova, Borabay lake, S slope	dry hills, 1080 m	7.8.1993	E. Üzen
36440	Eskişehir: Kümbet, Yazılıkaya		15.7.1994	E. Üzen
36454	Afyon: Çay, Doğanköy, Eber lake	damp places, 994 m	16.7.1994	E. Üzen, F. Kurt
36473	Antalya: Manavgat	damp places, 20 m	25.7.1994	E. Üzen
37026	İstanbul: Kıraç, Bahçeşehir, W slopes	50 m	4.7.1997	E. Üzen, S. Kuş
40641	İstanbul: Süleymaniye, Botanical Garden		18.6.2002	E. Üzen

B. MACROMORPHOLOGY

Seed photos were taken with Olympus SZX7 stereomicroscope connected to a Canon DSLR camera. Measurements were made using Kameram v3.1 software.

C. SURFACE MICROMORPHOLOGY

Seeds were cleaned with a soft brush dipped in 70% ethanol and air dried before fixing them dorsal side up on aluminum stubs with double-sided carbon tape. They were then coated with gold-palladium for 45 seconds using a EmiTech Sputter Coater. They were examined and photographed with Jeol Benchtop SEM at 100x, 300x, 1000x and 3000x magnifications.

III. RESULTS

The seeds of the studied populations are between 1.55-2.49 (average 2.07 ± 0.25) mm in length and 0.69-0.34 (average 2.07 ± 0.25) mm in width. The length to width ratio is 0.3-0.7 (avg. 0.5). Color varies from brown to almost black (Figure 1).

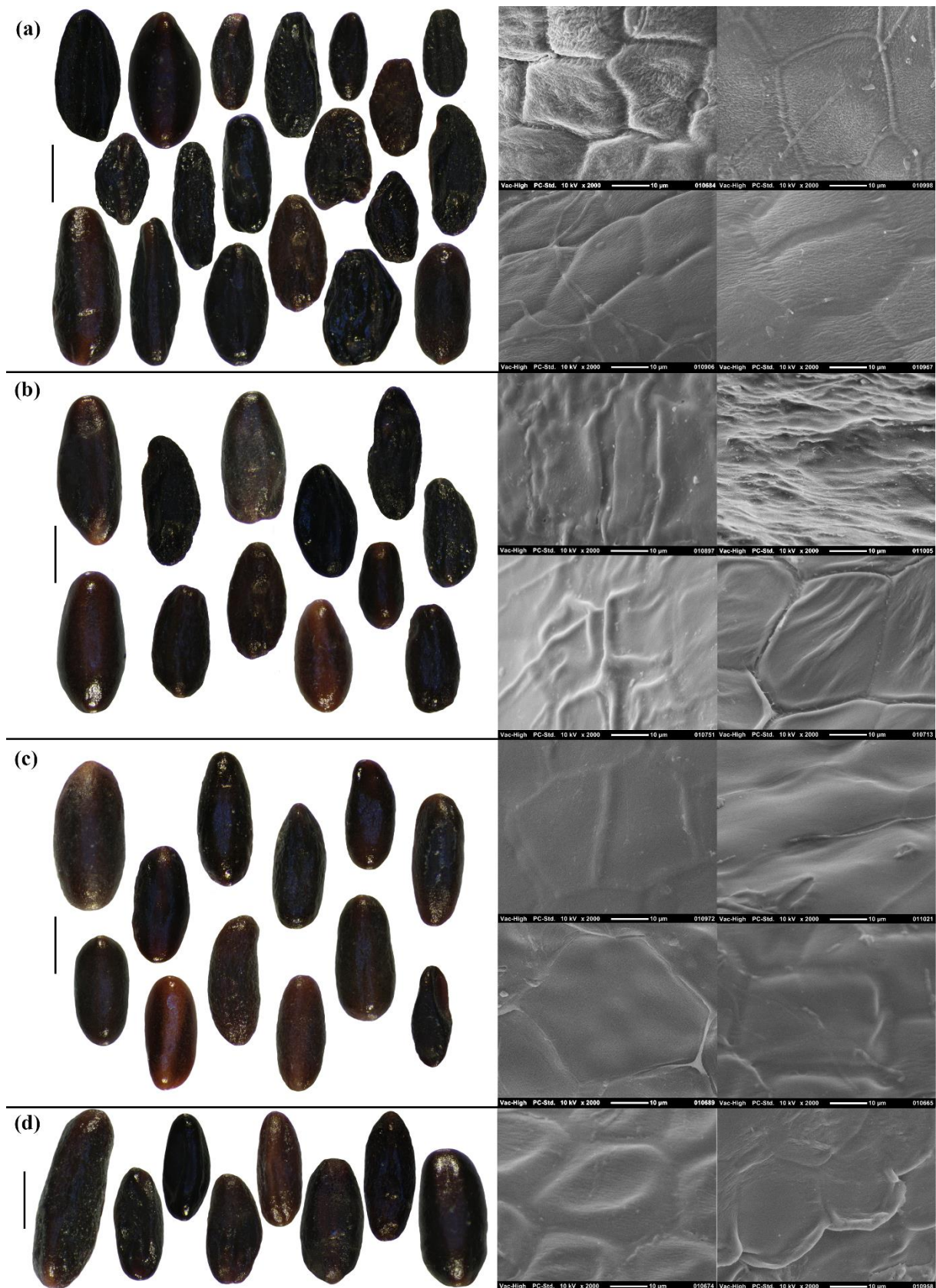


Figure 1. Seed macro- and micromorphological variation. Left column shows stereomicroscope photos of studied seeds (the scale bar is 1 mm) and right column shows examples of seed surface characteristics. (a) Seeds with reticulate seed surface (b) Seeds with irregularly wrinkled seed surfaces (c) Seeds with smooth seed surface (d) Seeds with slightly rugose seed surface.

Seed surface microstructure is variable; however, cell and anticlinal wall shapes are invariably isodiametric and straight, respectively. Anticlinal wall levels are raised or grooved, with grooved being the more dominant characteristic found in 78% of the seeds. Periclinal walls are flat (68%), convex (20%) or concave (12%). Seed surface ornamentation is reticulate, irregularly wrinkled, smooth or slightly rugose. The most frequently observed surface ornamentation types for *P. lanceolata* seeds are reticulate (Figure 1 a) and irregularly wrinkled (Figure 1 b) surfaces. Smooth (Figure 1 c) and slightly rugose (Figure 1 d) surfaces are the other two surface ornamentation observed. Despite the fact that the irregularly wrinkled surface has not previously been reported, it was commonly observed in this study. Although surface characteristics varied between populations, no correlation was detected in relation to geographic distribution or habitats (Figure 2).

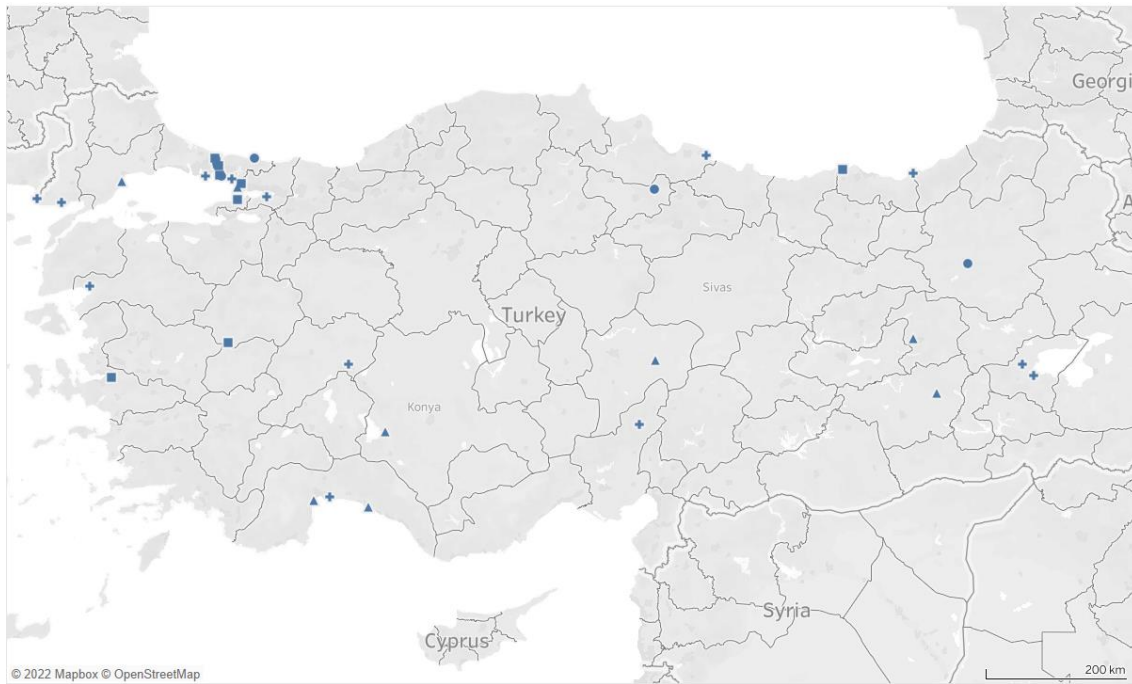


Figure 2. Distribution map of the populations studied. The shapes indicate surface sculpture (square: irregular wrinkles; cross: reticulate; round: slightly rugose; triangle: smooth). The map was created with Tableau public v.2022.1.1.

IV. DISCUSSION

Previous studies on *Plantago* seed micromorphology have generally found *P. lanceolata* seed coat structure to be reticulate. Although the terminology differs between literature, the surface characteristics are similar but not exactly the same as those of other studies. Surface characteristics similar to those of the current study were described by Shehata & Loutfy [13], Klimko *et al.* [14] and Jun-Zhe *et al.* [15] as “scalariform to reticulate,” “reticulate” and “reticulate,” respectively. This is the most common surface type of *P. lanceolata* (41% of all 50 studied populations) found in the current study. The other common surface type in previous studies is smooth [12, 16], which was found in about 25% of populations studied here. Although *P. lanceolata* seeds with irregular wrinkles had a high rate of occurrence (20% of the populations), such ornamentation has not been reported in previous studies. The surface termed “slightly rugose” in this study has a frequency of 14%, and is similar in appearance to a *P. lanceolata* surface in another study [17], where it was described as “negative reticulate”.

This study shows that seed coat characteristics in *P. lanceolata* vary in anticlinal and periclinal wall levels as well as surface sculpture. Although this is an expected outcome, the surface sculpture showed no correlation between habitats, altitude, collection dates or location of the plants. However, a previous study [3] has shown that in *P. lanceolata*, lighter or darker flowers are formed depending on the

temperature, and by doing so they can control the embryonic development of their offspring. Similarly, although effects of temperature or other ecological factors on seed surface properties have not yet been studied, it may have an effect on seed surface micromorphology considering high plasticity of *P. lanceolata*. However, a detailed study with more precise ecological parameters and thorough sampling would be needed to draw a solid conclusion.

This may be considered a preliminary study due to its limited geographical range and lack of intra-population comparison. However, it is clear that there is considerable variation between seed surfaces of different populations of *P. lanceolata*, therefore caution should be taken when using seed coat characters in systematic work in the case of widespread taxa with high morphologic variation.

ACKNOWLEDGEMENTS: I would like to thank the curator of ISTF for providing the specimens for this study. I also would like to thank Rachel Mollman for reading carefully the initial manuscript.

V. REFERENCES

- [1] F. Özgökçe and H. Özçelik, “Ethnobotanical aspects of some taxa in East Anatolia, Turkey,” *Economic Botany*, vol. 58, no. 4, pp. 697–704, 2004.
- [2] K. A. Young and J. Schmitt, “Genetic variation and phenotypic plasticity of pollen release and capture height in *Plantago lanceolata*,” *Functional Ecology*, vol. 9, no. 5, pp. 725–733, 1995.
- [3] E. P. Lacey and D. Herr, “Phenotypic plasticity, parental effects, and parental care in plants? I. An examination of spike reflectance in *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae),” *American Journal of Botany*, vol. 92, no. 6, pp. 920–930, 2005.
- [4] V. Latzel, Š. Janeček, J. Doležal, J. Klimešová and O. Bossdorf, “Adaptive transgenerational plasticity in the perennial *Plantago lanceolata*,” *Oikos*, vol. 123, no. 1, pp. 41–46, 2014.
- [5] M. M. Marshall, L. C. Batten, D. L. Remington and E. P. Lacey, “Natural selection contributes to geographic patterns of thermal plasticity in *Plantago lanceolata*,” *Ecology and evolution*, vol. 9, no. 5, pp. 2945–2963, 2019.
- [6] P. H. Van Tienderen and A. Van Hinsberg, “Phenotypic plasticity in growth habit in *Plantago lanceolata*: how tight is a suite of correlated characters?,” *Plant Species Biology*, vol. 11, no. 1, pp. 87–96, 1996.
- [7] D. Tewari, N. Anjum and Y. C. Tripathi, “Phytochemistry and pharmacology of *Plantago ovata*: a natural source of laxative medicine,” *World Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 3, no. 9, pp. 361–372, 2014.
- [8] M. B. Adom, M. Taher, M. F. Mutalabisin, M. S. Amri, M. B. A. Kudos, M. W. A. W. Sulaiman, P. Sengupta and D. Susanti, “Chemical constituents and medical benefits of *Plantago major*,” *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 96, pp. 348–360, 2017.
- [9] D. F. Huang, M. Y. Xie, J. Y. Yin, S. P. Nie, Y. F. Tang, X. M. Xie and C. Zhou, “Immunomodulatory activity of the seeds of *Plantago asiatica* L.,” *Journal of ethnopharmacology*, vol. 124, no. 3, pp. 493–498, 2009.
- [10] E. Weryszko-Chmielewska, A. Matysik-Wozniak, A. Sulborska and R. Rejdak, “Commercially important properties of plants of the genus *Plantago*,” *Acta Agrobotanica*, vol. 65, no. 1, pp. 11–20, 2012.

- [11] I. Camelia, "Contributions to the seeds' study of some species of the *Plantago* L. genus," *Journal of Plant Development*, vol. 20 pp. 35–43, 2013.
- [12] A. Çiftçi and O. Erol, "Micromorphological studies on inflorescence and seeds of some plantain (*Plantago* L.) taxa in Turkey," *Biologica Nyssana*, vol. 11, no. 2, pp. 85–91, 2020.
- [13] A. A. Shehata and M. H. A. Loutfy, "On the taxonomy of Plantaginaceae Juss. sensu lato: Evidence from SEM of the seed coat," *Turkish Journal of Botany*, vol. 30, no. 2, pp. 71–84, 2006.
- [14] M. Klimko, K. Idzikowska, M. Truchan and A. Kreft, "Seed sculpture of Polish species of the genus *Plantago* L.," *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, vol. 73, no. 2, pp. 103–111, 2004.
- [15] L. Jun-Zhe, Z. Qing-Min, G. Shu-Hua and Z. Xing-Di, "Seed morphology of *Plantago* in China and its taxonomic significance," *Journal of Systematics and Evolution*, vol. 30, no. 2, pp. 118–125, 1992.
- [16] A. K. Verma, N. Gautam and K. A. Bharti, "Macro-and micro-morphological characteristics of *Plantago* seeds and its implication for species identification," *Current Botany*, vol. 8, pp. 159–163, 2017.
- [17] T. Hoghoughi, A. Jafari and H. Mahmoodzadeh, "Palynological and seed micromorphological studies on *Plantago* L. species in northeastern of Iran," *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 133–138, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

MgAlSi Üçlü Alaşımının Üretimi ve in-vitro biyo Uyumluluk İncelemesi

 Yusuf SAĞIR ^a,  Hanife ÇAKAL ^a,  Esmâ ELMACI ^a,  Bünyamin ÇİÇEK ^{b,*}

^a Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Hitit Üniversitesi, Çorum, TÜRKİYE

^b Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Hitit Üniversitesi, Çorum, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: * bunyamincicek@hitit.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1164231

ÖZ

Bu çalışmada biyo uyumlu Mg metali ile birlikte Al ve Si elementlerini içeren bir alaşım üretilmiştir. Üretim işlemi indüksiyon ocağında ergiterek yapılmıştır. MgAlSi üçlü alaşımı üretim sonrasında 350C/12 saat homojenleştirme ısıl işlemine alınmıştır. Elde edilen numunelere mikro yapı incelemesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Biyo uyumluluk incelemeleri için daldırma korozyon, potansiyodinamik korozyon ve sitotoksisite (MTT) olmak üzere 3 farklı test ile uygulanmıştır. Korozyon testleri Hank's solüsyonu içerisinde gerçekleştirilmiştir. pH dengesi ve % canlılık oranı analizleri ile temel biyoyuyluluk şartlarını taşıdığı sonucuna varılmıştır. Böylece yapının biyo malzeme olarak kullanımı tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mg alaşımı, Biyo uyumluluk, Sitotoksisite, Korozyon

Production of MgAlSi Ternary Alloy and in-vitro bio Compatibility Investigation

ABSTRACT

In this study, an alloy containing Al and Si elements together with biocompatible Mg metal was produced. The production process was made by melting in an induction furnace. MgAlSi ternary alloy was subjected to 350C/12h homogenization heat treatment after production. Scanning electron microscope (SEM) was used to examine the microstructure of the obtained samples. For biocompatibility studies, it was applied with three different tests: immersion corrosion, potentiodynamic corrosion and cytotoxicity (MTT). Corrosion tests were carried out in Hank's solution. It has been concluded that it meets the basic biocompatibility conditions with pH balance and % vitality analysis. Thus, the use of the structure as a biomaterial is discussed.

Keywords: Mg alloy, Biocompatibility, Cytotoxicity, Corrosion

I. GİRİŞ

Magnezyum (Mg) hafifliğin önem arz ettiği çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu yanı sıra diğer elementlerle alaşım yapıldığında Mg mekanik, korozif ve termal deneylerde başarılı sonuçlar vermektedir. Mg ayrıca vücutta ise bir enzim üretimi tetikleyicisi ve kuvvetli bir mineraldir. Bu yüzden son yıllarda biyoçözünebilir biyo-malzeme çalışmalarında çok sık kullanılmaktadır [1]-[4].

Alaşımın belli kurallara göre üretilmekte ve bu aşamada faz denge diyagramları dikkate alınmaktadır. İkili alaşımlar çok yaygın olmasına rağmen üç ve daha fazla bileşenli alaşımlarda literatürde yerini almaktadır. Katı çözümlerde birbiri içerisinde çözünen elementler yeni fazlar ve bileşikler ortaya çıkarmaktadır. Bu yeni fazlar intermetalikler olarak isimlendirilmektedir. İntermetalikler ana elementin birçok özelliğine katkıda bulunmaktadır [5]-[9].

Mg elementi ile faz oluşturduğunda yeni bir bileşik ortaya çıkaran başta Alüminyum (Al) ve diğer elementler önceki özelliklerini kaybetmektedir. Ana element olan Mg etkisiyle Al bulunan bileşikler ve fazlar da toksin etkiye sebep olmamaktadır. Bu yüzden toksin olarak raporlanan Al ve Silisyum (Si) gibi elementler bu aşamalarda kullanılmaktadır. Örneğin Mg-Al arasında oluşan $Mg_{17}Al_{12}$ fazı ve Mg-Si arasında meydana gelen Mg_2Si partikülü bunlara başlıca örneklerdir. Böylece Mg alaşımlarının kullanım alanları genişlemektedir [9]-[13].

Korozyon deneyleri malzemelerin ömürlerini tayin etmek amacıyla hızlandırılmış süreçlerden oluşmaktadır. Uygulanabilir birçok yöntemi olsa da en çok kullanılanlar arasında daldırma ve elektrokimyasal korozyon yöntemleri bulunmaktadır. Daldırma korozyon testinde belirli bir solüsyon içerisinde bir süre bekletilen numunelerin ağırlık kaybı ve yüzey durumu incelenmektedir. Elektrokimyasal korozyon yöntemlerinde ise üzerinden bir elektrik akımı geçirilen numuneden ayrılan iyonlar bir referans elektrot ile toplanmaktadır. İyon yoğunluğu, akım farkı vb. gibi değerlerin analizi ile korozyon direnci hesaplanabilmektedir [1], [7], [13]-[16].

Bu çalışmada döküm yöntemi ile MgAlSi alaşımı üretilmiştir. Bu çalışmanın amacında standart dışındaki bir Mg alaşımının biyoçözünebilir biyo-malzeme olarak kullanılma düşüncesi vardır. Elde edilen numuneler alaşımın faz dağılımı için temel mikro yapı incelemesine alınmıştır. Çalışmanın amacını barındıran süreçte numuneler biyo-uyumluluk testlerine tabi tutulmuştur. Yapay vücut solüsyonu olan Hank's solüsyonunda 48 saat süren daldırma korozyon yapılmıştır ve ağırlık kaybına bağlı korozyon hızı elde edilmiştir. Aynı solüsyonda elektrokimyasal potansiyodinamik korozyon testi oda sıcaklığında uygulanmıştır. Son olarak numuneye ilgili standartlara uygun olarak akredite laboratuvarında sitotoksitesite testi uygulanmıştır. Sitotoksitesite testi sonucunda elde edilen % canlılık değeri ile in-vitro süreçte malzemenin biyoyuumluluk yorumları yapılmıştır. İncelemeler ve tartışmalar sonrasında MgAlSi alaşımının temel sonuçlarla bir biyo malzeme olarak kullanılabilmesi fikri elde edilmiştir.

II. MALZEME ÜRETİMİ VE DENEY YÖNTEMLERİ

A. MALZEME ÜRETİMİ

MgAlSi alaşımı atmosfer kontrollü bir fırında 750°C sıcaklıkta üretilmiştir. Mg elementi saf külçe olarak kullanılırken Al ve Si elementleri $Al_{12}Si$ ingot alaşımında kullanılmıştır. Alaşıma %90 Mg ve %10 $Al_{12}Si$ ingotu kullanılmıştır. Sıvı metal çelik kalıba dökülmüş ve oda sıcaklığına kadar katılaşması beklenmiştir. Döküm sırasında kalıp ani soğumanın önüne geçebilmek adına 300°C ön ısıya tabi tutulmuştur. Üretim sonrasında alaşım 350°C/12 saat şartlarında homojenleştirme tavlmasına alınmıştır. Sonrasında klasik metalografik hazırlıklar sonrasında numuneler Picral re-aktif ile dağlanmıştır. Mikro yapı incelemesi için Zeiss marka SEM mikroskobu kullanılmıştır. SEM analizinde ayrıca EDX incelemesi de uygulanmıştır. Mikro yapıda bulunan fazların daha anlaşılabilir takibi için

görüntü işleme yapılmış ve Image-J programı kullanılmıştır. Numuneye ayrıca elementel analizin takibi için XRF (Rigaku) analizi uygulanmıştır.

B. BİYO KOROZYON UYGULAMALARI VE SİTOTOKSİSİTE TESTİ

MgAlSi alaşımı numune hazırlama işlemi sonrasında ilk olarak toplamda 48 saat süren bir daldırma korozyon testine alınmıştır. Deney sırasında Tablo 1’de içeriği verilen yapay vücut solüsyonu olan Hank’s sıvısı kullanılmıştır. Deneyde 48 saat içerisinde 5 kez (0-4-12-24-48) ağırlık ölçümü yapılmıştır. Ek olarak pH ölçümü de her aşamada yapılmıştır. Deneyde numuneler 20 mm çapta ve 10 mm kalınlıkta işleme alınmıştır. Solüsyon içerisinde askıda bırakabilmek adına numunelerin ortaları delinmiştir. Deney sonucunda ağırlık kaybına bağlı korozyon hızı rapor edilmiştir. Aynı zamanda deney sonrası numuneler makro fotoğraf çekimi ile incelenmiştir.

Tablo 1. Hank’s solüsyonu bileşenleri.

Hank’s Solüsyonu	gr / L
NaCl	8
KCl	0.4
CaCl ₂	0.14
Na ₂ HPO ₄ -7H ₂ O	0.09
MgSO ₄ -7H ₂ O	0.2
NaHCO ₃	0.35
KH ₂ PO ₄	0.06
C ₆ H ₁₂ O ₆	1
Distile su	Kalan

MgAlSi alaşımı için ikinci aşamada potansiyodinamik korozyon deneyi Hank’s solüsyonu (Tablo 1) içerisinde Gamry marka cihazda uygulanmıştır. Deneyde 1000mV/dakika tarama hızında -1500 mV seviyesine kadar analiz yapılmıştır. Deney sonucunda Tafel eğrisi, I_{CORR} ve E_{CORR} değerleri elde edilmiştir. Literatüre bağlı kalarak elektrokimyasal korozyon oranı hesaplanmıştır [9], [17], [18].

Sitotoksosite testi malzemelerin çözündürülme ve özütleme işlemleri sonucunda % canlılık oranı üzerinden uygulanmaktadır. Böylece % canlılık oranına göre malzemenin biyo uyumluluğu elde edilmektedir. Bu çalışmada sitotoksosite testi için TS EN ISO 10993-12 standardı çerçevesinde [19] akredite deney yapabilen Hitit Üniversitesi HÜBTUAM laboratuvarları kullanılmıştır. Deney sonucunda % canlılık değerleri ve preparat görüntüleri sunulmuştur. Deney detayları aşağıda listelenmiştir [16].

Kullanılan Kimyasallar: L929 fibroblast hücresi kullanılmıştır. Hücrelerin komplet (tam) kültür ortamı olarak %89 DMEM (Biological Industries), %10 Fetal Bovin Serum (FBS; Biological Industries), %1 L-glutamin (Biological Industries), %1 Penisilin/Streptomisin (Capricorn) antibiyotiği kullanılmıştır. Hücrelerin bulunduğu kültür flasklarından uzaklaştırılması için %0,05 Tripsin-EDTA solüsyonu (Tripsin-Etilendiamin tetraasetik asit), yıkama ve temizleme işlemleri için konsantrasyonu 1X olan Kalsiyum/Magnezyum içermeyen fosfat tamponu (PBS) kullanılmıştır. Hücre sayımı için tripan mavisi kullanılmıştır (1/1 oranında). Sitotoksosite testinde tetrazolyum tuzu olan MTT (serva, israel) kimyasalından yararlanılarak hücre canlılığı tespit edilmiştir. Hücre kültür çalışmalarının tamamı; serolojik pipetler, kültür kapları ve çoklu kuyucuklu plakalar (Corning, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Hücre Kültürü: Donmuş haldeki hücreler 37°C’de kısa sürede çözüldü. Steril Class II Laminar flow kabin içerisinde çözülen hücreler 15 mL’lik falkon tüpe aktarıldı. Falkon 250 G’de 5 dakika santrifüj işlemi yapıldı. Falkona 3 mL komplet kültür ortamı konuldu ve homojen hale getirildikten sonra 25cm²’lik flaslara ekim yapıldı. Flasklar 37°C’de % 5 CO²’li inkübatörde inkübasyona bırakıldı. Dondurucudan alınan hücrelerin hücre çoğalma döngüsü sabitlenene kadar pasajlandı.

Numunelerin Hazırlanması: Biyomalzeme ve tıbbi cihazların doğrudan uygulanması mümkün olmadığı durumlarda malzeme özütü hazırlamak gerekmektedir. TS EN ISO 10993-12:2021 “Biological evaluation of medical devices-Part 12:Sample preparation and reference materials” de belirtilen şekilde numuneden özütleri hazırlandı. Hazırlanan özütler uygun şekilde steril edildikten sonra uygulama işlemine alındı.

Sitotoksosite Testi (MTT) : Malzemelerin hücre canlılıkları üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu deney yöntemi için tıbbi malzemelere referans olan (EN ISO 10993-5: Biological evaluation of medical devices - Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity) standartta geçen MTT yöntemi standartta belirtilen şekilde uygulandı. Bu test yönteminde 96 kuyucuklu plakalar kullanıldı. Hücre sayımından sonra canlı hücre sayısına göre her kuyucukta 10x10³ hücre olacak şekilde hesaplama yapıldı. Plakada her kuyucuğa 100µl tam besi yeri içerisinde hücre koyuldu ve 24 saat süre ile inkübasyona bırakıldı. 24 saat sonunda hücrelerin plaka yüzeyine tutunup tutunmadığı, morfolojik görüntüleri ve canlılık durumları kontrol edildi. İncelenen kriterlere uygunluk sağladığı tespit edilen kuyucuklardaki medyum boşaltıldı. Hazırlanan numune özütleri tam konsantrasyondan (1/1) başlayarak ve seri dilüsyon yapılarak 5 farklı konsantrasyonda uygulandı (1/1-1/16). Negatif kontrol grubuna sadece kültür ortamı konuldu. Hücreler üzerine uygulaması gerçekleştirilen malzemeler ile 24 saat inkübe edildi. İnkübasyon sonunda plakalardaki medyum ortamdan uzaklaştırıldı ve MTT (1mg/mL) solüsyonu 50 µl olacak şekilde kuyucuklara eklendi. 37°C’de 2-2,5 saat inkübe edilmesini takiben kuyucuklardaki MTT solüsyonu boşaltıldı ve üzerine 100 µl MTT çözücüsü (izopropanol) eklendi. Hücre canlılığının tespiti için 96 kuyucuklu plakanın absorban yoğunluk değerleri multiplaka plate okuyucuda 570 nm’de okundu. Her grubun hücre canlılığı yüzdesi, kontrol hücresi canlılığı %100 kabul edilerek aşağıdaki denkleme göre yapıldı.

Hücre canlılığı % = Optik Yoğunluk, OD570 (numune) / Optik Yoğunluk, OD570 (kontrol) x 100

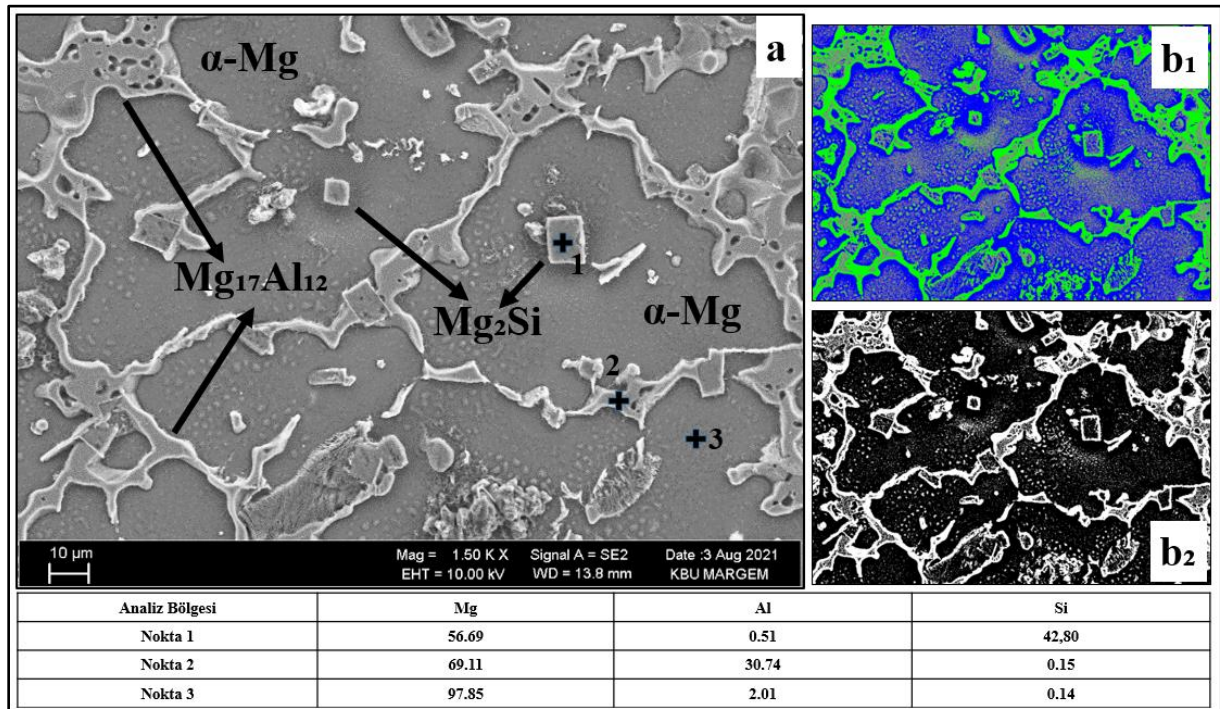
III. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Döküm yöntemiyle üretilen alaşımın elementel analizi için uygulanan XRF sonuçları Tablo 2’de listelenmiştir.

Tablo 2. MgAlSi alaşımı XRF analizi.

Elementler	Ağırlıkça %
Al	9,85
Si	1,21
Pb	0.04
Ag	0.06
Au	0.01
P	0.10
Ca	0.12
Diğer	0,19
Mg	Kalan

Alaşıma uygulanan XRF analizinde planlanan elementel oranlar sağlanmıştır. MgAlSi alaşımı ile oluşturulan numune ilk olarak SEM ortamında incelenmiştir. Numuneden elde edilen SEM görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. SEM mikro yapısının görüntü işleme analizi sonucunda oluşan veriler resimde belirtilmiştir. Ayrıca farklı yapılardan elde edilen EDX analizleri resimde listelenmiştir.

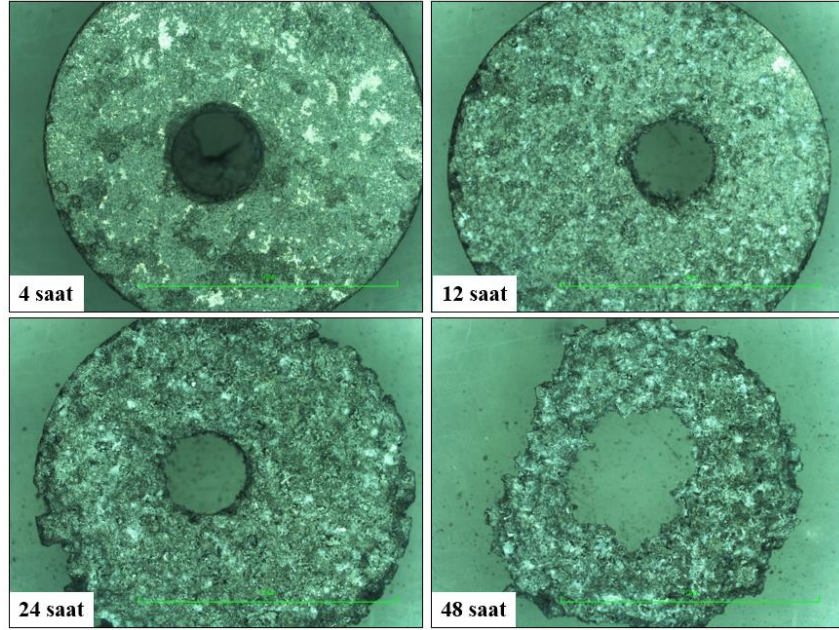


Şekil 1. (a) Temel mikro yapı, (b₁₋₂) Görüntü işleme analizi ve EDX sonuçları.

Temel SEM görüntüsü (a) incelendiğinde 3 temel faz formasyonu izlenmektedir. Bunlar; ana matris yapıyı oluşturan α -Mg, Mg-Si arasında oluşan Mg_2Si seramik partikülü ve bir Mg-Al bileşiği olan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik yapısıdır. Faz yapıları EDX analizleri ile desteklenmiş ve alaşım kimyasal oranları tespit edilmiştir. Mg-Al-Si alaşımında oluşan fazlar literatürle tutarlılık göstermiştir [9], [11], [13], [15].

Mikro yapı ise Image-J görüntü işleme sonuçlarına (10 farklı resim) göre ortalama %30 kadar intermetalik yapı içermektedir.

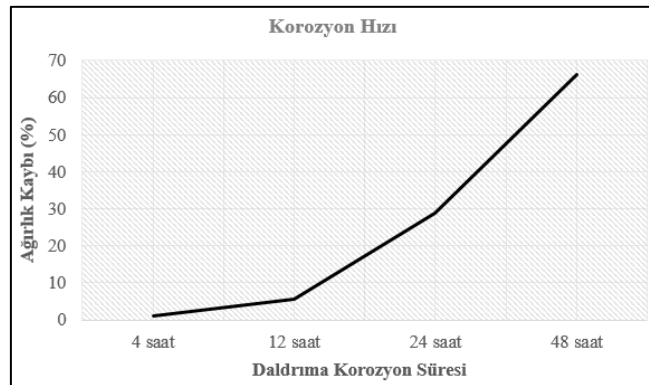
Daldırma korozyon sonucunda elde edilen numunelere ait makro görüntüler Şekil 2’de verilmiştir. Ayrıca deney sırasında ölçülen ağırlık kayıplarına bağlı olarak çizilen korozyon hızı grafiği Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Daldırma korozyon sonrası numunelerin makro resimleri.

Daldırma korozyon sonrası elde edilen numuneler Şekil 2’de izlenmektedir. 4 saat numunesinde yer yer korozif bölgeler oluşsa da geometrik formunu korumuştur. Ancak daldırma süresi arttıkça malzemede korozif bölgeler artarak parça kopmalara uğramıştır. 48 saat ürününde ise numune parçalanarak ilk ağırlığının yaklaşık %67’sini kaybetmiştir. Hank’s solüsyonunda belirlenen daldırma süreleri sonrasında numunelerde korozif deformasyonlar oluşmuştur. Literatürde takip edilen çalışmalara göre MgAlSi alaşımının bu süreci tutarlılık göstermiştir [9], [11], [13]-[15].

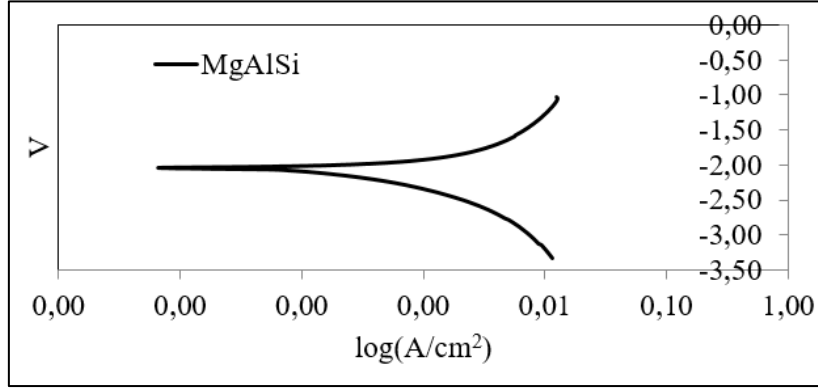
Bu çalışmada pH dengesi Hank’s solüsyonunda deney öncesinde ortalama 7,1-7,8 aralığında ölçülmüştür. Bu seviye ile temiz su veya kan pH denge aralığına yakındır. 4 saat, 12 saat, 24 saat ve 48 saat süre sonucunda pH seviyeleri sırasıyla 10,1-10,2-10,8 ve 11,9 olarak ölçülmüştür. pH ölçüm sonuçlarına göre solüsyon yaklaşık nötr ($H^+=OH^-$) denge aralığından alkali ($H^+<OH^-$) bölgesine geçiş yapmıştır. Alkali bölgede H^+ iyonlarının daha düşük seviyede olması MgAlSi alaşımının Mg-O(H) bileşiğinde çözüldüğünü göstermektedir. Böylelikle Hank’s solüsyonunun bu değişimi biyo uyumlu bir sürecin oluştuğunu gösterebilmektedir [20], [21].



Şekil 3. Ağırlık kaybına bağlı korozyon hızı grafiği.

Ağırlık kaybına bağlı olarak oluşturulan “Korozyon Hızı” grafiğine göre ilk 12 saatte hız düşük izlemiştir. 24 ve 48 saat daldırma sürelerinde kopan parça miktarına göre hız artış göstermiştir. Makro görüntülere (Şekil 2) göre hız-ağırlık kaybı süreci açıklanabilir sonuç vermiştir.

Potansiyodinamik korozyon sonucunda elde edilen Tafel eğrisi Şekil 4’te gösterilmiştir.



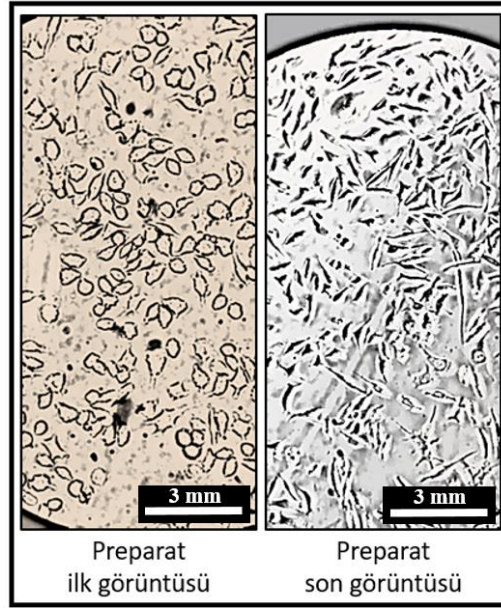
Şekil 4. Tafel eğrisi.

Tafel eğrisi grafiği incelendiğinde ve cihaz verilerine göre E_{corr} değeri -1972 mV olarak rapor edilmiştir. I_{corr} değeri ise 0,148 mA/cm² olarak hesaplanmıştır. Literatüre göre ($22.85 \times I_{corr}$) bu değer üzerinden hesaplanan korozyon hızı ise yaklaşık 3,4 mm/gün olarak elde edilmiştir [15], [17], [18]. Bu sonuçla beraber makro görüntülerdeki parçalanma, pH seviyesinin değişimi, daldırma korozyon hızı ve mm/gün sonuçları tutarlı sonuçlar vermiştir.

Üçlü bir element kombinasyonu ile dökümü yapılan malzeme yapısında Mg-Al-Si üçlü faz diyagramında oluşan bileşiklerin korozyon hızını yavaşlattığını ve hatta durdurduğu bilinen bir sonuçtur [15]. Buradan yola çıkarak elde edilecek alaşımın intermetalik yapı yoğunlukları (%30) korozyon sürecinin nerede yavaşlayacağı ve/veya duracağını göstermektedir. Bu aşamaya kadar beklenen sonuçla çözünen yapının korozyon çözültüsü içerisindeki oranı korozyon hızı hakkında sonuçlar vermiştir. Yapıda kullanılan Mg, Al ve Si elementlerinin biyo-çözünme oranının miktarı ile de biyo-uyumluluk yorumlamaları yapılmıştır. MgAlSi yapısı üzerine yapılan çalışmada görülmektedir ki bu alaşım üçlünün biyo-uyumlu sonuç verebileceği öngörülmüştür.

Tıbbi cihazların biyo uyumluluklarının in-vitro değerlendirilmesinde EN ISO 10993-5 dikkate alınmaktadır. Yapılan çalışmada hücre canlılıkları hiç uygulama yapılmayan grubun absorbans değeri kontrol grubu olarak seçilmesini takiben uygulama yapılan grupların absorbans değerlerinin kontrol grubu ile karşılaştırılmasıyla yorumlanmaktadır. Kontrol grubunda canlılık %100 kabul edilir ve test materyalinin de % canlılığının %70’den yüksek olması in-vitro biyo uyumlu olarak kabul edilir. Absorbans ölçümüyle nicel sonuç verilirken, hücreler mikroskop altında incelenerek nitel olarak da değerlendirilir. İki sonucun bir biri ile uyumlu olması (collaboration) test sonucunun güvenilirliğini arttırmaktadır. Yaptığımız çalışmada Mg alaşımı numune uygulamaları sonrasında 1/1 (malzemenin tam konsantrasyonu) hücre canlılık oranı %144,40±1,05 olarak bulunmuştur. Malzeme konsantrasyonunun %50 azaltılması (1/2 konsantrasyonda uygulanması) ile % canlılık sonuçları %110,10 ± 2,14 olarak belirlenmiştir. Malzemenin tam konsantrasyonu (1/1) canlılık artırıcı etki gösterirken konsantrasyonun azalmasına bağlı olarak canlılığın azaldığı yine de toksin olmadığı gözlemlenmiştir. Uygulanan Mg alaşımı her konsantrasyonunda in-vitro biyo uyumlu olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmadaki MgAlSi alaşımı Mg alaşımlarının % canlılık değerleri ile benzer sonuçlar göstermiştir [9], [16].

Sitotoksikite testi sırasında elde edilen preparat görüntüleri Şekil 5’te gösterilmiştir. Resimlerde izlendiğine göre hücre koloni sayısı ciddi bir artışa uğramıştır. Özütleme sonucunda oluşan bu % canlılık seviyesi malzemenin biyo uyumlu olduğunun başka bir yorumudur [16].



Şekil 5. Sitotoksosite testi sırasındaki ilk ve son hücre koloni görüntüleri.

IV. SONUC

Bu çalışmada MgAlSi alaşımı üretimi yapılmış ve malzemenin biyo uyumluluk süreci 3 farklı biyo korozyon deneyi incelenmiştir. İn-vitro olarak uygulanan deneyler sonucunda aşağıdaki temel sonuçlar elde edilmiştir.

- MgAlSi alaşımı atmosfer kontrollü olarak metalik bir yapıda üretilmiş ve SEM incelemesi ile uygun mikro yapının oluştuğu izlenmiştir.
- Daldırma korozyon sonucunda pH ve ağırlık kaybı (korozyon hızı) değerleri tutarlı sonuç göstermiştir. Deneyin uygulandığı Hank's solüsyonu deney öncesinde nötr aralıkta iken (7,1-7,8) deney sonrasında alkali bölgeye (~11.0) kadar pH değişikliğine uğramıştır.
- Elektrokimyasal korozyon sürecinde elde edilen mm/gün sonucu daldırma korozyona eş değer sonuçlar vererek yaklaşık 3,4 mm/gün olarak hesaplanmıştır.
- Sitotoksosite deneyi sonuçlarına göre alaşımın özütlenmesi ile elde edilen solüsyon oda sıcaklığında uygun besi yeri şartlarında % 144 kadar (1/1 konsantrasyon) % canlılık oranı göstermiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A projeleri kapsamında 2020-2 döneminde desteklenmiştir. (Proje no: 1919B012003943). Ayrıca çalışma Hitit Üniversitesi 8. Öğrenci Kongresi kapsamında özet bildiri olarak sunulmuştur.

V. KAYNAKLAR

- [1] MÖ, P., "Magnesium Alloying, Some Potentials for Alloy Development," *Journal of Japan Institute of Light Metals*, vol. 42, no. 12, pp. 679-686, 1992.
- [2] Polmear, I., "Recent Developments in Light Alloys," *Materials Transactions*, vol. 37, no. 1, pp. 12-31, 1996.
- [3] Lee, Y., Dahle, A., St John, D., "The Role of Solute in Grain Refinement of Magnesium," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 31A, no. 11, pp. 2895-2906, 2000.
- [4] Levent, E., "Biyobozunur Mg-Ag Alaşımlarının Mikroyapı, Mekanik Ve Korozyon Özelliklerine Zn Ve Nd Elementlerinin Etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 10, no. 3, pp. 1372-1382, 2022.
- [5] Froes, F., Eliezer, D., Aghion, E., "The Science, Technology, and Applications of Magnesium," *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, vol. 50, no. 9, pp. 30-34, 1998.
- [6] Furuya, H., Kogiso, N., Matunaga, S., Senda, K., Applications of Magnesium Alloys for Aerospace Structure Systems, Materials Science Forum, Trans Tech Publ, (2000) 341-348.
- [7] Bamberger, M., Dehm, G., "Trends in the Development of New Mg Alloys," *Annu. Rev. Mater. Res.*, vol. 38, no. pp. 505-533, 2008.
- [8] Witte, F., "The History of Biodegradable Magnesium Implants: A Review," *Acta Biomaterialia*, vol. 6, no. 5, pp. 1680-1692, 2010.
- [9] Kannan, M. B., Koc, E., Unal, M., "Biodegradability of B-Mg17a12 Phase in Simulated Body Fluid," *Materials letters*, vol. 82, no. pp. 54-56, 2012.
- [10] Wang, Q., Davidson, C., "Solidification and Precipitation Behaviour of Al-Si-Mg Casting Alloys," *Journal of materials science*, vol. 36, no. 3, pp. 739-750, 2001.
- [11] Çiçek, B., Ahlatçı, H., Sun, Y., "Wear Behaviours of Pb Added Mg-Al-Si Composites Reinforced with in Situ Mg₂Si Particles," *Materials & Design*, vol. 50, no. pp. 929-935, 2013.
- [12] Korgiopoulos, K., Langelier, B., Pekguleryuz, M., "Mg17a12 Phase Refinement and the Improved Mechanical Performance of Mg-6al Alloy with Trace Erbium Addition," *Materials Science and Engineering: A*, vol. no. pp. 141075, 2021.
- [13] Zhu, L., Qiu, F., Zou, Q., Han, X., Shu, S.-L., Yang, H.-Y., Jiang, Q.-C., "Multiscale Design of A-Al, Eutectic Silicon and Mg₂Si Phases in Al-Si-Mg Alloy Manipulated by in Situ Nanosized Crystals," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 802, no. pp. 140627, 2021.
- [14] Gu, X.-N., Zheng, Y.-F., "A Review on Magnesium Alloys as Biodegradable Materials," *Front. Mater. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 111-115, 2010.
- [15] Çiçek, B., Sun, Y., "A Study on the Mechanical and Corrosion Properties of Lead Added Magnesium Alloys," *Mater Design*, vol. 37, no. pp. 369-372, 2012.
- [16] Comba, A., Cicek, B., Comba, B., Sancak, T., Arslan Akveran, G., Sun, Y., Elen, L., Torkamanian Afshar, M., "Investigation of in-Vitro Biocompatibility and in-Vivo Biodegradability of Am Series Mg Alloys," *Materials Technology*, vol. no. pp. 1-13, 2022.

- [17] Shi, Z., Liu, M., Atrens, A., "Measurement of the Corrosion Rate of Magnesium Alloys Using Tafel Extrapolation," *Corros Sci*, vol. 52, no. 2, pp. 579-588, 2010.
- [18] Atrens, A., Shi, Z., Mehreen, S. U., Johnston, S., Song, G.-L., Chen, X., Pan, F., "Review of Mg Alloy Corrosion Rates," *Journal of Magnesium and Alloys*, vol. no. pp. 2020.
- [19] ISO, *10993-12: 2008–Biological Evaluation of Medical Devices–Part 12: Sample Preparation and Reference Materials*, in *International Organization for Standardization, Geneva*. 2008.
- [20] Alodan, M. A., "Modeling of Ph Distribution over Corrosion Sites," *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 1-11, 2003.
- [21] Lu, P., Cao, L., Liu, Y., Xu, X., Wu, X., "Evaluation of Magnesium Ions Release, Biocorrosion, and Hemocompatibility of Mao/Plla-Modified Magnesium Alloy We42," *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, vol. 96, no. 1, pp. 101-109, 2011.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Biosynthesis of Iron, Copper and Silver Nanoparticles Using *Polygonum Cognatum* and *Tragopogon Porrifolius* Extracts and Evaluation of Their Antimicrobial Potentials

 Özlem KAPLAN ^{a,*},  Nazan GÖKŞEN TOSUN ^b

^a Department of Genetics and Bioengineering, Rafet Kayış Faculty of Engineering, Alanya Alaaddin Keykubat University, Antalya, TURKEY

^b Department of Medical Services and Techniques, Tokat Vocational School of Health Services, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ozlem.kaplan@alanya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1093468

ABSTRACT

In this study, the biosynthesis of iron (Fe), copper (Cu) and silver (Ag) nanoparticles was aimed using aqueous extracts of *Polygonum cognatum* (*P. cognatum*) and *Tragopogon porrifolius* (*T. porrifolius*). The synthesized nanoparticles were characterized using UV/Vis spectroscopy, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and dynamic light scattering technique (DLS). The antibacterial activity of the nanoparticles was analyzed against well-known pathogens *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis* and *Staphylococcus aureus*. In addition, the anti-fungal activity of the nanoparticles against *Candida albicans* and *Candida utilis* strains was evaluated. The obtained results showed that the synthesized nanoparticles have a moderate antimicrobial effect.

Keywords: Antimicrobial activity, Metallic nanoparticles, *Polygonum cognatum*, *Tragopogon porrifolius*

Polygonum Cognatum ve *Tragopogon Porrifolius* Ekstraktları Kullanılarak Demir, Bakır ve Gümüş Nanopartiküllerin Biyosentezi ve Antimikrobiyal Potansiyellerinin Değerlendirilmesi

ÖZ

Bu çalışmada, *Polygonum cognatum* (*P. cognatum*) ve *Tragopogon porrifolius*'un (*T. porrifolius*) sulu ekstraktları kullanılarak demir (Fe), bakır (Cu) ve gümüş (Ag) nanopartiküllerin biyosentezi amaçlanmıştır. Sentezlenen NP'ler UV/Vis spektroskopisi, fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve dinamik ışık saçılım (DLS) tekniği kullanılarak karakterize edilmiştir. Nanopartiküllerin antibakteriyel aktivitesi, iyi bilinen patojenler *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis* ve *Staphylococcus aureus*'e karşı analiz edilmiştir. Ek olarak bu nanopartiküllerin *Candida albicans* ve *Candida utilis* suşlarına karşı antifungal aktivitesi de değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sentezlenen nanopartiküllerin orta düzeyde bir antimikrobiyal etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal aktivite, Metalik nanopartiküller, *Polygonum cognatum*, *Tragopogon porrifolius*

I. INTRODUCTION

Nanotechnology offers great potential in the development of new generation drugs in microbial infections in recent years. Metallic nanoparticles (MNPs) have unique optical, chemical, physical, and electrical properties and due to these properties, they have become a new area of interest in nanotechnology [1], [2]. MNPs are versatile nanoparticles with potential use in wound dressings, cell labeling, photo-imaging, sensors, drug delivery, gene delivery, microbial infections, and cancer treatment [3], [4]. Although MNPs have broad therapeutic potential, they have been reported to cause undesirable toxicity. The unwanted toxicity of MNPs can be reduced by coating the nanoparticle surface with biomolecules [5]. Therefore, biosynthesis, where biomolecules are used as reducing agents, has become increasingly important. Biosynthesis combines MNPs with the properties of the biomolecule used and reduces the undesirable toxicities of MNPs [6]. The biosynthesis of MNPs can overcome the adverse conditions of physical and chemical methods such as hazardous waste generation, high energy requirements and use of toxic chemicals [2], [7]-[9]. In recent years, researchers have been synthesizing metallic nanoparticles using different metals (such as silver, iron, manganese, gold, zinc, and copper) [10]-[12]. There are many studies using plants, algae, fungi, and bacteria in the synthesis of MNPs [13]-[15]. MNPs exhibit various properties depending on the characteristics of the biological material used in their synthesis [16], [17]. MNPs are the most promising inorganic nanoparticles for resistance to conventional antibiotics. These nanoparticles use completely different action mechanisms against antibiotic-resistant bacteria than conventional antibiotics and target multiple biomolecules that are important in the development of resistant strains. MNPs can induce the production of reactive oxygen species. Metal ions can form strong coordination bonds with N, O or S atoms. These atoms are abundant in organic compounds and biomolecules. Because the bonding between metal ions and biomolecules is often nonspecific, MNPs generally exhibit a broad spectrum of activity [18].

Polygonum cognatum (*P. cognatum*) belongs to the *Polygonaceae* family and is a perennial. It has been used as a diuretic in Turkish folk medicine [19]. *P. cognatum* contains phenolic compounds, polyuronides, vitamin C, saponins and carotenoids. It has been demonstrated by various studies that it has antimicrobial, diuretic, antioxidant, anticancer and antidiabetic activities [19]-[21].

Tragopogon porrifolius (*T. porrifolius*) belongs to the *Asteraceae* family and is an annual. *T. porrifolius* is consumed in Southern and North America, Central Europe and the United Kingdom [22]. This plant contains essential fatty acids, vitamins, polyphenol and monounsaturated fatty acids [23]. The hepatoprotective, anti-inflammatory, antioxidant, and anticancer activity of *T. porrifolius* has been demonstrated by various studies [22]-[25].

In this study, CuNPs, FeNPs and AgNPs were synthesized using *P. cognatum* and *T. porrifolius*. Physical and chemical characterizations of synthesized nanoparticles were performed. The antimicrobial effects of synthesized nanoparticles on bacteria and fungi were investigated.

MATERIALS AND METHODS

A. EXPERIMENTAL

A.1. Metarials

Silver nitrate (AgNO₃) was from Carlo Erbaa. Iron (II) sulfate heptahydrate, Copper (II) sulfate pentahydrate was purchased from Sigma Aldrich. *P. cognatum* and *T. porrifolius* were obtained from Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Agriculture, Turkey. Bacterial (*E. faecalis* (ATCC 29212), *P. aeruginosa* (ATCC 27853), *S. aureus* (ATCC 25923) and *K. pneumonia* (ATCC 15380)) and fungal

(*C. albicans* (ATCC 90819) and *C. utilis* (9950)) strains were obtained from Tokat Gaziosmanpasa University, Department of Bioengineering and Genetics, Turkey.

A.2. Preparation of *P. cognatum* and *T. porrifolius* Extracts

P. cognatum (20 g) and *T. porrifolius* (20 g) were weighed. Each of them was taken into 200 mL of distilled water separately and homogenized thoroughly with a blender. They were then mixed for 90 minutes at 60 °C in a shaking incubator at 100 rpm. The obtained homogenates were filtered and the extracts were obtained by centrifugation at 6 000 rpm for 10 minutes. The extracts (PC-Extract and TP-Extract) were stored at +4 °C before use.

A.3. Synthesis of Metallic Nanoparticles

A.3.1. Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNPs)

While all nanoparticles were being synthesized, pre-optimization was made and the optimum extract: metal salt ratio was determined by monitoring the nanoparticle formation with UV-Vis analysis. There is a correlation between the absorption peaks and the particle size of the NPs. Studies have shown that as the particle size decreases, the absorption peaks shift to smaller wavelengths [26]. 10mM silver nitrate was mixed with TP-Extract at a ratio of 2:1 and PC-Extract at a ratio of 1:1 in separate beakers and kept in the microwave for 60 seconds at 475 watts. After the mixture was cooled, it was centrifuged at 20 000 rpm for 10 minutes and the nanoparticles were precipitated. Silver nanoparticles from TP-Extract and PC-Extract (TP-AgNPs and PC-AgNPs, respectively) were washed twice with distilled water and dried at 37 °C.

A.3.2. Synthesis of Copper Nanoparticles (CuNPs)

0.1 M copper sulfate was mixed with TP-Extract at a ratio of 1:4 and PC-Extract at a ratio of 1:5 in beakers and kept in the microwave for 60 seconds at 475 watts. After the mixture was cooled, it was centrifuged at 20 000 rpm for 10 minutes and the nanoparticles were precipitated. Copper nanoparticles from TP-Extract and PC-Extract (TP-CuNPs and PC-CuNPs, respectively) were washed with distilled water and dried at 37 °C.

A.3.3. Synthesis of Iron Nanoparticles (FeNPs)

0.1 M iron sulfate was mixed with TP-Extract at a ratio of 1:4 and PC-Extract at a ratio of 1:5 in beakers and kept in the microwave for 60 seconds at 475 watts. After the mixture was cooled, it was centrifuged at 20 000 rpm for 10 minutes and the nanoparticles were precipitated. Iron nanoparticles from TP-Extract and PC-Extract (TP-FeNPs and PC-FeNPs, respectively) were washed with distilled water and dried at 37 °C.

A.4. Characterization of Metallic Nanoparticles

Characterization of MNPs was performed using a spectrophotometer (DeNoVIX, Wilmington, USA), DLS instrument (HORIBA SZ-100), and FTIR (Jasco FTIR 4700, Germany). The formation of MNPs was characterized by scanning at wavelengths in the 300-800 nm range using spectrophotometer. The presence of extracts used to synthesize MNPs was determined using FTIR. The size and zeta potential of MNPs were measured using the DLS instrument.

A.5. Antimicrobial Activity of Metallic Nanoparticles

The antimicrobial potentials of the synthesized MNPs were determined by minimum inhibitory concentration analysis as detailed in our previous studies [4], [12], [14]. In summary, overnight cultures of *K. pneumonia*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis*, *S. aureus*, *C. albicans*, and *C. utilis* microorganisms were

seeded into 96-well plates according to the 0.5 McFarland standard. 0.5 McFarland turbidity standard equals the density of a bacterial suspension of 1.5×10^8 colony forming units (CFU mL⁻¹) [27]. Then, the synthesized MNPs were applied to the microorganisms in the concentration range of 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ -15.625 $\mu\text{g mL}^{-1}$. The cells were incubated at 37 °C for 24 hours and their absorbance at 600 nm was read using a microplate reader. Percent inhibition and minimum inhibitory concentration (MIC) values of microorganisms exposed to synthesized MNPs were calculated relative to the control groups.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. SYNTHESIS OF MNPS USING PC-EXTRACT AND TP-EXTRACT

MNPs were synthesized with a microwave assistance using aqueous extracts of *P. cognatum* and *T. porrifolius*. Color change in the extracts due to synthesis of AgNPs, CuNPs, and FeNPs was shown in Figure 1. The color change of the extracts was a confirmation that metal ions were reduced and MNPs were formed.

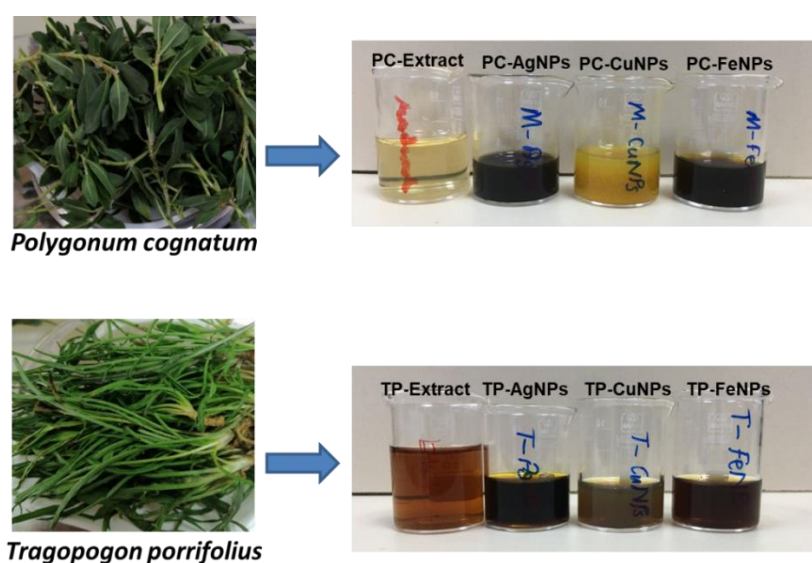


Figure 1. Synthesis of AgNPs, CuNPs, and FeNPs.

B. CHARACTERIZATION OF METALLIC NANOPARTICLES

B.1. UV-Visible Spectroscopy

To prove MNPs formation, UV-vis spectroscopy is routinely used in characterization of MNPs [28]. The spectrum of the produced MNPs using PC-Extract and TP-Extract were shown as Figure 2. The maximum absorption peaks of CuNPs, FeNPs, and AgNPs synthesized using PC Extract were analyzed as 437 nm, 442 nm, and 422 nm, respectively, while the maximum absorption peaks of CuNPs, FeNPs, and AgNPs synthesized using TP-Extract were determined as 431 nm, 413 nm, and 415 nm respectively.

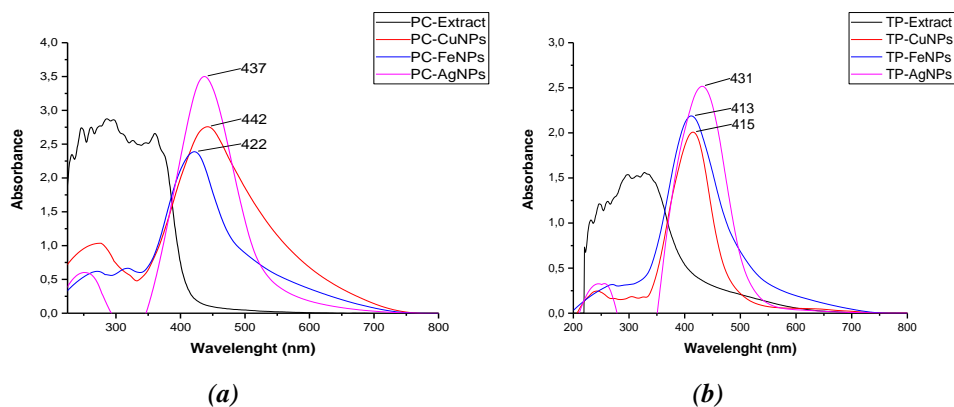


Figure 2. UV-Vis absorption spectra of the synthesized MNPs using PC-Extract (a), and TP-Extract (b).

The peak formation in the UV-Vis absorption spectra of MNPs may differ in relation to the size and shape of the particle. The UV spectrum wavelengths of MNPs range from 300 to 800 nm, indicating the incidence of various MNPs [10]. When the wavelengths at which the MNPs gave their peaks were compared with the peaks of the crude extracts, it was observed that the peaks were different from each other. Only one sharp peak appeared in the 300 to 800 nm range in all spectra in this study, these peaks can be attributed to the absorption of NPs. This was also evidence for the formation of MNPs.

B.2. FTIR spectroscopy

FTIR spectroscopy curves were used to determine chemical characterization of synthesized MNPs using PC-Extract, and TP-Extract. FTIR spectrums of the synthesized MNPs using PC-Extract (a), and TP-Extract (b) were shown in Figure 3.

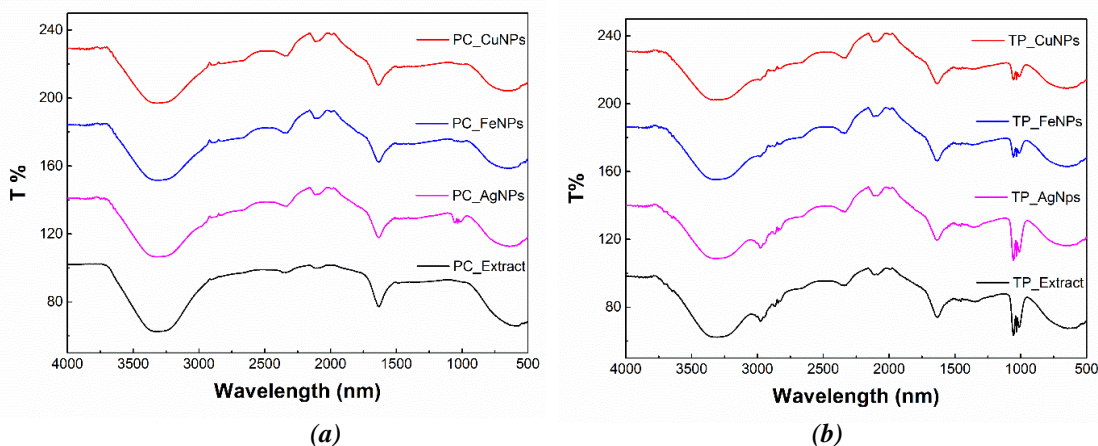


Figure 3. FTIR spectra of the synthesized MNPs using PC-Extract (a), and TP-Extract (b).

The synthesized MNPs using PC-Extract and TP-Extract exhibited a broad absorption band of -OH groups at 3319.86 cm^{-1} . The peak at 2887 cm^{-1} was associated with C-H stretching of aliphatic -CH , -CH_2 groups. The absorption peaks at 1634 cm^{-1} and 1031 cm^{-1} were respectively assigned to the -C-O-C- or -C-O- bonds and stretching of -C=C bonds. The presence of functional groups from the plant extract responsible for the reduction of MNPs in the FTIR analysis proved the synthesis of MNPs from PC-extract and TP-extract.

B.3. Dynamic light scattering (DLS)

To determine physical properties like particle size and zeta potential of nanoparticles DLS was preferred. DLS results were shown in Figure 4 and Figure 5.

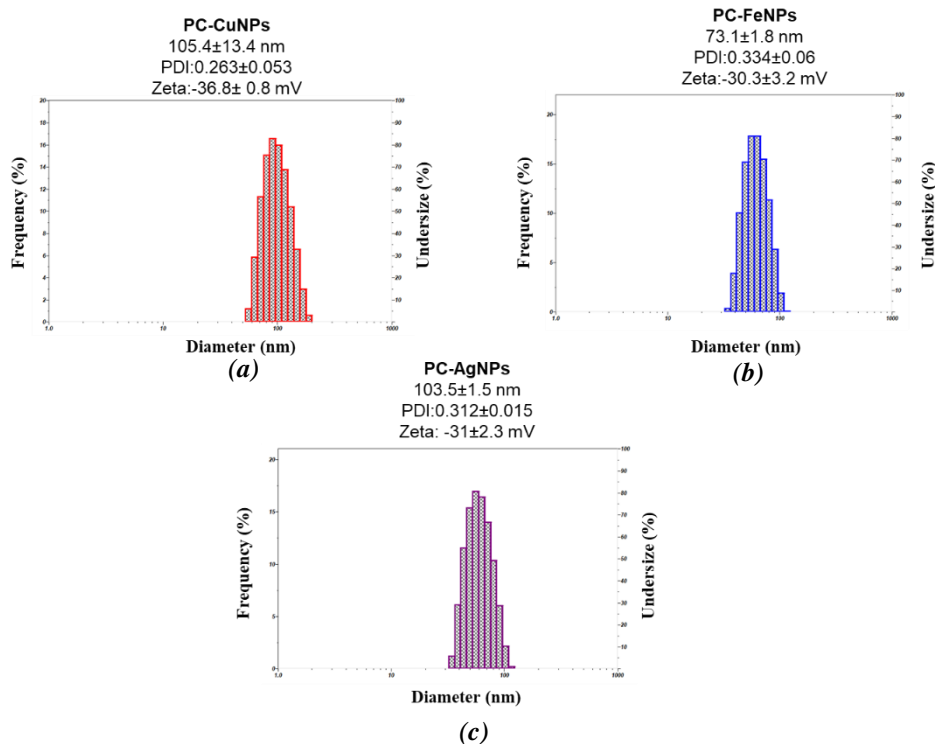


Figure 4. DLS data of synthesized MNPs using PC-Extract.

Figure 4 presented DLS data of synthesized CuNPs (a), FeNPs (b) and AgNPs (c) using PC-Extract. It was reported that among the synthesized MNPs using PC-Extract, the smallest particle size was formed using iron salt but zeta potentials of MNPs were similar. On the other hand, the PDI values of the MNPs, which give information about the particle size distribution, were also close to each other.

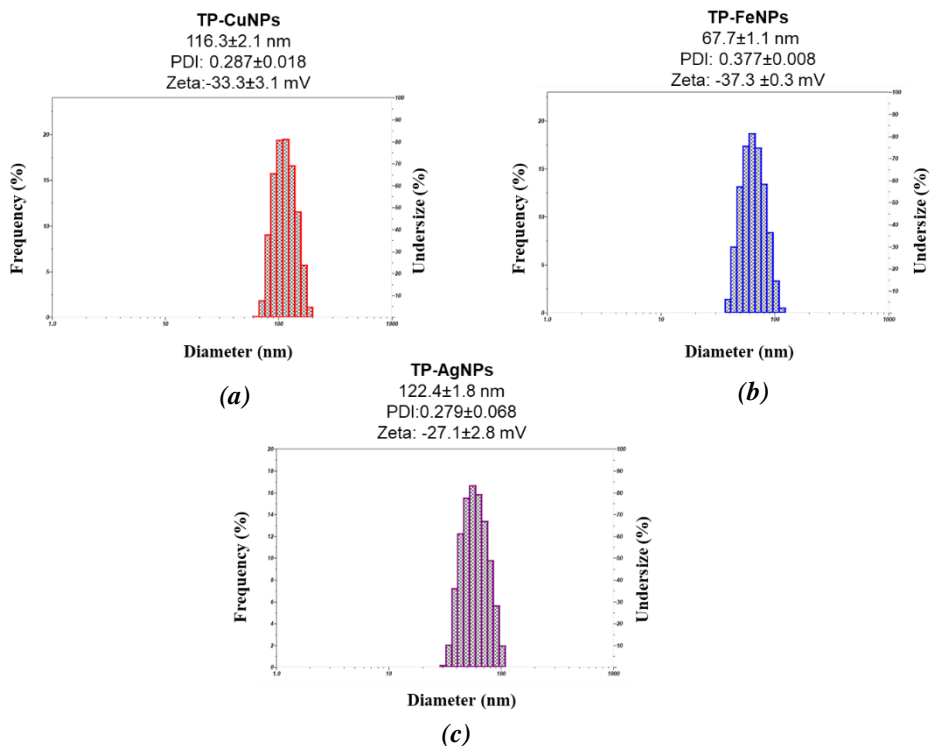


Figure 5. DLS data of synthesized MNPs using TP-Extract.

Figure 5 presented DLS data of synthesized CuNPs (a), FeNPs (b) and AgNPs (c) using TP-Extract. Particle sizes of AgNPs and CuNPs were similar while FeNPs had the smallest particle size among the synthesized all MNPs using PC-Extract and TP- Extract. However, zeta potentials and PDI values were also similar.

B.4. Antibacterial Activity of Biosynthesized MNPs Using PC-Extract and TP-Extract

MNPs, which are synthesized using various natural products, and metal salts, are known to exhibit antibacterial activities against bacteria strain [11]. In this study, MNPs were produced using PC-Extract and TP- Extract and their antibacterial activities were tested against *S. aureus*, *E. faecalis*, *P. aeruginosa*, and *K. pneumoniae* bacteria strain. To determine the antibacterial activity of produced all MNPs, the minimum inhibition concentration method was used. Measurements were evaluated as the percentage of inhibition versus concentrations.

Inhibition curves of produced MNPs using PC-Extract were indicated in Figure 6. The inhibition value of the crude PC-Extract shown in Figure 6 (d) was less than fifty percent at the maximum concentration. Also, CuNPs, FeNPs, and AgNPs did not affect *K. pneumoniae* and *E. faecalis*. However, CuNPs, FeNPs, and AgNPs showed more toxic effects on *S. aureus* and *P. aeruginosa* than PC-Extract, and higher inhibition values were obtained at the same concentration. It was tested that AgNPs were the most effective on *S. aureus*, while CuNPs were the most effective on *P. aeruginosa*.

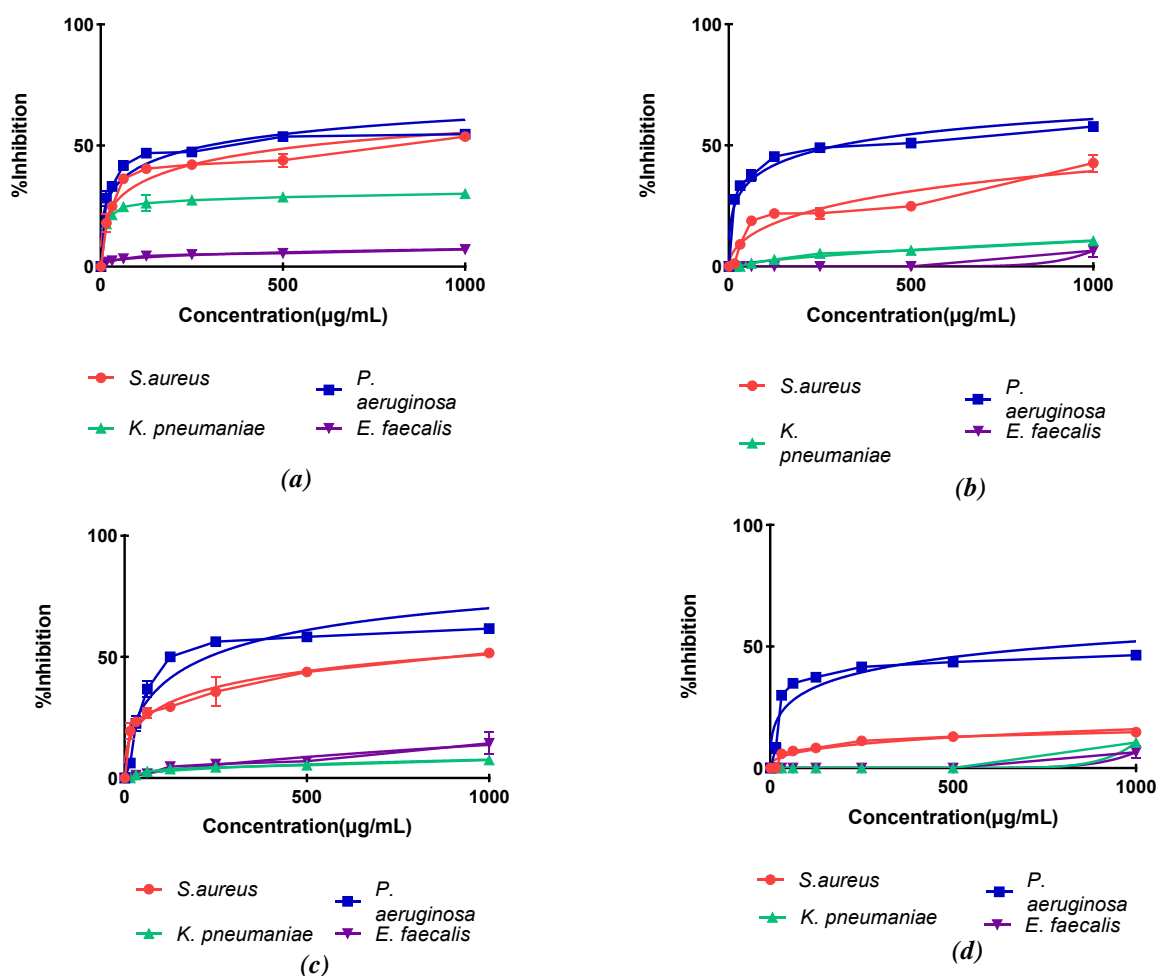


Figure 6. Growth inhibition curves of pathogenic bacteria strains exposed to PC-Extract and produced MNPs using this extract.

Figure 7 presented the inhibition curves of produced MNPs using TP-Extract. MNPs and TP-Extract did not show the antibacterial effect on *K. pneumoniae*, also only CuNPs inhibited *E. faecalis*. Antibacterial activity, percent inhibition values of MNPs and TP-Extract on *P. aeruginosa* were very close to each other and it was determined that the synthesized MNPs did not provide any increase in inhibition value. However, the produced AgNPs were the most effective on *S. aureus* and increased in inhibition value. All of the synthesized MNPs and both extracts had no antibacterial effect on *K. pneumoniae* but all MNPs and both extracts inhibited *P. aeruginosa*. Inhibition data of over fifty percent indicate that MNPs may completely inhibit strains at a concentration above 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Eruygur et al. showed that *P. cognatum* and *T. porrifolius* ethanol extracts inhibited *P. aeruginosa* and *S. aureus* but had no antimicrobial effect on *E. faecalis* and *K. pneumoniae* [22]. In addition to, Yildirim et al. revealed that ether and ethanol extracts of *P. cognatum* exhibited antimicrobial activity against *S. aureus* and *Bacillus subtilis* [20].

Pekdemir et al. synthesized magnetic Fe_3O_4 nanoparticles and processed these nanoparticles with the ethanolic extract of *P. cognatum*. The ethanolic extract of *P. cognatum* had a moderate antimicrobial effect against *S. aureus*, *Escherichia coli*, *K. pneumoniae*, *C. albicans*, and *Bacillus megaterium* while iron nanoparticles treated with *P. cognatum* did not show antimicrobial effect. The iron magnetic nanoparticles destroyed the antimicrobial effect of the plant extract [29].

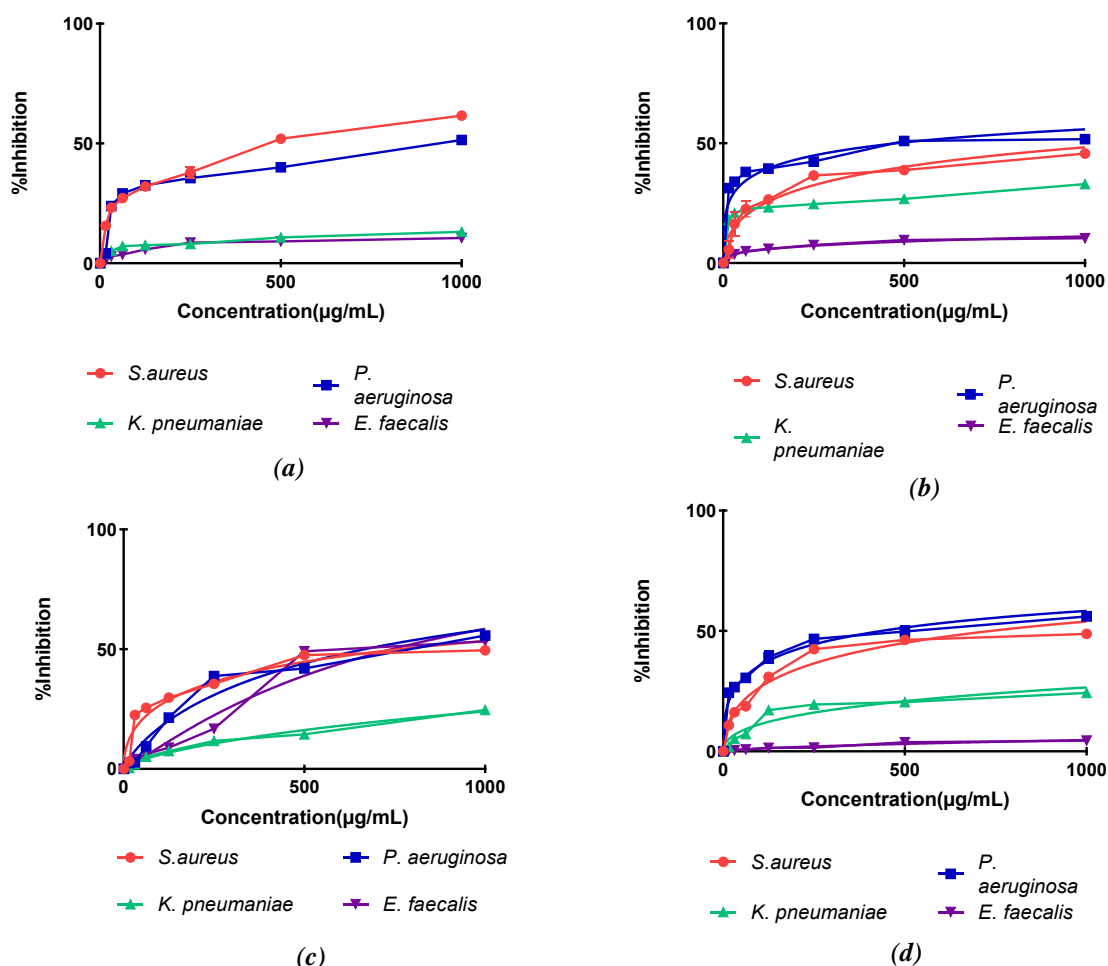


Figure 7. Growth inhibition curves of pathogenic bacteria strains exposed to TP-Extract and produced MNPs using this extract.

B.5. Antifungal Activity of Biosynthesized MNPs Using PC-Extract and TP- Extract

Antifungal activities of the synthesized MNPs using PC-Extract and TP-Extract were tested on *C. utilis* and *C. albicans* as another biological activity. *C. utilis* and *C. albicans* are known as significant human fungal pathogens [30], [31]. Antifungal activity was determined using same method, minimum inhibitory method indicated as Figure 8. PC-Extract, FeNPs, and CuNPs did not inhibit *C. albicans*, but AgNPs were exhibited in increased in inhibition value of *C. albicans* when compared to crude PC-Extract. Yildirim et al. showed that ether, water and ethanol extracts of *P. cognatum* had no antifungal effect against *C. albicans* [20].

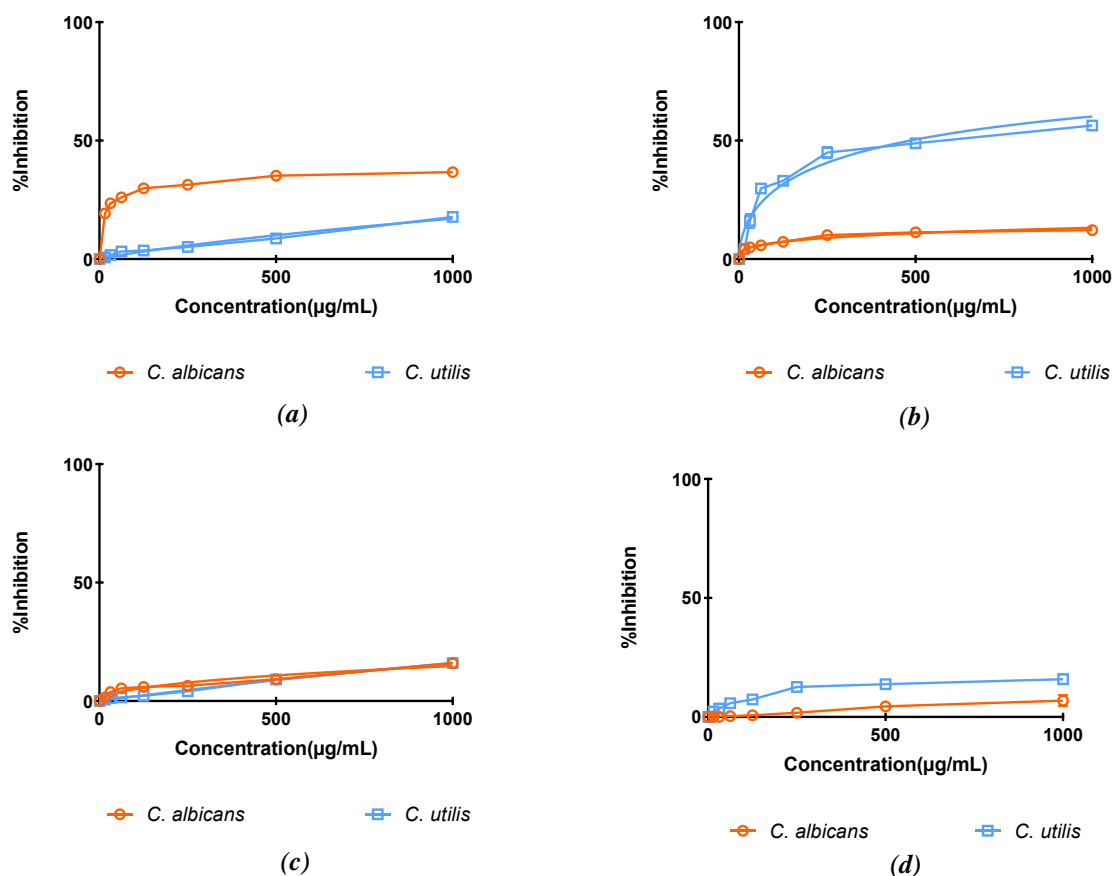


Figure 8. Growth inhibition curves of human fungal pathogen strains exposed to PC-Extract and produced MNPs using this extract.

Among the synthesized MNPs using PC-Extract, FeNPs were the most effective on *C. utilis* and its inhibition value was over fifty percent at a concentration 1000 µg mL⁻¹. Except for the effect of PC-FeNPs on *C. utilis*, MNPs produced from PC-Extract did not generally exhibit antifungal activity.

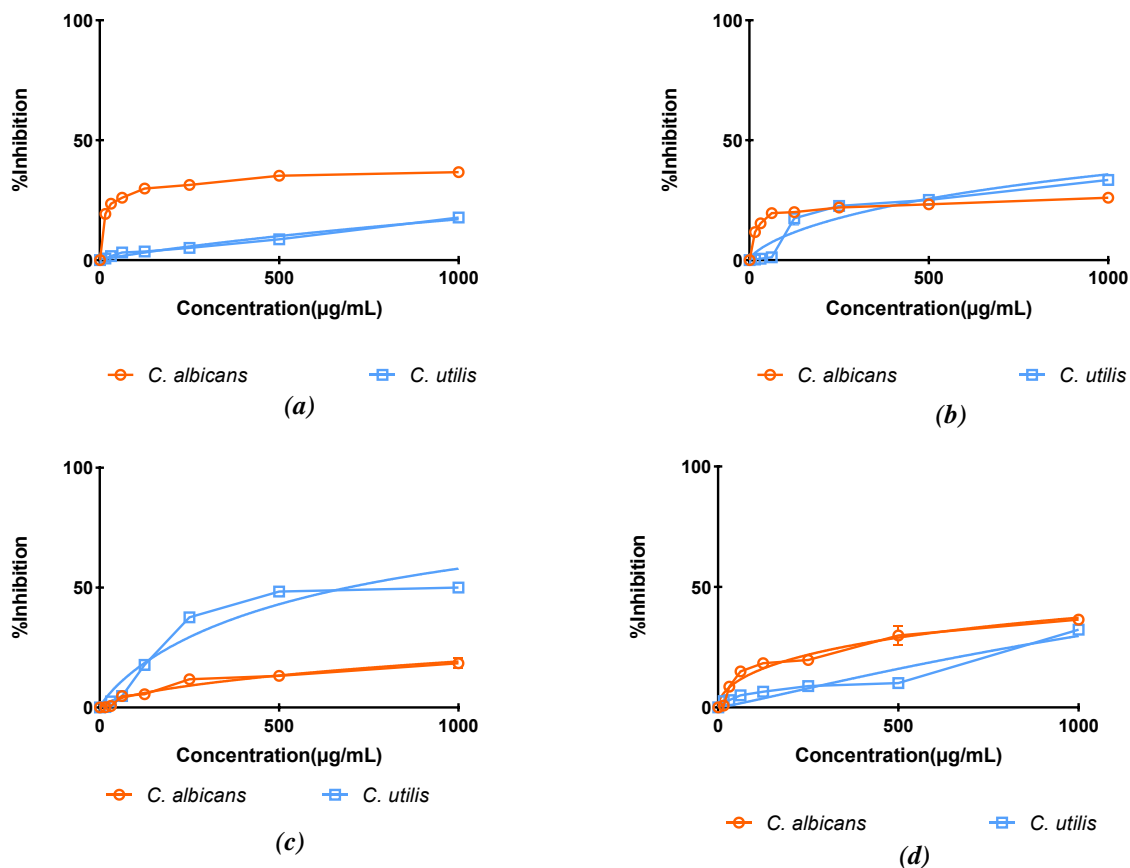


Figure 9. Growth inhibition curves of human fungal pathogen strain exposed to TP-Extract and produced MNPs using this extract.

Antifungal activities of the synthesized MNPs using TP-Extract were shown in Figure 9. CuNPs were exhibited antifungal activity on *C. utilis* at maximum concentration. AgNPs, FeNPs and TP-Extract had no antifungal activities at the applied concentrations. Eruyur et al. revealed that *T. porrifolius* ethanol extract did not exhibit antifungal activity against *C. albicans* [22].

Plants contain a wide variety of active biomolecules. Almost all parts of plants can be used in the synthesis of metallic NPs. The phenols and flavonoids of the plant exhibit specific chemical properties and can synthesize nanoparticles by reducing metallic salts. The fact that these biomolecules contain carboxyl and hydroxyl groups allows them to bind to the metal. Medicinal plants have many natural and active ingredients, and these ingredients have certain health benefits. Such medicinal plants are not only used as reducing and stabilizing agents, but also assist in the development of NPs with fascinating biological properties [32]. The proteins, enzymes, organic acids and vitamins contained in the extract are responsible for the reduction and stabilization of NPs. It is widely known in the literature that there is a correlation between the biological properties of the plant and the final properties of the NPs synthesized using these plants [33]. In our study, there is a relationship between the antimicrobial activity of plant extracts and the antimicrobial activity of metallic nanoparticles synthesized from these plants.

IV. CONCLUSION

MNPs are rapidly progressing to become a new generation drug in the fight against microbial infections due to their antimicrobial properties [1], [2]. The use of plant extracts to make MNPs is simple, environmentally friendly, easily scaled up, inexpensive, convenient, and safe. It is a particularly viable

strategy for making NPs that should be free of toxic contaminants as required in biomedical and therapeutic applications. The plant extract-based synthesis of NPs is higher in yield than other physical and chemical methods [2], [7], [9].

In this study, MNPs were synthesized from two plants with antimicrobial properties as well as other therapeutic potentials such as antioxidant and anticancer. These nanoparticles have been characterized physically and chemically. The antimicrobial properties of the synthesized nanoparticles were evaluated. It was revealed that the obtained nanoparticles have a moderate antimicrobial effect.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work is supported by Tokat Gaziosmanpaşa University (Project no: 2020/104).

V. REFERENCES

- [1] H. Barabadi, M. Najafi, H. Samadian, A. Azarnezhad, H. Vahidi, M. A. Mahjoub, M. Koohiyan, and A. Ahmadi, "A Systematic review of the genotoxicity and antigenotoxicity of biologically synthesized metallic nanomaterials: are green nanoparticles safe enough for clinical marketing?," *Medicina (Kaunas)*, vol. 55, no. 8, 2019.
- [2] M. Ovais, A. T. Khalil, A. Raza, M. A. Khan, I. Ahmad, N. U. Islam, M. Saravanan, M. F. Ubaid, M. Ali, and Z. K. Shinwari, "Green synthesis of silver nanoparticles via plant extracts: beginning a new era in cancer theranostics," *Nanomedicine (Lond)*, vol. 11, no. 23, pp. 3157-3177, 2016.
- [3] H. Barabadi, A. Alizadeh, M. Ovais, A. Ahmadi, Z. K. Shinwari, and M. Saravanan, "Efficacy of green nanoparticles against cancerous and normal cell lines: a systematic review and meta-analysis," *IET Nanobiotechnol*, vol. 12, no. 4, pp. 377-391, 2018.
- [4] Ö. Kaplan, N. Gökşen Tosun, A. Özgür, S. Erden Tayhan, S. Bilgin, İ. Türkekul, and İ. Gökçe, "Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles using crude extracts of *Boletus edulis* and *Coriolus versicolor*: Characterization, anticancer, antimicrobial and wound healing activities," *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 64, pp. 102641, 2021.
- [5] J. Xiong, X. D. Wu, and Q. J. Xue, "Biomolecule-assisted synthesis of highly stable dispersions of water-soluble copper nanoparticles," *J Colloid Interface Sci*, vol. 390, no. 1, pp. 41-6, 2013.
- [6] D. Zhang, X. L. Ma, Y. Gu, H. Huang, and G. W. Zhang, "Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Potential Applications to Treat Cancer," *Front Chem*, vol. 8, pp. 799, 2020.
- [7] A. Ahsan, M. A. Farooq, A. Ahsan Bajwa, and A. Parveen, "Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Parthenium Hysterophorus*: Optimization, Characterization and In Vitro Therapeutic Evaluation," *Molecules*, vol. 25, no. 15, 2020.
- [8] E. Alphantery, "Natural metallic nanoparticles for application in nano-oncology," *Int J Mol Sci*, vol. 21, no. 12, 2020.
- [9] L. Carson, S. Bandara, M. Joseph, T. Green, T. Grady, G. Osuji, A. Weerasooriya, P. Ampim, and S. Woldeesenbet, "Green synthesis of silver nanoparticles with antimicrobial properties using *Phyllanthus niruri* plant extract," *Foodborne Pathog Dis*, vol. 17, no. 8, pp. 504-511, 2020.

- [10] P. K. Thakur, and V. Verma, "A Review on Green Synthesis, Characterization and Anticancer Application of Metallic Nanoparticles," *Appl Biochem Biotechnol*, vol. 193, no. 7, pp. 2357-2378, 2021.
- [11] A. Singh, P. K. Gautam, A. Verma, V. Singh, P. M. Shivapriya, S. Shivalkar, A. K. Sahoo, and S. K. Samanta, "Green synthesis of metallic nanoparticles as effective alternatives to treat antibiotics resistant bacterial infections: A review," *Biotechnol Rep (Amst)*, vol. 25, pp. e00427, 2020.
- [12] N. Gökşen Tosun, and Ö. Kaplan, "Optimization of the Green Synthesis of Silver Nanoparticle with Box-Behnken Design: Using Aloe Vera Plant Extract as a Reduction Agent," *SAUJS*, vol. 25, no. 3, pp. 774-787, 2021.
- [13] B. Uzair, A. Liaqat, H. Iqbal, B. Mena, A. Razzaq, G. Thiripuranathar, N. Fatima Rana, and F. Mena, "Green and cost-effective synthesis of metallic nanoparticles by algae: safe methods for translational medicine," *Bioengineering (Basel)*, vol. 7, no. 4, 2020.
- [14] Ö. Kaplan, and N. Gökşen Tosun, "Biosynthesis of silver nanoparticles from Teucroside and investigation of its antibacterial activity," *Cumhuriyet Sci. J.*, vol. 42, no. 1, pp. 60-67, 2021.
- [15] B. M. Abdallah, and E. M. Ali, "Green synthesis of silver nanoparticles using the lotus *lalambensis* aqueous leaf extract and their anti-candidal activity against oral candidiasis," *ACS Omega*, vol. 6, no. 12, pp. 8151-8162, 2021.
- [16] A. Wibowo, G. U. N. Tajalla, M. A. Marsudi, G. Cooper, L. Asri, F. Liu, H. Ardy, and P. Bartolo, "Green synthesis of silver nanoparticles using extract of cilembu sweet potatoes (*ipomoea batatas* l var. rancing) as potential filler for 3d printed electroactive and anti-infection scaffolds," *Molecules*, vol. 26, no. 7, 2021.
- [17] A. Salayova, Z. Bedlovicova, N. Daneu, M. Balaz, Z. Lukacova Bujnakova, L. Balazova, and L. Tkacikova, "Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity using various medicinal plant extracts: morphology and antibacterial efficacy," *Nanomaterials (Basel)*, vol. 11, no. 4, 2021.
- [18] E. Sánchez-López, D. Gomes, G. Esteruelas, L. Bonilla, A. L. Lopez-Machado, R. Galindo, A. Cano, M. Espina, M. Ettcheto, A. Camins, A. M. Silva, A. Durazzo, A. Santini, M. L. Garcia, and E. B. Souto, "Metal-Based Nanoparticles as Antimicrobial Agents: An Overview," *Nanomaterials (Basel)*, vol. 10, no. 2, 2020.
- [19] F. T. Guragac Dereli, M. Ilhan, E. Kozan, and E. Kupeli Akkol, "Effective eradication of pinworms (*Syphacia obvelata* and *Aspicularis tetraptera*) with *Polygonum cognatum* Meissn," *Exp Parasitol*, vol. 196, pp. 63-67, 2019.
- [20] A. Yıldırım, A. Mavi, and A. Kara, "Antioxidant and antimicrobial activities of *Polygonum cognatum* Meissn extracts," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 83, no. 1, pp. 64-69, 2003.
- [21] M. Pehlivan, H. Karahan Çöven, B. Çerçi, A. Eldem, T. Öz, and N. Savlak, "The cytotoxic effect of *Polygonum cognatum* and chemotherapeutic effect of doxorubicin on glioblastoma cells," *Eur J Ther*, vol. 27, no. 1, pp. 50-54, 2021.
- [22] N. Eruygur, E. Ucar, M. Atas, M. Ergul, M. Ergul, and F. Sozmen, "Determination of biological activity of *Tragopogon porrifolius* and *Polygonum cognatum* consumed intensively by people in Sivas," *Toxicol Rep*, vol. 7, pp. 59-66, 2020.

- [23] C. Formisano, D. Rigano, F. Senatore, M. Bruno, and S. Rosselli, "Volatile constituents of the aerial parts of white salsify (*Tragopogon porrifolius* L., Asteraceae)," *Nat Prod Res*, vol. 24, no. 7, pp. 663-8, 2010.
- [24] C. Zidorn, U. Lohwasser, S. Pschorr, D. Salvenmoser, K. H. Ongania, E. P. Ellmerer, A. Borner, and H. Stuppner, "Bibenzyls and dihydroisocoumarins from white salsify (*Tragopogon porrifolius* subsp. *porrifolius*)," *Phytochemistry*, vol. 66, no. 14, pp. 1691-7, 2005.
- [25] C. Tenkerian, M. El-Sibai, C. F. Daher, and M. Mroueh, "Hepatoprotective, Antioxidant, and Anticancer Effects of the *Tragopogon porrifolius* Methanolic Extract," *Evid Based Complement Alternat Med*, vol. 2015, pp. 161720, 2015.
- [26] B. Plackal Adimuriyil George, N. Kumar, H. Abrahamse, and S. S. Ray, "Apoptotic efficacy of multifaceted biosynthesized silver nanoparticles on human adenocarcinoma cells," *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, pp. 14368, 2018.
- [27] A. Zapata, and S. Ramirez-Arcos, "A comparative study of McFarland turbidity standards and the Densimat photometer to determine bacterial cell density," *Curr Microbiol*, vol. 70, no. 6, pp. 907-9, 2015.
- [28] J. Grand, B. Auguie, and E. C. Le Ru, "Correction to combined extinction and absorption uv-visible spectroscopy as a method for revealing shape imperfections of metallic nanoparticles," *Anal Chem*, vol. 92, no. 5, pp. 4164, 2020.
- [29] M. E. Pekdemir, S. Pekdemir, Ş. İnci, S. Kirnağ, and M. Çiftci, "Thermal, magnetic properties and antimicrobial effects of magnetic iron oxide nanoparticles treated with *Polygonum cognatum*," *Iran J Sci Technol Trans Sci* vol. 45, pp. 1579–1586, 2021.
- [30] F. L. Mayer, D. Wilson, and B. Hube, "Candida albicans pathogenicity mechanisms," *Virulence*, vol. 4, no. 2, pp. 119-28, 2013.
- [31] G. Scoppettuolo, C. Donato, E. De Carolis, A. Vella, L. Vaccaro, A. La Greca, and M. Fantoni, "Candida utilis catheter-related bloodstream infection," *Med Mycol Case Rep*, vol. 6, pp. 70-2, 2014.
- [32] S. S. Salem, and A. Fouda, "Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Prospective Biotechnological Applications: an Overview," *Biol Trace Elem Res*, vol. 199, no. 1, pp. 344-370, 2021.
- [33] F. Moradi, S. Sedaghat, O. Moradi, and S. A. Salmanabadi, "Review on green nano-biosynthesis of silver nanoparticles and their biological activities: with an emphasis on medicinal plants," *Inorganic and nano-metal chemistry* vol. 51, no. 1, pp. 133-142.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bazı *o*-Hidroksi Enaminon Türevlerinin ve Sikloheksadienin Tetrachloro-1,4-benzoquinone (TCB) Ortamında Tandem Oxidative-Reaksiyonu ile Sentezi

 Nesimi ULUDAĞ*

^a Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE
* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nuludag@nku.edu.tr
DOI: 10.29130/dubited.1184209

ÖZ

Bu çalışmada 7 adet orjinal *o*-hidroksi aril enaminon ile sikloheksadienin türevleri TCB ortamında tandem reaksiyonu ile sentezlenip, yapıları ¹H NMR, ¹³C NMR ve HR-MS spektroskopisi aydınlatılmıştır. Ayrıca, bu reaksiyon oksidatif birleşme ve molekül içi halkalaşma tepkimesini içermektedir. Kromonlar, doğal olarak oluşan bileşiklerden meydana gelen bir gruptur. Doğada, özellikle bitkilerin bileşenleri içerisinde bulunur. Halkalı kromonların yaygın olarak doğal biyolojik aktif özelliklere sahip olmasından dolayı, literatüre giren her kromon türevlerinin sentezi literatüre önemli katkı yapacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada sentezlenen söz konusu bileşiklerin yüzdesel verimleri oldukça yüksek değerlere sahip olup, oda sıcaklığında ılımlı şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TCB, Oksidasyon, Tandem halkalaşması

Synthesis of some *o*-Hidroksi Enaminone Derivatives and Cyclohexadiene by Tandem Oxidative-Reaction in Tetrachloro-1,4-benzoquinone (TCB) Medium

ABSTRACT

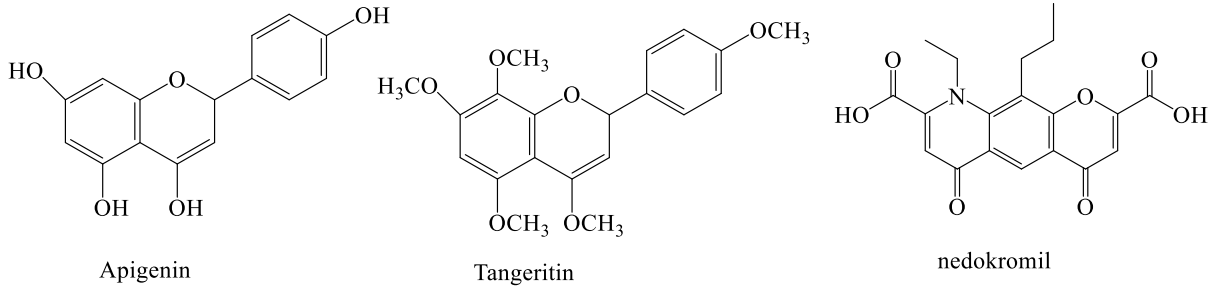
In this study, 7 original *o*-hydroxy aryl enaminone and cyclohexadiene derivatives were synthesized by tandem reaction in TCB medium and their structures were elucidated by ¹H NMR, ¹³C NMR and HR-MS spectroscopy. Also, this reaction includes oxidative coupling and intramolecular cyclization reaction. Chromones are a group of naturally occurring compounds. It is ubiquitous in nature, especially in plants. Since cyclic chromones have common natural biologically active properties, it is thought that the synthesis of each chromone derivative that enters the literature will make an important contribution to the literature. The percent yields of the synthesized compounds were quite high and occurred under mild conditions at room temperature.

Keywords: TCB, Oxidation, Tandem annulation

I. GİRİŞ

Sikloheksadien içeren 7 adet kromon türevi içeren ürün sentezi bu yöntemde tetrachloro-1,4-benzoquinone (TCB) kullanılarak kromon türevleri içeren bileşikler sentezlenmiştir. Kromon ve türevleri doğada bol miktarda bulunur ve geniş bir kısmı çeşitli farmakolojik ve biyolojik aktiviteler anti-inflamatuar [1-3], antikanser [4,5], antioksidan [6,7], antimikrobiyal [8,9], ve anti-HIV [10] özellik gösterir, bu özelliğinden dolayı çok büyük bir ilgi görmektedir (Figür 1). Özellikle yararlı bir yapı taşı olarak, 3-sübstitüe edilmiş kromonlar biyokimya, organik sentez ve tıbbi kimya ya sayısız alanda katkıda bulunmuştur [11,12]. Böylece 3-sübstitüe kromonların sentezlenmesi çok ilgi gördü ve birçok verimli sentetik yöntem geliştirilmiştir [13]. Ancak, TCB kullanılarak kromon türevleri içeren bileşikler literatürde sentezlenmemiştir. Literatürde var olan sentezler için başlıca iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntem, piridin türevleri kullanılarak kromon türevlerinin sentezini içerir, ikincisi, benzofenonların molekül içi halkalaşma tepkimesini içerir. Bunlarla birlikte yukarıda belirtilen reaksiyonların bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlardan bir tanesi de yüksek ısı da gerçekleşmesidir. Bu çalışmada ise reaksiyon (sentez) oda sıcaklığında gerçekleştirilerek önemli bir ekonomik avantaj sağlanmıştır. Bu çalışmanın bir diğer avantajı da, reaksiyonun tek basamakta hedeflenen sentez tasarımına ulaşılmasıdır.

Kromon türevleri gibi halkalı biyolojik aktif bileşiklerin sentezini geliştirmeye yönelik devam eden çalışmalarımızın bir parçası olarak bu çalışmada da heterosiklik bileşiklerin hazırlanması için yeni yöntem geliştirilmiştir [14-16]. İlk önce 3-(dimetilamino)-1-(2-hidroksifenil)prop-2-en-1-on (**1a**) ile siklohekza-1,3-dien (2)' in reaksiyonu dikloroetan içerisinde oda sıcaklığında TCB ortamında incelenmiştir. Daha sonra, reaksiyon şartları 3-(dimetilamino)-1-(2-hidroksifenil)prop-2-en-1-on (**1a**) reaksiyonu optimize edildikten sonra, bir dizi **1a** bileşiğinin türevleri de aynı şartlarda gerçekleştirilmiştir (Şema 1). Yan grup olarak elektron çekici ve elektron verici gruplar ile reaksiyonun oda sıcaklığında oluştuğu, NMR ve diğer spektroskopik yöntemler kullanılarak yapı analizi yapılarak kanıtlanmıştır. Bu sonuçlara ait yüzdesel verimler de deneysel kısımda verilmiştir.



Figür 1. Bazı biyolojik aktif o-hidroksi enaminon türevleri.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. GENEL MATERYAL VE YÖNTEM

Kolon kromatografisi silika jel (200-300 partikül büyüklüğü); Petrol eteri = PE. ¹H NMR spektrumları bir 400 MHz spektrometresi'de kaydedildi (Bruker Avance III 400 MHz NMR spektrometresi) veya 600 MHz spektrometre (Bruker Ascend 400 MHz süper iletken NMR spektrometresi). ¹³C NMR spektrumları 100 MHz'de kaydedildi spektrometre (Bruker Avance III 400 MHz NMR spektrometre) veya 100 MHz spektrometresi (Bruker Ascend 400 MHz süper iletken NMR spektrometre). NMR, dâhili standarda göre rapor edilir CDCl₃ için TMS (δ = 0). Yüksek çözünürlüklü kütle spektrumları (HR-MS)

kaydedildi ESI-TOF'ta. Erime noktaları bir SGW X-4 ile ölçüldü. Reaktifler ticari kimyasal reaktiflerden satın alındı. Enaminler **1** literatüre göre hazırlandı.

B. BİLEŞİK SENTEZİ VE SPEKROSKOPİK ANALİZ

B.1. Deney Prosedürü

Sentezde kullanılan başlangıç bileşiği olan enaminonlar **1** literatüre göre hazırlanmıştır [Angew. Int. Ed. 2014, 53, 9603].

B.2. 3-Fenil-4H-kromen-4-on (**3**) sentezi; Genel prosedür:

Siklohekza-1,3-dien **2** (2 mmol) ve TCB (0.136 g, 0.6 mmol), DCE (5 mL) içinde 5 dakika karıştırıldı, ardından enaminon **1** (0.5 mmol) eklendi. Karışım belirtilen süre için karıştırıldı, oda sıcaklığın 'da TLC ile kontrol edilerek karıştırıldı. Reaksiyon tamamlandıktan sonra, çözücü döner buharlaştırıcıda basınç altında uzaklaştırıldı. Daha sonra Kolon kromatografisi ile saflaştırma işlemi uygulanarak saf ürün elde edildi ve **3** nolu bileşik ve türevleri sentezendi (silika jel, Petrol eteri/EtOAc, 2:1- 30:1)

B.3. 3-Fenil-4H-kromen-4-on (**3a**)

Reaksiyon süresi: 2 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silika jel, petrol eteri/EtOAc, 4:1); beyaz katı; verim: 98 mg (%83); en 97–99 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ = 8.21 (dd, *J* = 8.1, 1.6 Hz, 1H), 7.83 (d, *J* = 0.5 Hz, 1H), 7.60–7.63 (m, 2 H), 7.52 (d, *J* = 8.5 Hz, 1H), 7.41–7.34 (m, 2H), 6.62–6.60 (m, 2H), 6.31 (dd, *J* = 9.1, 6.4 Hz, 1 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 176.1, 157.2, 153.8, 134.4, 131.7, 128.7, 128.3, 127.4, 124.9, 125.4, 123.9, 123.6, 123.1, 122.8, 117.9.

HRMS (ESI): *m/z* [M+ H]⁺ C₁₅H₁₀O₂ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 223.0913; bulunan: 223.0918.

B.4. 7-Methyl-3-phenyl-4H-chromen-4-one (**3b**)

Reaksiyon süresi: 4 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silika jel, petrol eteri(EtOAc, 7:2); beyaz katı ; verim: 107 mg (%86); en 120-122 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ = 8.17 (d, *J* = 8.2 Hz, 1 H), 7.71 (s, 1 H), 7.20–7.17 (m, 2 H), 6.84–6.73 (m, 2 H), 6.2–6.19 (m, 2 H), 6.01 (dd, *J* = 9.2, 6.3 Hz, 1 H), 2.48 (s, 3 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 176.4, 155.3, 151.6, 142.6, 133.5, 131.6, 130.3, 128.2, 128.6, 127.2, 124.5, 124.9, 123.7, 121.1, 118.2, 21.9.

HRMS (ESI): *m/z* [M+ H]⁺ C₁₆H₁₂O₂ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 236.0772; bulunan: 226.0767.

B.5. 7-Methoxy-3-phenyl-4H-chromen-4-one (**3c**)

Reaksiyon süresi: 3 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silika jel, petrol eteri(EtOAc, 3:2); beyaz katı ; verim: 105 mg (%79); en 156-158 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ = 8.10 (d, *J* = 8.6 Hz, 1 H), 7.73 (d, *J* = 0.5 Hz, 1 H), 7.39 (d, *J* = 8.7 Hz, 1 H) 7.14 (dd, *J* = 8.7, 2.3 Hz, 1 H), 6.89 (d, *J* = 2.3 Hz, 1 H), 6.64–6.63 (m, 2 H), 6.41–6.38 (m, 2H), 3.84 (s, 3 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 175.6, 161.9, 156.1, 153.2, 131.6, 128.2, 128.7, 127.1, 126.4, 124.4, 124.8, 122.8, 117.2, 113.5, 101.0, 55.3.

HRMS (ESI): *m/z* [M+ H]⁺ C₁₆H₁₂O₃ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 252.1014; bulunan: 252.1008.

B.6. 7-Kloro-3-phenyl-4H-chromen-4-one (3d)

Reaksiyon süresi: 3 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silica jel, petrol eteri (EtOAc, 18:1); beyaz katı ; verim: 117 mg (%87); en 110-112 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ = 8.14 (d, *J* = 8.6 Hz, 1 H), 7.75 (s, 1 H), 7.43 (d, *J* = 1.7 Hz, 1 H), 7.34 (dd, *J* = 8.7, 189 Hz, 1 H), 7.12–7.07 (m, 2 H), 6.89–6.677 (m, 2 H), 5.49 (dd, *J* = 9.2, 6.5 Hz, 1 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 177.4, 155.4, 151.9, 142.6, 132.7, 131.9, 128.4, 128.9, 127.5, 127.2, 126.7, 123.4, 123.1, 121.7, 118.1.

HRMS (ESI): m/z [M+ H]⁺ C₁₅H₉ClO₂ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 256.0301; bulunan: 256.307.

B.7. 7-Bromo-3-phenyl-4H-chromen-4-one (3e)

Reaksiyon süresi: 4 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silica jel, petrol eteri (EtOAc, 11:1); parlak sarı katı ; verim: 135 mg (%85); en 147-149 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ = 8.14 (d, *J* = 8.3 Hz, 1 H), 7.73 (d, *J* = 0.6 Hz, 1 H), 7.59 (d, *J* = 1.8 Hz, 1 H), 7.48 (dd, *J* = 8.5, 1.8 Hz, 1 H), 6.67–6.62 (m, 2 H), 6.44–6.36 (m, 2 H), 6.29 (dd, *J* = 9.0, 6.3 Hz, 1 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 175.6, 155.3, 151.9, 131.6, 132.2, 131.9, 129.7, 128.7, 126.8, 127.5, 124.7, 124.3, 124.1, 123.8, 121.4.

HRMS (ESI): m/z [M+ H]⁺ C₁₅H₉BrO₂ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 301.0141; bulunan: 301.0137.

B.8. 7-Floro-3-phenyl-4H-chromen-4-one (3f)

Reaksiyon süresi: 4 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silica jel, petrol eteri (EtOAc, 14:1); beyaz katı ; verim: 108 mg (%86); en 109-111 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ = 8.44–8.36 (m, 1 H), 7.79 (s, 1 H), 7.41–7.38 (m, 1 H), 7.29–7.26 (m, 2 H), 6.11–7.07 (m, 2 H), 6.88 (dd, *J* = 9.2, 6.1 Hz, 2 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 172.3, 163.5, 154.2, 152.0, 132.7, 131.9, 129.6, 127.7, 126.6, 125.4, 124.6, 123.0, 122.1, 114.9, 106.6.

HRMS (ESI): m/z [M+ H]⁺ C₁₅H₉FO₂ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 240.0122; bulunan: 240.0128.

B.9. 7-(Benzyloxy)-3-phenyl-4H-chromen-4-one (3g)

Reaksiyon süresi: 4 saat; saflaştırma: kolon kromatografisi (silica jel, petrol eteri (EtOAc, 4:1); beyaz katı ; verim: 123 mg (%72); en 163-165 °C. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ 8.13 (d, *J* = 8.9 Hz, 1 H), 7.74 (d, *J* = 0.6 Hz, 1 H), 7.54–7.47 (m, 4 H), 7.12 (dd, *J* = 8.9, 2.4 Hz, 1 H), 6.91 (d, *J* = 2.4 Hz, 1 H), 6.73–6.64 (m, 2 H), 6.28–6.25 (m, 2 H), 5.50 (dd, *J* = 9.0, 6.4 Hz, 2 H), 5.21 (s, 2 H). ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃): δ = 177.5, 163.9, 156.9, 154.4, 136.7, 132.5, 131.8, 128.9, 128.3, 127.4, 127.1, 126.3, 125.8, 124.8, 123.1, 122.7, 119.3, 117.5, 113.9, 109.2, 104.2, 70.5.

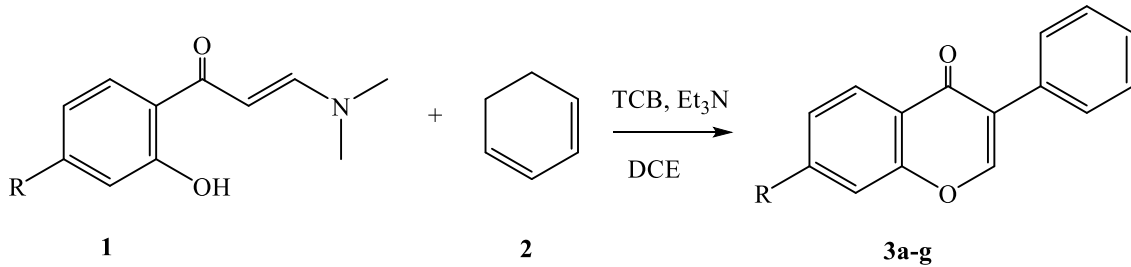
HRMS (ESI): m/z [M+ H]⁺ C₂₂H₁₆O₃ yapısı için kütle spektroskopisi; hesaplanan: 328.0110; bulunan: 328.0119.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yeni sentez yöntemlerinin geliştirmeye yönelik devam eden çabalarımızın bir parçası olarak biyolojik olarak aktif heterosiklik sentezi için yeni bir yöntemle tetrachloro-1,4-benzoquinone (TCB) Ortamında Tandem oxidative-reaksiyonu kullanarak, 7 tane farklı bileşiğin sentezi oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, (E)-3-(dimetilamino)-1-(2-hidroksifenil)prop-2-en-1-on (**1**) ile siklohekza-1,3-dien (**2**) ile reaksiyonu oda sıcaklığında 1,2-dikloretan (DCE) içinde 2a TCB (3.0 eşdeğer mol) incelenmiştir. İstenilen ürün **3a**, 3 saat içinde %83 verimle elde edildi. Bu amaçla, çeşitli enamin türevleri hazırlandı ve optimize edilmiş reaksiyon koşullarına tabi tutuldu, ayrıca reaksiyon sıcaklığının artması verimin düşmesine aynı zamanda farklı istenmeyen ürünlerin oluşuma **sebep** olmuştur. Ayrıca siklohekza-1,3-dien'in substrat olarak kullanımı incelenmiş ancak standart reaksiyon koşullarında istenilen ürün elde edilmiştir. Bu yöntemin potansiyel olarak diğer benzer sentezler için uygulanabilir olması ortaya çıkmaktadır, organik kimyada sentez yöntemlerini geliştirilmesi hem endüstriyel uygulamaları hem de araştırmada önemlidir, yüksek ısı ile oluşan reaksiyonlar endüstri için ekstra maliyet getirmektedir. Bütün bu avantajların yanında, bu çalışmada da farklı bir reaktif olarak TCB kullanarak yeni bir bakış açısı geliştirilmiştir.

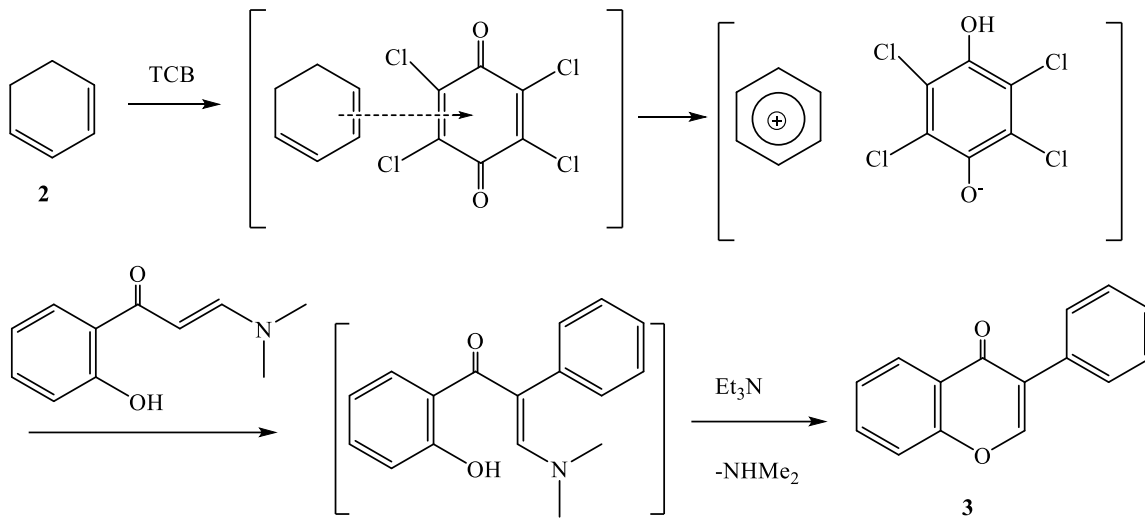
Elde edilen sonuçlara dayanarak, Şema 1 'de makul bir sentez planı önerilmiştir. Başlangıçta, siklohekza-1,3-dien (**2**), yük transfer kompleks yoluyla ve hidrit transferini takiben iyon çifti istenilen ürünü (**3**) vermek üzere TCB ile reaksiyona girer. Daha sonra, enaminonla, birleştirilmiş ara ürünü vermek için iyon çiftindeki siklohekza-1,3-dien'e bağlanır. Son olarak, farklı yan grupları kullanarak ve daha fazla siklizasyon ile istenen ürün olan **3a** ve farklı yan gruplara sahip türevleri sentezlendi. Yukardaki sonuçlara dayanarak, daha sonra, bir dizi deneyler ile yeni geliştirilen Tandem Oxidative-Reaksiyonu ile kinolin türevleri sentezlendi Şema 2 de makul bir mekanizma önerildi.

Sonuç olarak, bir TCB reaktifini bu çalışmada ilk defa kullanarak tandem oksidatif halkalaşması oda sıcaklığı gibi ılımlı koşullar altında yöntem geliştirildi [17-22]. Bu çalışma ayrıca daha uygun ve uygulanabilir bir yöntem olarak azaksantonların sentezine yönelik yeni bir yöntem geliştirildi.



- R₁ : -H
- R₂ : -CH₃
- R₃ : -OCH₃
- R₄ : -Cl
- R₅ : -Br
- R₆ : -F
- R₇ : -OCH₂C₆H₅

Şekil 1. o-Hidroksi enaminon türevlerinin sentez planı.



Şekil 2. *o*-Hidroksi enaminon türevlerinin sentezi önerilen reaksiyon mekanizması.

IV. SONUÇ

Sonuç olarak, farklı yeni bir yöntemle 3-fenil-4H-kromen-4-on ve türevlerinin sentezini Tandem dehidrojenasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Başlangıç malzemelerinin ekonomik ve kolay ulaşılabilir, metal içermeyen normal oksidanlara ihtiyaç duymadan dehidrojenasyon ve ürünlerin mükemmel verimleri ana avantajlarındandır. Elde edilen bu sonuçlar ile diğer elektron çekici-verici gruplara sahip farklı heterosiklik biyolojik aktif moleküllerin sentezinde uygulanabilecektir. Ayrıca daha uygun ve uygulanabilir bir yöntem sağlamaktadır

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından desteklenmiştir (Proje no: **NKUBAP.00.10.AR.12.15**).

V. KAYNAKLAR

- [1] C. F. M. Silva, D. C. G. A. Pinto and A. M. S. Silva “Chromones: A Promising Ring System for New Anti-inflammatory Drugs,” *ChemMedChem*, vol. 11, pp. 2252-2260, 2016.
- [2] K. M. Khan, N. Ambreen, U. R. Mughai, S. Perveen and M. I. Choudhary, “3-Formylchromones: Potential antiinflammatory agents,” *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 45, pp. 4058-4064, 2010.
- [3] D.-R. Zhang, L. -P. Hu, C. -Y. Y. X. Li, M.-Y. Teng, B. Liu and G.-L. Huang, “Tetramethylammonium Iodide (TMAI)-Promoted Sulfenylation/Annulation of Enaminones with Thiosulfonates,” *Asian Journal of Organic Chemistry*, vol. 11, pp. e202100694, 2022.
- [4] G. J. Atwell, G.W. Rewcastle, B.C. Baguley and W.A. Denny, “Potential antitumor agents. 60. Relationships between structure and in vivo colon 38 activity for 5-substituted 9-oxoxanthene-4-acetic acids,” *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 33, pp. 1375–1379, 1990.

- [5] S. H. Han, S. Kim, U. De, N. K. Mishra, J. Park, S. Sharma, J. H. Kwak, S. Han, H. S. Kim, and I. S. Kim, "Synthesis of Succinimide-Containing Chromones, Naphthoquinones, and Xanthenes under Rh(III) Catalysis: Evaluation of Anticancer Activity," *Journal of Organic Chemistry*, vol. 81, pp. 12416-12425, 2026.
- [6] M. Kuroda, S. Uchida, K. Watanabe and Y. Mimaki, "Chromones from the tubers of *Eranthis cilicica* and their antioxidant activity," *Phytochemistry*, vol. 70, pp. 288-293, 2009.
- [7] E. Fernandes and J. L. F. C. Lima, "Synthesis and antioxidant properties of new chromone derivatives," *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, vol. 17, pp. 7218-7226, 2009.
- [8] F. Cagide, T. Silva, J. Reis, A. Gaspar, F. Borges, L. R. Gomes and J. N. Low, "Discovery of two new classes of potent monoamine oxidase-B inhibitors by tricky chemistry," *Chemical Communication*, vol. 51, pp. 2832-2835, 2015.
- [9] J. Reis, A. Gaspar, N. Milhazes and F. Borges, "Chromone as a Privileged Scaffold in Drug Discovery: Recent Advances," *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 60, pp. 7941-7957, 2017.
- [10] A. Gaspar, M. J. Matos, J. Garrido, E. Uriarte and F. Borges, "Chromone: A Valid Scaffold in Medicinal Chemistry," *Chemical Review*, vol. 114, pp. 4960-4992, 2014.
- [11] D.I.S.P. Resende, F. Durães, M. Maia, E. Sousa and M.M.M. Pinto, "Recent advances in the synthesis of xanthenes and azaxanthenes," *Organic Chemistry Frontiers*, vol. 7, pp. 3027-3066, 2020.
- [12] D. Sanglard, "Emerging threats in antifungal-resistant fungal pathogens," *Frontiers in Medicine*. Vol.3, pp. 1-10, 2016.
- [13] K. Navjeet, "Synthesis of five-membered heterocycles containing nitrogen heteroatom under ultrasonic irradiation," *Journal of Organic Chemistry*, Vol.16, pp. 481-503, 2019.
- [14] G. Serdaroglu, and N. Uludag, "Structural, electronic, and spectroscopic study on 1, 5-methanoazocino [4, 3-b] indole synthesized by TFB-based route," *Chemical Papers*, vol. 75, pp. 4549-4564, 2021.
- [15] N. Uludag, "A New Approach to the Total Synthesis of (\pm)-Nordasycarpidone by Ring-closure with Tetrachloro-1, 4-benzoquinone," *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 39, pp. 11-16, 2020.
- [16] N. Uludag, "An Effective Approach to the Strychnos Alkaloids: Total Synthesis of tubifolidine," *Chemistry of Natural Compounds*, vol. 57, pp. 491-496, 2021.
- [17] C.-Y. Yang, D.-R. Zhang, L.-P. Hu, X. Li, S.-C. Yang, B. Liu and G. Huang, "Visible-light-induced sulfonylation of Baylis-Hillman acetates under metal- and oxidant-free conditions," *New Journal of Chemistry*, vol. 45, pp. 22243-22248, 2021.
- [18] R. J. Reddy, A. H. Kumari, J. J. Kumar and J. B. Nanubolu, "Cs₂CO₃-mediated vicinal Thiosulfonylation of 1,1-dibromo-1-Alkenes with thiosulfonates: An expedient synthesis of (E)-1,2-thiosulfonylethenes," *Advanced Synthesis and Catalysis*, vol. 361, pp.1587-1591, 2019.
- [19] P. Mampuy, C. R. McElroy, J. H. Clark, R. V. A. Orru and B. U. W. Maes, "Thiosulfonates as Emerging Reactants: Synthesis and Applications," *Advanced Synthesis and Catalysis*. Vol. 362, pp. 3-64, 2020.
- [20] M. Y. Kornev, D. S. Tishin, D. L. Obydenov, V. Y. Sosnovskikh, "Reactions of 3-Functionalized Chromones with Triacetic Acid Lactone," *Mendeleev Communications*, Vol. 30, pp. 233-235, 2020.

[21] M. N. Elinson, Y. E. Ryzhkova, F. V. Ryzhkov, "Multicomponent Design of Chromeno[2,3-*b*]pyridine Systems," *Russian Chemical Reviews*, Vol. 90, pp. 94-115, 2021.

[22] M. A. Ibrahim, Y. A. Alnamer, "Synthetic Approaches for Construction of Novel 3-Heteroarylchromeno[2,3-*b*]pyridines and Annulated Chromenopyridopyrazolopyrimidines," *Heterocycles*, Vol. 102, pp. 2138-2152, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kontrollü Metotreksat Salımı İçin Selüloz Temelli Poliüretan Yapıların Sentezi ve Yapısal Özelliklerinin Karakterizasyonu

 Fatma Bilge EMRE ^{a,*},  Fadime Nilüfer KIVILCIM ^b

^a Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Eğitim Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE

^b Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fatma.emre@inonu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.12085889

ÖZ

Çalışma kapsamında önemli bir kemoterapötik ajan olan metotreksatın (MTX) kontrollü ve uzun süreli salımında kullanılmak amacıyla selüloz temelli poliüretan yapıları geliştirildi. Hedefe yönelik kontrollü ilaç salımı ile ilaçların kullanımını ve destek tedavilerinin iyileştirilmesi sayesinde yaşam yüzdelerinde belirgin bir artış kaydedilmiştir. Metotreksat (MTX), akut lenfoblastik lösemi (ALL), lenfoma gibi pek çok kanser hastalarının tedavisinin yanı sıra romatoid artrit, psöriasis gibi pek çok kronik hastalıkların tedavisinde de sıklıkla reçete edilen bir ilaçtır. Özellikle selüloz temelli poliüretan üniteleri arasında yumuşak segmenti oluşturmak amacıyla Polietilen glikol-1000 (PEG-1000) yapısı kullanılarak optimum şişme ve ilaç yükleme özelliğine sahip poliüretan (PU) yapısı elde edildi. Elde edilen PU yapıları Fourier Transfer Infrared Spektrofotometresi (FTIR) ile yapısal olarak karakterize edildi. Yapıların termal kararlılıkları ve ısıl özellikleri Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazları kullanılarak belirlendi. Yüzeysel özellikleri ve morfolojileri liyofilize edilmiş hidrojel yapıları kullanılarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile belirlendi. Elde edilen poliüretan yapılarının şişme özellikleri ve ilaç yükleme özellikleri incelendi. Optimum özellik gösteren PEG-1000 temelli selüloz bazlı PU yapısı üzerine farklı oranlarda MTX yüklemesi yapılarak salım kinetiği detaylı olarak çalışıldı. Sonuç olarak elde edilen selüloz temelli PU yapıları MTX yüklemesi için uygun yapı ve morfolojiye sahip olduğu ve yaklaşık olarak 24 saatlik uzun bir salım süresi gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Selüloz, PU, İlaç salım sistemi, Metotreksat (MTX), Hidrojel.

Synthesis and Characterization of Structural Properties of Cellulose-Based Polyurethane Structures for Controlled Methotrexate Release

ABSTRACT

Within the scope of the study, cellulose-based polyurethane structures were developed to be used in the controlled and prolonged release of methotrexate (MTX), an important chemotherapeutic agent. A significant increase in survival rates has been recorded thanks to the targeted controlled release of drugs, the use of drugs and the improvement of supportive treatments. Methotrexate (MTX) is a drug that is frequently prescribed for the treatment of many cancer patients, such as acute lymphoblastic leukemia (ALL), and lymphoma, as well as many chronic diseases, such as rheumatoid arthritis and psoriasis. Polyethylene glycol-1000 (PEG-1000) structure was used to create the soft segment, especially among the cellulose-based polyurethane units, and the polyurethane (PU) structure with optimum swelling and drug loading properties was adjusted. The resulting PU structures were structurally characterized by Fourier Transfer Infrared Spectrophotometer (FTIR). The thermal stability and thermal properties of the structures were determined using Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential

Scanning Calorimetry (DSC) devices. Surface properties and morphologies were determined by Scanning Electron Microscopy (SEM) using lyophilized hydrogel structures. The swelling properties and drug loading properties of the obtained polyurethane structures were investigated. The release kinetics were studied in detail by loading different ratios of MTX on the PEG-1000-based cellulose-based PU structure, which showed optimum properties. As a result, it was determined that the obtained cellulose-based PU structures had the appropriate structure and morphology for MTX loading and showed a long release time of approximately 24 hours.

Keywords: Cellulose, PU, Drug delivery system, Methotrexate (MTX), Hydrogel.

I. GİRİŞ

Günümüz medikal teknolojisinde belirli kemoterapötik ajanların kontrollü ve uzun süreli salımları için pek çok polimerik yapı geliştirilmektedir [1]. Bu polimerik yapılar arasında biyouyumlu polimerler, fırça tipi yapılar, dendrimerler, inorganik ağ yapılı polimerler, organik çapraz bağlı polimerler ve hidrojeller oldukça önem arz etmektedir [2]. Özellikle hidrojel yapıların esnek dayanıklı ve kontrollü şişebilme özellikleri bu alanda ön plana çıkmalarına yol açmıştır [3]-[5]. Yapısal olarak ayarlanabilir olmaları özellikle salımı gerçekleştirilecek ilaç molekülü için potansiyel bir avantaj ortaya koymaktadır. Hidrojellerdeki çapraz bağlı üniteler arasındaki mesafenin kontrolü ile daha küçük moleküllerin daha uzun süreli salımı mümkün olmaktadır [6]. Bu sayede doksorubisin [7], paklitaksel [8], sisplatin [9], kapesitabin [10] ve bileomisin [11] gibi kanser ilaçlarının salımında kullanılacak hidrojel yapıları rahatlıkla dizayn edilebilir. Hidrojel yapılarının dizaynında salımı gerçekleştirilecek ilacın büyüklüğü, çözünürlüğü, polaritesi, fonksiyonel grubun özellikleri, fonksiyonel grup sayısı, elektron yoğunluğu ve farmakodinamik özellikleri göz önüne alınarak çapraz bağlayıcı üniteler ve yumuşak segmentler ayarlanabilir. Özellikle biyouyumlu polimerik yapılarda kitin [12], [13], kitosan [14], gum arabic [15], nişasta ve selüloz gibi yapılar kullanılabilirdiği gibi sentetik olarak üretilmiş polilaktik asit (PLA) [16], polietilen glikol (PEG) [17], polipropilen (PP), polihidroksi etilmetakrilat (PHEMA) [18] gibi yapılar hidrojinin por boşluklarını ve por alanlarını hesaplamak için kullanılabilir. Ayrıca pek çok ilaç taşıyıcı sistem tasarımında siklodextrin [19], kaliksaren [20] ve çok fonksiyonlu kor yapılarına ait üçüncü bir ünite de hidrojinin mekanik dayanımını artırmak için kullanılmaktadır. Aksi takdirde kullanım sırasında hidrojel biyodegradasyon ile dağılarak bulunduğu sisteme sorun teşkil edebilir. Bu nedenle bu alanda farklı çapraz bağlayıcı ve farklı çok fonksiyonlu kor gurupları kullanılarak alternatif hidrojel ünitelerin üretimine ait çalışmalar devam etmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında da yoğun kimyasal çapraz bağlanmayı içeren Polietilen glikol (PEG) temelli Poliüretan (PU) yapıları hazırlanarak selülozik yapılarla etkileştirilmiş ve uzun süreli salım gerçekleştirebilecek ikili hidrojel sistemleri elde edilmiştir. Bu sistemde özellikle poliüretan ve selüloz ünitelerinin polar yapısı ilaç yükleme işleminin işlevselleştirilmesi için tercih edilmiş olup PEG yapısı hidrojinin esnek bir yapıya sahip olması ve şişme özelliğinin kontrol edilebilmesi için kullanıldı. Ayrıca fiziksel bir bağlanma kullanılarak elde edilmiş ikili bir hidrojel yapısı ise kontrollü bir ilaç salım özelliğinin elde edilmesi amacıyla tercih edilmiştir. Elde edilen iki bileşenli yapılar FTIR termal analiz ve SEM teknikleriyle karakterize edilerek uygun değer yapıya sahip PU yapısı üzerine MTX yüklemesi yapılmıştır. PBS tampon kullanılarak yapılan ilaç salım çalışmalarında Ultraviyole spektrofotometresi (UV) kullanılarak 330 nm dalga boyunda MTX'in salım kinetiği belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen PEG temelli PU ve selüloz sisteminin MTX salımı için uygun olduğu görülmüştür.

II. MATERYAL METOT

A. KİMYASALLAR

Çalışma kapsamında kullanılan PEG-1000, Hegzametilen diizosiyanat (HMDI) ve Dibütil tin laurat (DBTL) Sigma firmasından temin edilmiş olup analitik saflıktadır. Analitik saflıkta olan Dimetil formamid (DMF) Fluka firmasından satın alındı. 4831 kodlu selüloz temelli malzeme ticari olarak temin edildi.

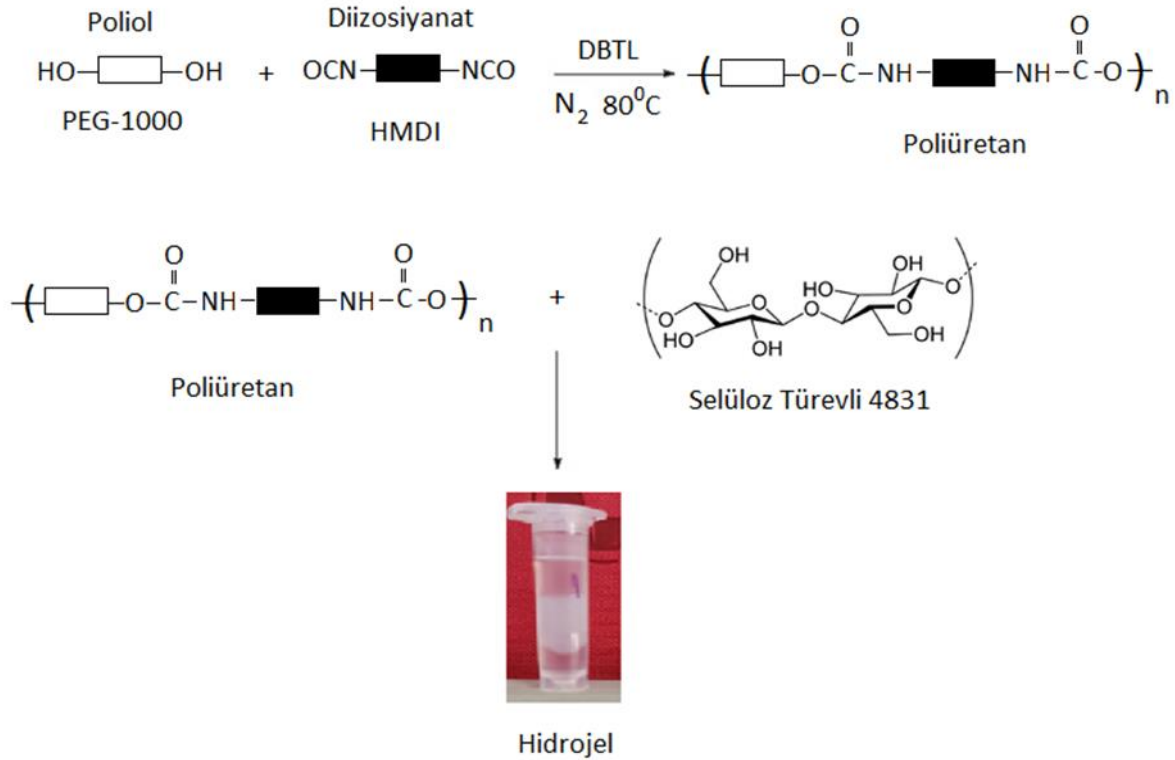
B. CİHAZLAR

Çalışma kapsamında sentezlenen PU yapıları ve hidrojel yapıların yapısal karakterizasyonunda Perkin Elmer Spektrum II kullanıldı. FTIR spektrum analizleri, ATR modunda 400-4000 cm^{-1} aralığında 4 cm^{-1} duyarlılıkla alındı. Hidrojel yapıların termal kararlılıkları ve ısıl özellikleri Shimadzu DTA 50 ve DSC 60 cihazları kullanılarak belirlendi. DTA analizleri 10 $^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızı ve 7 mg örnek ile statik hava atmosferinde yapıldı. DSC analizlerinde 5 $^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ısıtma hızı ve 5 mg örnek kullanılmıştır. Tüm DSC analizleri statik hava atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hidrojel yapılarının yüzey morfolojileri ve yüzey yapıları Leo Evo 40 SEM cihazı ile belirlendi. SEM analizlerinden önce BIOBASE marka liyofilizatör ile liyofilizasyon işlemi gerçekleştirildi. Liyofilize edilmiş numuneler BALTEK marka Spoter kullanılarak 40 nm altın paladyum ile kaplandı. İlaç salım özellikleri incelenmesi sırasında Shimadzu UV 1600 model çift ışın yollu UV spektrofotometre kullanıldı.

C. SENTEZ

C. 1. PEG Temelli PU Yapıların Sentezi

Çalışma kapsamında MTX salımı için PU-selüloz yapılı hidrojel sistemleri hazırlandı bu hidrojel sistemlerinin sentez şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. PU-selüloz yapılı hidrojel yapılarının sentezi.

Çalışmada kullanılacak PU'nun sentezlenmesi için üç boyunlu bir balonda ilk olarak 1 g PEG -1000 üzerine 3 mL DMF ilave edilerek PEG-1000'in çözünmesi sağlandı. Bir tüp içerisinde 2 mL DMF içerisine 0.168 mL HMDI eklenerek homojen bir karışım oluşturuldu. Hazırlanan bu çözelti üç boyunlu balondaki PEG-1000 çözeltisi üzerine azot atmosferi altında damla damla ilave edildi ve manyetik olarak karıştırıldı. Azot atmosferi altında ve manyetik olarak karıştırılmaya devam eden PEG-1000/HMDI ve DMF karışıma katalizör olarak 4 damla DBTL ilavesi yapıldıktan sonra yaklaşık 10 dakika daha N_2 atmosferine altında karıştırılmaya devam edildi. Elde edilen bu son karışım 80° de iki saat ısıtıldı. Bu süre sonunda Poliüretanın olup olmadığı FT-IR spektrofotometresi ile takip edildi [21].

C.2. PU- Selüloz İkili Hidrojel Sisteminin Sentezi

PU- Selüloz ikili hidrojel sisteminin sentezi için sentezlenmiş olan PU'dan 500 µL alınarak üzerine 300 µL ağırlıkça %1'lik selüloz temelli malzeme olan 4831'den ilavesi yapıldı. Homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık bir dakika vortekslenen karışımın jelleşmesinin tamamlanması için 37 °C'ye ayarlı etüve yerleştirildi ve 2 dakika içerisinde jel oluşumunun gerçekleştiği gözlemlendi [22].

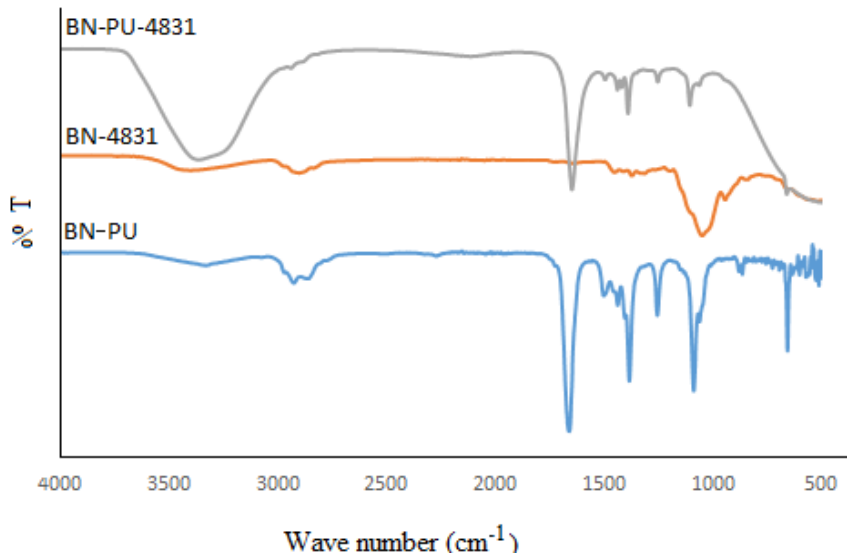
C.3. İlaç Salım Çalışması

Çalışma kapsamında belli konsantrasyonlarda MTX çözeltileri hazırlanarak 200-800 nm aralığında UV spektrumları alındı. Elde edilen spektrumlar üzerinde 330 nm'deki MTX in $\pi - \pi^*$ geçişine bağlı olarak kalibrasyon eğrisi oluşturuldu. İlaç salım işlemleri ise 250 mg MTX yüklenmiş jellerden membran difüzyon yöntemi ile zamana bağlı olarak salım işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnekler salım süresince 37 °C de fosfat tampon tuzunda (PBS, pH=7,4) tutuldu. Salım için absorbans değerleri ilk 1 saatte her 5 dakikada bir, ikinci bir saate her 10 dakikada bir, üçüncü saatte ise her 20 dakikada bir ve 4, 5, 6, 12. ve 24. saatte bir okundu. Belirli zaman aralıklarında salım ortamından alınan numunelerin emilimleri 330 nm'de UV spektrofotometresi ile belirlendikten sonra kalibrasyon grafiği eğrisinden MTX'in konsantrasyonları hesaplanarak salım kinetiği belirlenmiştir.

III. BULGULAR

A. 1. Hidrojel Yapıların Karakterizasyonu

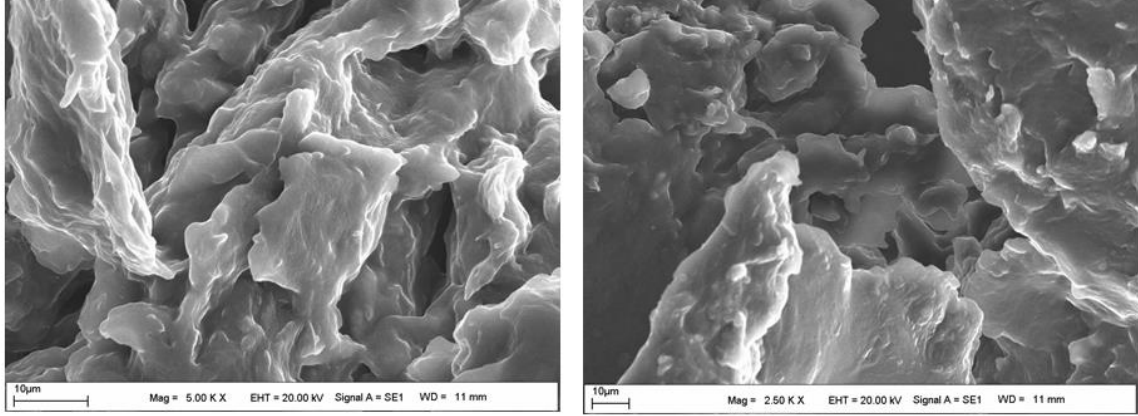
Çalışma kapsamında elde edilen PEG-1000 temelli poliüretan, PEG-1000 temelli poliüretan- selüloz ve saf selüloz yapılarına ait FTIR spektrumları Şekil 2'de verildi.



Şekil 2. PEG-1000 temelli poliüretan, poliüretan/selüloz ve selülozik yapılarına ait FTIR spektrumları.

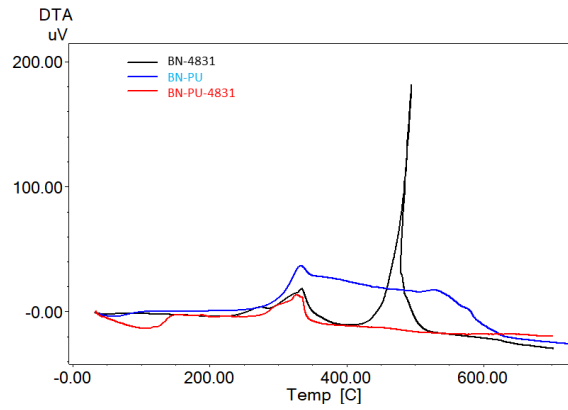
Saf selüloz yapısına ait spektrumda özellikle 3000-3600 cm⁻¹ aralığında geniş bir bant piki görülmektedir. Bu pik yüzey hidroksil gruplarına ait H bağı gerilme pikidir. Ayrıca 1500 cm⁻¹ de alifatik C-C ana zincir pikleri ve 1360 cm⁻¹ de C-C gerilme pikleri görülmektedir. 1000-1112 cm⁻¹ aralığındaki geniş pik C-O-C eterik gerilme titreşimi olarak görülmektedir. 2850-2950 cm⁻¹ de alifatik C-H yapılarına ait C-H gerilme piki saf selüloz yapısında belirgin olarak görülmektedir. Çalışma kapsamında uygun

değer PU yapısı olarak belirlenen PEG-1000 temelli PU yapısının FT-IR spektrumunda ise 1810 cm^{-1} civarında C-O gerilme titreşimi, 1440 cm^{-1} de C-N üretan piki görülmektedir. 1390 cm^{-1} de ise C-C heksametilen yapısına ait pikler görülmektedir. Poliüretan yapısında 2260 cm^{-1} civarında izosiyanat pikinin kaybolmuş olması PU oluşumunu ispatlamaktadır. PU ve selüloz yapılarının eş zamanlı enjeksiyonu ile elde edilen hidrojel yapılarına ait FT-IR spektrumlarında ise selüloz yapısından kaynaklı $300\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında geniş hidrojen bağı net olarak görülmektedir. Ayrıca PU yapısından kaynaklı klasik PU pikleri olan 1820 cm^{-1} deki üretan karbonil grubu ve 1440 cm^{-1} civarında ki C-N gerilme titreşimi elde edilen ikili yapıyı ispatlamaktadır.

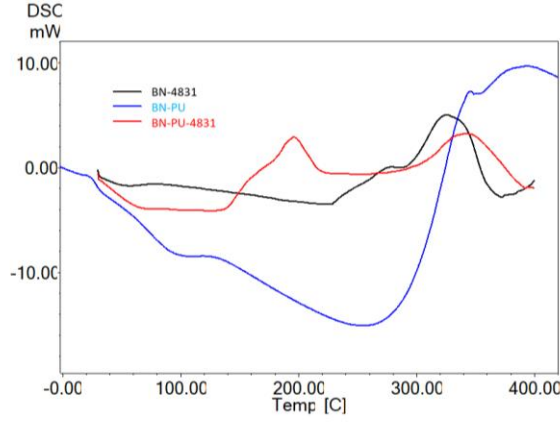


Şekil 3. PU selüloz ikili hidrojel sistemine ait liyofilizasyon sonrasına ait SEM görüntüleri.

Çalışma kapsamında elde edilen PU selüloz ikili hidrojel sistemine ait liyofilizasyon sonrasına ait SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Farklı büyüklüklerde verilen SEM görüntülerinden yapı oldukça homojen ve kaviteli olarak gözlenmiştir. Belli bölgelerde hızlı kurutmaya bağlı olarak fraktal bir yapı göstermiştir. Elde edilen tüm SEM görüntüleri klasik hidrojel yapıya benzerlik göstermektedir. Bu nedenle istenilen yapıda bir hidrojel yapısı elde edildiği ispatlanmıştır. Sentezlenen hidrojel yapıların medikal uygulamalarda kullanılması düşünüldüğünden belirli düzeyde termal kararlılığa sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle elde edilen yapıya ait DTA ve DSC termogramları alınarak Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



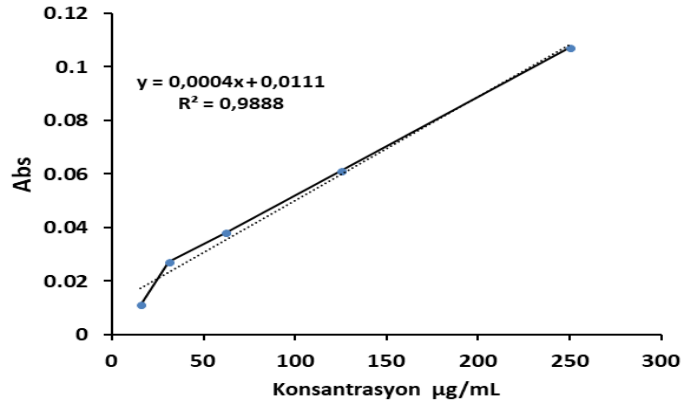
Şekil 4. PEG-1000 temelli poliüretan, poliüretan/selüloz ve selülozik yapılarına ait DTA termogramları.



Şekil 5. PEG-1000 temelli poliüretan, poliüretan/selüloz ve selülozik yapılarına ait DSC termogramları.

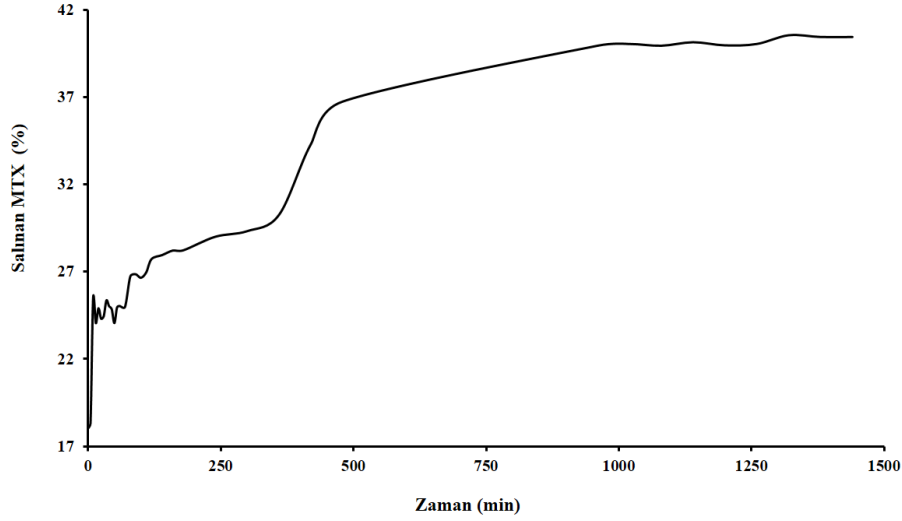
A. 2. MTX Salım Sonuçları

Öncelikle MTX'in maksimum absorptans verdiği dalga boyu belirlenmiştir. Tarama sonucunda 330 nm dalga boyu çalışma dalga boyu olarak belirlenmiştir. MTX için belirlenen dalga boyunda (15,63-250 µg/mL aralığında) kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Şekil 6'da verilen kalibrasyon eğrisi için $r^2=0,9888$ değerine ulaşılmıştır.



Şekil 6. MTX için standart kalibrasyon eğrisi.

UV spektrofotometre ile kompozit yapılarda MTX salımının takibi için önce MTX'in kalibrasyon grafiği çizilmiştir. PU-4831 kompozit yapı daha önce etkinleştirilmiş ve hazır hale getirilmiş diyaliz torbalasın da 24 saat boyunca 37 °C'de pH 7,4'deki PBS ortamında tutuldu. Ölçümler, belirli zaman aralıklarında ortamdaki örneklerin UV spektrofotometre'de 330 nm dalga boyundaki okunması ile yapılmıştır. PBS tamponundaki MTX için pH 7,4'de standart eğrisi çizildikten sonra, hidrojellerin Lambert-Beer yasası [23] kullanılarak konsantrasyon birimi dönüşümü sağlandı. PU/selüloz ikili hidrojel-MTX'in salımı için ilk bir saatte her 5 dakikada bir, ikinci bir saatte her 10 dakikada bir, üçüncü saatte ise her 20 dakikada bir ve 4, 5, 6, 7, 8, 16-23 ve 24. saatte 330 nm dalga boyunda absorptans değerleri okundu. Salımı gerçekleşen MTX miktarı ölçülen absorptans değerleri ile hesaplandı. Zamana karşı MTX salımının yüzdesi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. (%) MTX salım grafiği.

Şekil 7'deki salım değerlerine baktığımızda salımın ilk 5 dakika da (~%15) içinde başladığını ve zamanla arttığını görüyoruz. En yüksek salımın 17 ile 22 saat arasında gerçekleşirken maksimum ilaç salımına 22. Saate ~%.41'e ulaşıldığını görüyoruz.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada PEG-1000 temelli PU-selüloz hidrojeller başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Hidrojellerin hazırlanmasında PU'lar [24] ve selülozik malzemeler sıkça kullanılmaktadır [25]. İlaç salım çalışmalarında da ayrı ayrı PU ve selüloz içeren kimyasallar kullanılmaktadır. Güncel çalışmalara baktığımızda sentezlediğimiz PU-selüloz temelli hidrojellerin ilaç salımı yapılarının literatüre alternatif bir katkı sunduğunu görüyoruz.

V. KAYNAKLAR

- [1] K.E. Uhrich, S.M. Cannizzaro, R.S. Langer, and K.M. Shakesheff, "Polymeric Systems for Controlled Drug Release," *Chem. Rev.*, vol. 99, pp. 3181–3198, 1999.
- [2] S. Senapati, A.K. Mahanta, S. Kumar, and P. Maiti, "Controlled drug delivery vehicles for cancer treatment and their performance," *Signal Transduction and Targeted Therapy*, vol. 3, no. 1, pp. 1-19, 2018.
- [3] T.R. Hoare, and D.S. Kohane, "Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges," *Polymer*, vol. 49, no. 8, pp.1993-2007, 2008.
- [4] S. C Lee, I.K. Kwon, and K. Park, "Hydrogels for delivery of bioactive agents: A historical perspective," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 65, no. 1, pp. 17-20, 2013.
- [5] W.E. Roorda, H.E. Bodde, A.G. De Boer, and H.E. Junginger, "Synthetic hydrogels as drug delivery systems," *Pharmaceutisch Weekblad*, vol. 8, no. 3, pp. 165-189, 1986.
- [6] A. Srivastava, T. Yadav, S. Sharma, A. Nayak, A.A. Kumari, and N. Mishra, "Polymers in drug delivery," *Journal of Biosciences and Medicines*, vol. 4, no. 1, pp. 69-84, 2015.

- [7] M. Dadsetan, Z. Liu, M. Pumberger, C.V. Giraldo, T. Ruesink, L. Lu, and M. J. Yaszemski, "A stimuli-responsive hydrogel for doxorubicin delivery," *Biomaterials*, vol. 31, no. 31, pp. 8051-8062, 2015.
- [8] T.W. Steele, C.L. Huang, E. Widjaja, F.Y. Boey, J.S. Loo, and S.S. Venkatraman, "The effect of polyethylene glycol structure on paclitaxel drug release and mechanical properties of PLGA thin films," *Acta Biomaterialia*, vol. 7, no. 5, pp. 1973-1983, 2011.
- [9] M. Casolaro, R. Cini, B. Del Bello, M. Ferrali, and E. Maellaro, "Cisplatin/hydrogel complex in cancer therapy," *Biomacromolecules*, vol. 10, no. 4, pp. 944-949, 2009.
- [10] N. Taleblou, M. Sirousazar, Z.M. Hassan, and S.G. Khaligh, "Capecitabine-loaded anti-cancer nanocomposite hydrogel drug delivery systems: In vitro and in vivo efficacy against the 4T1 murine breast cancer cells," *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, vol. 31, no. 1, pp. 72-92, 2020.
- [11] J. Blanchette, K. Park, and N.A. Peppas, "Oral administration of chemotherapeutic agents using complexation hydrogels," *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 724, 2002.
- [12] N. Saba, P. Tahir, and M. Jawaid, "A review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites," *Polymers*, vol. 6, no. 8, pp. 2247-2273, 2014.
- [13] P. Albuquerque, L.C. Coelho, J.A. Teixeira, and M.G. Carneiro-da-Cunha, "Approaches in biotechnological applications of natural polymers," *Aims Molecular Science* vol. 3, no. 3, pp. 386-425, 2016.
- [14] E. Ruel-Gariépy, M. Shive, A. Bichara, M. Berrada, D. Le Garrec, A. Chenite, and J.C. Leroux, "A thermosensitive chitosan-based hydrogel for the local delivery of paclitaxel," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 57, no. 1, pp. 53-63, 2004.
- [15] S. Patel, and A. Goyal, "Applications of natural polymer gum arabic: a review," *International Journal of Food Properties*, vol. 18, no. 5, pp. 986-998, 2015.
- [16] J.M. Anderson, and M.S. Shive, "Biodegradation and biocompatibility of PLA and PLGA microspheres," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 28, no. 1, pp. 5-24, 1997.
- [17] S. Ghosh, "Recent research and development in synthetic polymer-based drug delivery systems," *Journal of Chemical Research*, vol. 2004, no. 4, pp. 241-246, 2004.
- [18] E.S. Lee, S.W. Kim, S. H. Kim, J.R. Cardinal, and H. Jacobs, "Drug release from hydrogel devices with rate controlling barriers," *Journal of Membrane Science*, vol. 7, no. 3, pp. 293-303, 1980.
- [19] A. Xie, M. Zhang, and S.I. Inoue, "Influence of β -cyclodextrin on morphologies and chemical, thermal, and mechanical properties of non-chain extended polyurethane elastomers," *Journal of Polymer Research*, vol. 23, pp. 1-9, 2016.
- [20] Y. Zhou, H. Li, and Y.W. Yang, "Controlled drug delivery systems based on calixarenes," *Chinese Chemical Letters*, vol. 26, no. 7, pp. 825-828, 2015.
- [21] F. Alışık, M. Burç, S. Titretir Duran, Ö. Güngör, M. A. Cengiz, S. Köytepe, "Development of Gum-Arabic-based polyurethane membrane-modified electrodes as

voltammetric sensor for the detection of phenylalanine,” *Polym. Bull.* vol. 78, pp. 4699–4719, 2021.

[22] L.-J. Huang, L. Wen-Jau, and C. Yi-Chun, “Bio-Based Hydrogel and Aerogel Composites Prepared by Combining Cellulose Solutions and Waterborne Polyurethane,” *Polymers* vol. 14, no. 1: 204, 2022.

[23] K.H. Ramteke, and L.K. Nath, “Formulation, evaluation and optimization of controlled release hydrogel microspheres for colon targeted drug delivery,” *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, vol. 4, no. 2, pp. 1739, 2012.

[24] M. Kamaci, “Polyurethane-based hydrogels for controlled drug delivery applications,” *European Polymer Journal*, vol. 123, 109444, 2020.

[25] V. Gopinath, S. Saravanan, A.R. Al-Maleki, M. Ramesh, and J. Vadivelu, “A review of natural polysaccharides for drug delivery applications: Special focus on cellulose, starch and glycogen,” *Biomedicine, and Pharmacotherapy*, vol. 107, pp. 96-108, 2018.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Analysis of Customer Churn in Telecommunication Industry with Machine Learning Methods

 Özge Nalan Bilişik ^{a*},  Damla Tuğba Sarp ^a

^a Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: oznalan@yildiz.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1061257

ABSTRACT

In today's conditions, customer loyalty has gained importance with the increase in the competitive environment between companies, the development of marketing strategies and the improvement of companies. Therefore, it is essential to acquire customers for a company to survive. Retaining an existing customer in the telecommunication sector is less costly than gaining a new customer. Customer churn analysis is the process of predicting customers with high abandonment requests by examining the offers and utilizable behaviors. Customer churn analysis provides services to develop various campaigns aiming to increase the company's loyalty by predicting the customers who are planning to move to another company. In this way, it gives the company a competitive advantage. This study aims to make predictions by developing models for customer churns through data mining and machine learning methods in the telecommunication sector. In addition, we believe that the application in this article will contribute to data analysts and academicians who will want to analyze customer churn with different data sets in telecommunication and other sectors in the future. The analysis in this study is carried out on a data set obtained from an open-access database, including 20 transaction records for the customer from 7043 customers and whether the customer left the company. Among the data mining methods, Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM) and Multilayer Artificial Neural Networks (ANN) are modeled in open-source Python environment. The results have shown that ANN has fared better at classifying customers than other machine learning methods.

Keywords: Customer Churn, Machine Learning, ANN, SVM, RF

Telekomünikasyon Sektöründe Müşteri Kaybının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Analizi

Öz

Günümüz koşullarında şirketler arasındaki rekabet koşullarının artması, pazarlama stratejilerinin gelişmesi ve şirketlerin değişimi ve gelişimi ile müşteri ve müşteri sadakati önem kazanmıştır. Bir şirketin ayakta kalabilmesi için müşteri kazanmak önemlidir. Telekom sektöründe mevcut bir müşteriyi elde tutmak, yeni bir müşteri kazanmaktan daha az maliyetlidir. Müşteri kaybı analizi teklif ve davranışların incelenerek şirketi bırakma isteği yüksek olan müşterilerin tahmin edilmesi sürecidir. Müşteri kaybı analizi, başka bir şirkete geçmeyi planlayan müşterileri tahmin ederek, şirket bağlılığını artırmaya yönelik çeşitli kampanyalar geliştirmeye yönelik hizmetler sunmaktadır. Bu sayede firmaya rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, telekomünikasyon sektöründe veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleriyle müşteri kayıplarını modelleyerek tahminlerde bulunmaktır. Ayrıca bu makaledeki uygulamanın gelecekte telekomünikasyon ve diğer sektörlerde farklı veri setleri ile müşteri kayıplarını analiz etmek isteyen veri analistlerine ve akademisyenlere katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmadaki analiz, açık erişimli bir veri tabanından elde edilen, 7043 müşteriye ait 20 işlem kaydını ve müşterilerin şirketten ayrılıp ayrılmadığını içeren bir veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Veri

madenciliği yöntemlerinden Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (YSA) açık kaynaklı Python Ortamında modellenmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde, YSA müşterileri sınıflandırmada diğer makine öğrenimi yöntemlerinden daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Müşteri Kaybı, Makine Öğrenmesi, YSA, DVM, RO.

I. INTRODUCTION

An organization needs its customers to survive for a long time. Therefore, meeting customer requirements in the long term is only possible with a successful customer relationship management (CRM) process [1]. Good CRM requires being in contact with customers and both listening and understanding their requirements and needs. Strategies are developed to increase customer loyalty by offering products, services and campaigns in line with these needs,. Customer values are determined by examining purchasing behaviors with CRM (Bagheri and Tarokh, M. [2]; Farquad et al. [3]; Heinrich and Helfert [4]). In the literature, churn of customers is referred to in many different terms. The most important of these are customer wear, customer withdrawal, customer run-off and customer churn [5].

Customer churn analysis can be defined as a process that estimates customers considering canceling their subscription and takes precautions to prevent the churn [3]. In marketing, acquiring a new customer is five times more expensive than retaining an existing customer, and at the same time, the profit from a new customer is half that of an existing customer [6].

Businesses keep much valuable information belonging to their customers such as demographics, invoices, contracts, and products used in their data warehouses. From this information, it is possible to make different analyzes in line with various customer requirements, customer satisfaction, customer value or which customer may have the potential to be churned in the future [7]. In this paper, customer churn in the telecommunication sector is predicted with machine learning methods using data which consists of 20 transaction records for the customer from 7043 customers and whether the customer left the company or not

The rest of the paper is organized as follows: the literature review about customer churn, machine learning and the telecommunication sector is presented in Section 2. Then, in section 3, the proposed methodology and algorithms are explained. In section 4, the application, and analysis results are shown. Finally, the conclusion and discussion section is given.

II. LITERATURE REVIEW

In our study, we make a literature search with the keywords ‘Customer Churn’, ‘Machine Learning’ and ‘Telecom’ and present some of the studies in the following:

Ahmad et al. [8] try to help telecommunication sector operators to find out which customers tend to churn by using RF, Decision Tree, Gradient Boosted Machine (GBM) Tree and Extreme Gradient Boosting (XGBOOST) techniques. They compare these techniques results’ and obtained the best results by applying XGBOOST algorithm. Lalwani et al. [9] develop a six-phased algorithm to predict customer churn in telecommunication sector. Adaboost and XGboost algorithms accomplish the best result in their application. Adhikary and Gupta [10] analyze and compare the performances of over 100 classifiers, used in customer churn prediction for a telecommunication company. Alboukaey et al. [11] propose to predict customer churn on daily basis to consider the dynamic behavior of customers. Swetha and Dayananda [12] propose a customer churn prediction model by using XGBoost model and the model is evaluated according to some performance metrics like accuracy, graphical representation, precision and recall. Mishachandar and Kumar [13] use an approach which combines machine

learning and big data analytic techniques to make customer churn prediction effectively. Ullah et al. [14] develop a model to predict customer churn for the telecommunication sector by using clustering algorithms. In addition, they analyze the churn factors that are important to determine the root causes of churn. Rani and Kant [15] compare the six most used machine learning classifiers for customer churn prediction in the telecommunication sector. Almufadi et al. [16] apply deep learning for customer churn prediction within Mobile Telephony Churn Prediction Dataset and they achieved a very high efficiency. Jyothi et al. [17] develop a customer churn model that utilizes some classification algorithms to find out churn customers and help to learn the most affecting elements behind the turnover of customers in the telecommunication sector. Pamina et al. [18] develop a model to identify the traits which influence customer churn by using three different machine learning techniques and the IBM Watson Dataset is used to predict the churn. Wassouf et al. [19] develop a methodology that helps to focus on different customer segments by most reasonable offers and services. Firstly, they segment the customers, secondly, they take the loyalty levels of each segment, thirdly they use classification algorithms based on these descriptives and finally they evaluate these models based on several criteria and develop some rules. Alzubaidi and Al-Shamery [20] conduct research by using a methodology called project pursuit Random Forest (PPForest), which uses discriminant feature analysis to predict churners/non-churners in the telecommunication sector. Rao et al. [21] develop an algorithm via machine learning to test the key performance indicators (KPIs) and weed out the troublesome sites from a network's traffic data dump spanning over a month which would help to identify the problematic websites, thus addressing the customer's problems.

Like the studies above, Malleswari et al. [22], Suguna et al. [23], Isabella Amali [24], Raja and Pandian [25] and Jaisakthi [26] study on customer churn prediction problem and use some machine learning techniques.

In addition to these studies, some authors make literature surveys about customer churn in telecommunication sector: Pamina et al. [27] conduct a literature survey to assist the researchers or data analysts to find out the most appropriate techniques to predict customer churn in telecommunication sector. Jain et al. [28] present a literature review about customer churn and its effects, the root causes of customer churn, the requirements of businesses and the method and techniques to predict customer churn. Seema and Gupta [29] conduct a literature review on customer churn prediction models for e-commerce enterprises. Finally, Sudharsan and Ganesh [30] make a literature review for the customer churn prediction in telecommunication sector for the technical review.

When the literature is reviewed, making valuable predictions for the future with machine learning has been the subject of many studies recently. In these studies, different machine learning methods are used. These methods include decision trees, ANN, RF, SVM, Naive Bayes, K-Nearest Neighbors (KNN), Regression and XG Boost. In addition, hybrid models are also included in the studies, as well as focusing on a single method. In Table 1, some of the studies, which use machine-learning techniques, are summarized with the details of the studies' scope and algorithms.

According to the market data shared by the Information Technologies and Communications Authority (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu - BTK) in Turkey every quarter, the number of mobile number transfers in each quarter is given in Figure 1. In the third quarter of 2020, the number of mobile number transfer increased by 6.8% compared to the previous quarter and was 3.330.058. As of November 24, 2020, 146.102.648 MNT transactions were made in total [31].

Table 1. Some studies with the detail of algorithms.

Scope	Algorithms	Reference(s)
<i>Customer loyalty prediction</i>	Decision tree K-means clustering	[32]
<i>Customer payment behaviors prediction</i>	Association rules Clustering Decision tree	[33]
<i>Customer dissatisfaction prediction</i>	Boosting Decision tree Logistics regression Neural networks	[34]
	XG Boost	[35]
	Logistics regression	[36]
<i>Customer Retention</i>	ADA Boost Decision tree Linear discrimination analysis Logistics regression Naive Bayes Random forest Support vector machine	[37]
<i>Customers' repurchase behaviors prediction</i>	Random forest	[38]
	Decision tree Neural networks	[39]
	Deep learning Gradient boosted tree KNN Naive Bayes Neural networks	[40]
	Artificial neural networks	[41], [42]
	Feed-forward artificial neural networks Partial swarm optimization	[43]
<i>Customer churn prediction</i>	Decision tree Regression Neural networks	[44]
	Multi-layer neural networks	[45]
	Decision trees Logistics regression Artificial neural networks	[46]
	Decision trees	[47], [48]
	Support vector machine Artificial neural networks Naive Bayes	[49]
	Support vector machine	[3], [50]
	KNN Random forest XG Boost	[25]



Figure 1. The distribution of mobile number transferring.

This study aims to establish models that predict the customers to churn with machine learning methods on a data set with 21 attributes for 7043 customers in the telecommunication sector and compare these models. In this way, companies will be able to offer various campaigns and strategies to their customers who are likely to churn and increase their customers' loyalty to the company.

III. PROPOSED METHODOLOGY

In this section, the flowchart of the proposed methodology is given in Figure 2 and the algorithms used are explained.

A. ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Artificial neural networks (ANN) is a learning method that mimics the human brain. It has essential functions such as producing meaningful information from the data collected by the brain. Figure 3 indicates the working principle of ANN with layers [51].

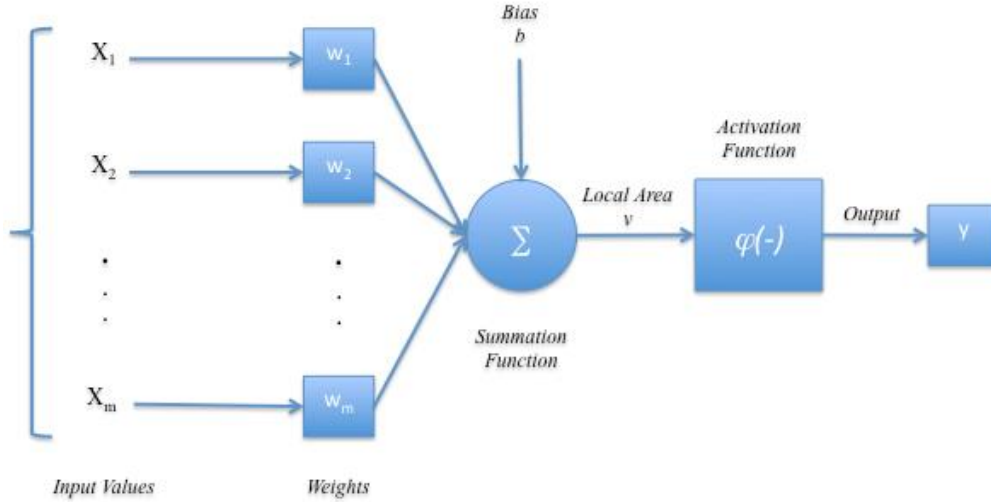


Figure 3. Working principle of ANN with layers [51]

Inputs (X_1, X_2, \dots, X_m): It is the data transmitted to the artificial neuron from the outside or the previous layer [52].

Weights (W_1, W_2, \dots, W_m): Indicates how the inputs are transferred to the output.

Addition Function: The net input of a cell is calculated with the additional functions. As expressed in Eq. (1), all entries are summed by multiplying by their own weight [53].

$$\sum_{i=1}^m W_i X_i = W_1 \cdot X_1 + W_2 \cdot X_2 + \dots + W_m X_m \quad (1)$$

A.1. Artificial Neural Network Models

ANN models are considered in 4 groups: single-layer and multi-layer perceptrons, feed-forward and feedback artificial neural networks. It has been stated that one or two hidden layers are usually sufficient for large structures [54].

- Single-layer perceptrons have multiple inputs and a single output. The output takes values of 1 or -1 and is linear.
- Multilayer perceptrons have multiple inputs and multiple outputs. It is the structure in which non-linear neurons are connected according to different weights. It is used to solve complex and nonlinear problems.
- In feedforward networks, neurons move from input to output in regular layers. There is a bond between successive layers. The information at the input of the neural network is transferred to the hidden layer without any changes. From here, it goes to the output layer and is processed and

transmitted to the outside. In feedback networks, a neuron can have input from a different neuron in the previous layer or in a layer at the same level.

B. SUPPORT VECTOR MACHINE

In cases where the solution method is not completely clear, SVM predicts what the output will be after the inputs in the data, with the available data and information [55]. It is a successful machine learning algorithm created with statistical methods. It is a method based on statistical theories developed to solve classification and regression problems [56]. Each data attribute is represented as a point in n-dimensional space, with the value of each attribute being the value of a particular coordinate. Then, the classification is made with the hyperplane, which makes a good distinction between two classes [57]. It is possible to make nonlinear transformations in SVM with the Kernel function. In this way, linear separation can be made in high dimensions [58].

C. RANDOM FOREST

The RF algorithm is a committee algorithm. It benefits from the joint decisions of the created models. It is a fast method without a fixed pattern. In this method, it is possible to work with as many trees as desired [59].

The RF model works as follow: The model aims to generate a large number of independent decision trees as its primary purpose. When constructing each tree, the model randomly selects a particular subset of all existing observations. This situation is a type of randomness introduced by the model. In this way, each single tree created by the model will learn from independent subsets of the sample at hand [60]. To create a tree with the RF classifier, initially it is sufficient to define two parameters: the number of features to be used for each node (m) and the number of trees to be created (N) [61]. While determining the parameters, the first values are usually chosen randomly, the following values are increased or decreased according to the generalized errors. Generally, when determining the variable value, it is better to take m as the square root of the total number of variables.

The RF algorithm determines the significance criteria of the features with generalized error. That is, it measures the predicted achievements by changing places of the features and ranks them according to their importance [62]. The most important advantage of the RF method is that it can work with many variables, and its performance is fast [63].

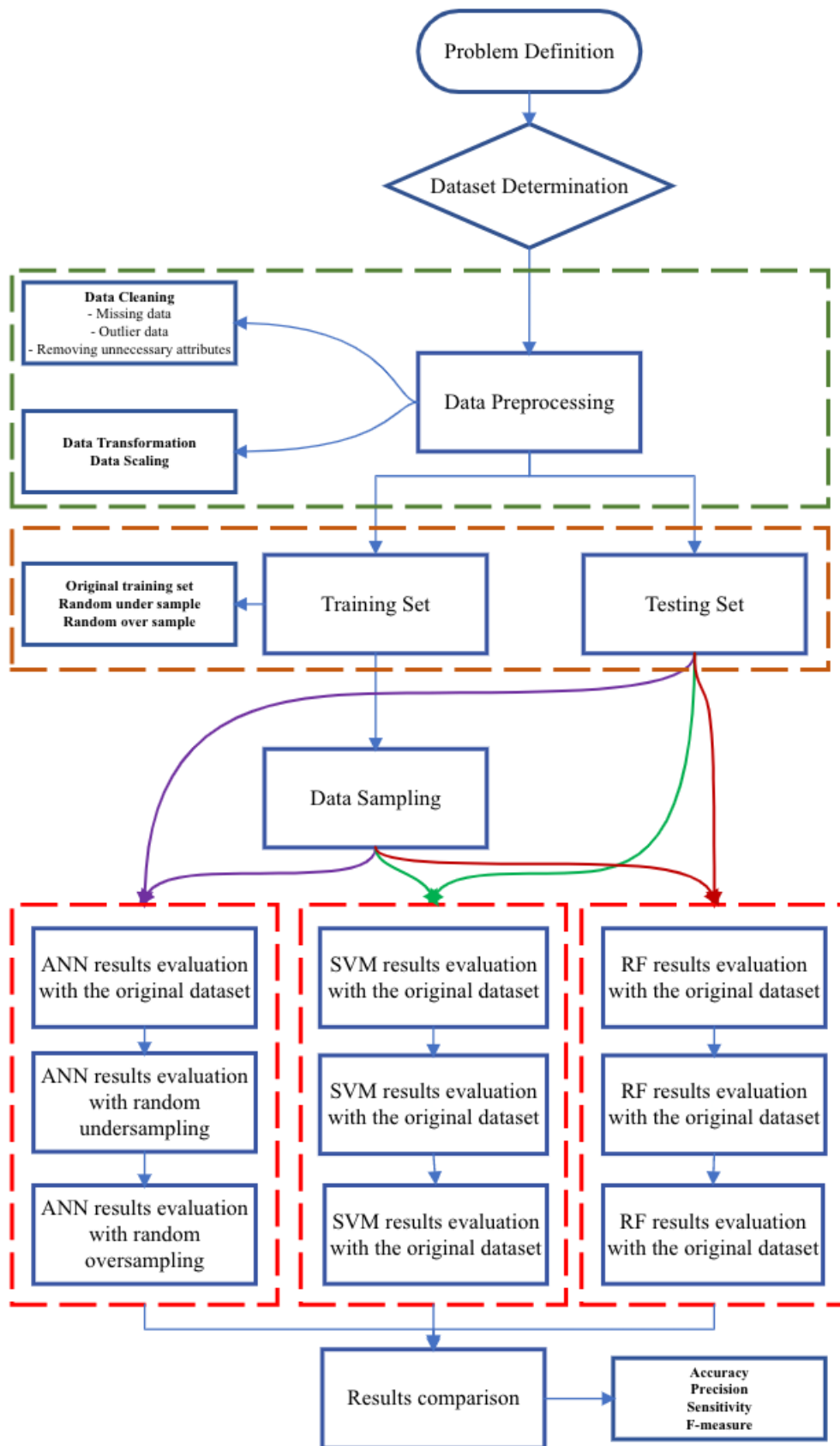


Figure 2. The flowchart of the proposed methodology.

IV. APPLICATION

In this study, an exemplary application of customer churn in telecommunication sector has been carried out with machine learning techniques that are widely used today, and we aim to present a data mining process to those who will work in this field. Python machine learning language, which has been widely used recently, has been preferred for the application. Spyder and Jupyter Notebook environments are used as interfaces. Different training sets are obtained by preprocessing the telecommunication dataset using Python. Then, various algorithms of the classification method are applied to each of the training sets. After the established models, the results of the predicted classifications are evaluated according to the confusion matrix measures, compared and the most applicable method is presented. To evaluate the performances of the applied models, the sensitivity, precision and F-measure have been used. The confusion matrix representation is shown in Table 2.

Table 2. The representation of confusion matrix [9].

		<i>Predicted</i>	
		Non-churners (S = 0)	Churners (S = 1)
<i>Initial Set</i>	Non-churners (S = 0)	TN	FP
	Churners (S = 1)	FN	TP

The explanation of the items in confusion matrix are as follows [9]:

- **True Positive (TP):** The number of customers those are churners and the model has predicted them correctly.
- **True Negative (TN):** The number of customers those are non-churners and the model has predicted them correctly.
- **False Positive (FP):** The number of customers who are non-churners but the model has labelled or identified them as churners.
- **False Negative (FN):** The number of customers who are churners but the model has labelled or identified them as non-churners.

4.1 DATASET

IBM's open-access dataset was used in this study [64]. Each row in the dataset represents a customer and each column contains data for the customer's attributes. The contents of the dataset are as follows:

- The class of customers churning last month is called *Churn*.
- *Services to which each customer subscribes;* phone, multiple lines, internet, online security, online backup, device protection, technical support, and streaming TV and movies.
- *Customer contract and billing information;* how long they've been a customer, contract, payment method, paperless invoicing, monthly fees, and total fees.
- *Demographic information about customers;* gender, age range, spouses, and dependents etc.

There are 7043 subscribers and 21 features for each subscriber in the data set. The binary class variable is defined as churners/non-churners. 1849 customers are labeled as churners. Figure 4 shows the customer loss numbers of the classes belonging to the data set. When we look at the difference between the classes, we see that the data set is not balanced.

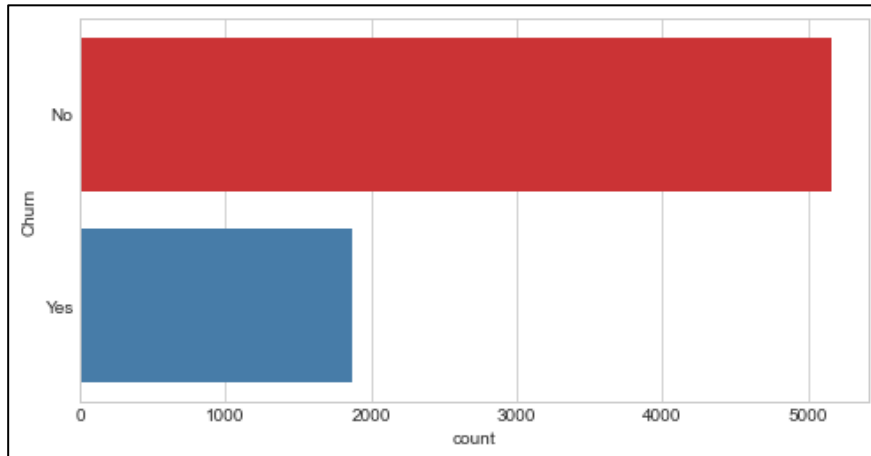


Figure 4. Customer churn distribution in dataset.

Dataset preprocessing

The data in the database has been preprocessed. The following operations are carried out sequentially:

- The ‘Customer ID’ attribute, which has a unique value for each customer in the dataset, is extracted. The reason for this is that the singular values in machine learning do not contribute to the model’s training.
- It has been checked whether there are missing values in the data set. As a result of this, it is seen that the ‘Total Charges’ value is missing in 11 customers. Therefore, these customers are deleted from the data set as their numbers are very few. At the same time, the ‘Total Charges’ attribute is given categorically, although it is numeric. For this, data type conversion is applied. After this process, there are 7032 rows left in the data set.
- In Python, scikit-learn is one of the most widely used libraries in the field of machine learning. Under the preprocessing sub-library of the scikit-learn library, categorical variables need to be converted into a form suitable for machine learning algorithms at the data pre-preparation stage. For this, label encoder and dummy variable (dummy variable) are used. In this way, attributes with binary values such as yes/no were labeled with values of 0 and 1. The values of the attributes with more than two values were moved to the columns, and their binarization was carried out. For example, the contract column has three different values: monthly, annual and biennial. With the dummy function, 3 more columns have been added to the data set as contract_monthly, contract_yearly and contract_iki_yearly. Whichever contract type a customer has, 1 is printed and 0 is printed on the other contract columns in the relevant row. After this process, the number of columns in the data set reach 41.
- In the next step, Box plots are used as in Figure 5 to visualize the outliers in the data set. The fact that some values on the same data set have values less than 0 and some of them larger indicates that these distances between the data will be more effective on the results, especially the extreme data.

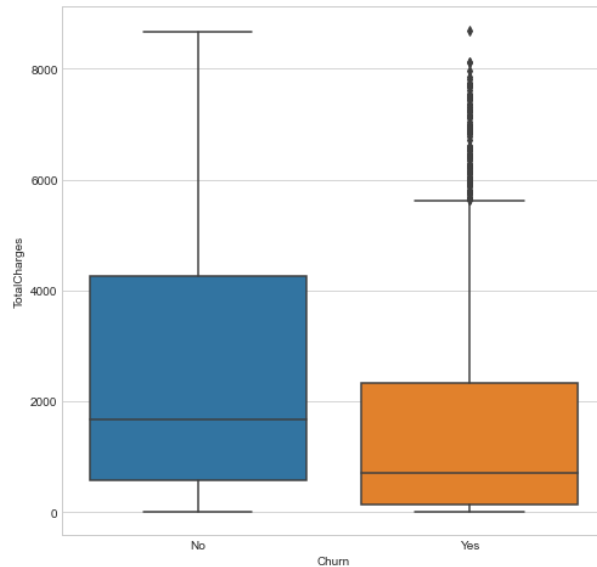


Figure 5. Visualization of outliers for the 'TotalCharges' attribute.

The 'Z-score' method is used to determine the extreme values of the features. Outliers have effects that weaken the learning of the model. Eq. (2) is used for the Z-Score equation [65]. After detecting outliers, these values are deleted from the data set to increase the reliability of the analysis. With this process, the number of customers in the data set is decreased to 6353.

$$x' = (x_i - \mu_i) / \sigma_i \tag{2}$$

x' = Normalized data

x_i = Input

μ_i = Average of input values,

σ_i = Standard deviation of input values

With min-max scaling, all data in the data set were converted to a range of 0 to 1. For this method, the Eq. (3) is used as follows [65].

$$x' = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \tag{3}$$

x' = Scaled data

x_i = Input value

x_{\min} = Minimum number in the input set

x_{\max} = Maximum number in the input set

Training and Testing Set Creation

In application, 80% of the data set is determined as the training set and the remainder as the test set. Since the data set is unbalanced, there are class differences in the training set, both unbalanced and balanced data sets are studied in order to see the effect of these differences on the result. One of the following methods can be used to analyze unbalanced data: Less data sample can be increased; excess data sample can be reduced; achievement can be measured according to different performance metrics. First, there are 5081 customers when no action is taken in the training set. Since the dataset is unbalanced, 3711 of them have not left the company, and 1370 of them have left the company. Algorithms are first run with this training set. To understand whether the results obtained here have the best success, balancing operations are performed on the training set.

With the random undersampling feature, frequently used in the literature, the class difference in the training set is balanced. In this way, the training set is reduced to 2740 customers. 1370 of these customers do not leave the company, and the remaining 1370 are those who have left the company. Secondly, the algorithms are run with this training set. The disadvantage of the downsampling method is that valuable data can be lost.

Another method used in this study is random oversampling feature. With this approach, we sample random data from the minority class and copy it to generate more samples. In this way, 7422 customers are reached in the training set. These customers consist of 3711 who do not leave the company and the remaining 3711 who left the company. The disadvantage of the oversampling method is that it can increase the probability of overfitting. Table 3 gives information about the customer loss distribution of the training sets to be used in the models.

Table 3. Number of customers belonging to the training sets studied.

		Number of non-churners	Number of churners	Total Customer Number
Original dataset	Training set -1	3711	1370	5081
Random undersampling	Training set -2	1370	1370	2740
Random oversampling	Training set -3	3711	3711	7422

4.2 APPLIED MACHINE LEARNING TECHNIQUES

Considering the characteristics of the data we have and the customer's churn behavior, there are some aspects of modeling that should be considered. Customer churn behavior depends on many variables, and the interaction of these variables affects customer behavior. It has been revealed in the studies in the literature that there is a non-linear relationship between the resulting customer churn and the variables used in the prediction. For this reason, Naive Bayes, ID3 (Iterative Dichotomiser 3-Decision Tree), RF, ANN and SVM, which are nonlinear methods used in classification models, are applied. Since the accuracy values in NB and ID3 algorithms are below what they should be, they are not preferred because they do not give reliable results. For this reason, the results of RO, ANN and SVM are emphasized in the study.

4.2.1 Application and Results of Artificial Neural Networks

The Keras package, a deep learning library, has been installed in Python. With this package, the sequential functions are called if the model is to be used. By creating a model with the sequential function, layers are added to our model with the model.add() command and the node numbers and activation functions of these layers are determined. The model consists of three layers: The first is the input layer, the second is the hidden layer, and the other is the output layer. When entering the first layer, the number of entries is determined. A neural network architecture consisting of a single hidden layer can successfully model a nonlinear functional form. Therefore, a hidden layer is used in this study. For the number of cells in the hidden layer, the average of the cell numbers in the input and output layers, a frequently used method in the literature has been selected which corresponds to a value of 20 for the study. In the output layer, the class information will be displayed. To compile this model we created, the objective function is determined as binary_crossentropy. This objective function is frequently used in binary classification problems. The optimization algorithm used in this model is 'Adam' and the results of this model are compared according to accuracy value.

Epochs and batch size values are needed to train the model. For these values, the cluster size is given as 200 and the number of revolutions as 100. The model operated with the original dataset has an accuracy rate of 82%. The confusion matrix and other success criteria of this model are as in Table 10 and 11.

Table 10. ANN confusion matrix of the model studied with the original dataset.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial set</i>	S = 0	851	112
	S = 1	123	185

The confusion matrix shows TN=851, TP=185, FN=123 and FP=112. The number of correctly classified non-churners is 851 and the number of churners is 182. In total, 1033 customers are correctly classified. In addition, 112 customers are labeled as actually churners as churners as a result of ANN algorithm but they are actually non-churners and 123 customers are labeled as churners but they are actually non-churners.

Table 11. ANN results of the model studied with the original data set.

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0,87	0,88	0,88
S = 1	0,62	0,59	0,60
Weighted average	0.81	0.81	0.81

The model run with random undersampling has an accuracy rate of 80%. The confusion matrix of this model and the performance criteria of the classes are as in Table 12 and 13.

Table 12. ANN confusion matrix of the model studied with random undersampling.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial set</i>	S = 0	801	152
	S = 1	83	235

Table 13. ANN results of the model studied with random undersampling.

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0.90	0.84	0.87
S = 1	0,60	0,73	0,67
Weighted average	0.83	0.81	0.81

The model run with random oversampling has an accuracy rate of 80%. The confusion matrix of this model and the performance criteria of the classes are as in Table 14 and Table 15.

Table 14. ANN confusion matrix of the model studied with random oversampling.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial set</i>	S = 0	738	169
	S = 1	85	279

Table 15. ANN results of the model studied with random oversampling..

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0.89	0.81	0.85
S = 1	0.63	0.76	0.69
Weighted average	0.83	0.82	0.82

4.2.2 Application and Results of Random Forest Algorithm

The RF, which is an ensemble learning algorithm, of the Sklearn Library in Python has been applied to the datasets. In RF, it is necessary to determine the number of trees (N) that the model will create and how many random features (m) each tree will have. If the attribute value is significant, it will increase the correlation of the trees and cause underfitting. If the m value is less than necessary, it will reduce the correlation of the trees and cause overfitting. In this study, different values for m are tried. The most optimal result is taken at the value of 8. The number of trees (N value) is a parameter that affects the variance of the estimator. Higher N values lead to lower predictor variance, leading to better generalization performance. N number is given as 100 in the study. In the trials over 100, the result do not change, but the working time of the model is prolonged.

The model operated with the original data set has an accuracy rate of 80%. The confusion matrix and other performance criteria of RF model are as in Table 4 and 5. Set 0 shows non-churners, and Set 1 shows churners. In this model, the number of correctly classified non-churner customers is 830 and the number of churner customers is 185. In total, 1015 customers are correctly classified. In addition, 112 customers are labelled as churners as a result of RF algorithm but they are actually non-churners and 144 customers are labeled as churners but they are actually non-churners.

Table 4. RF confusion matrix of the model studied with the original dataset.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial Set</i>	S = 0	830	112
	S = 1	144	185

Table 5. RF results of the model studied with the original data set.

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0,85	0,88	0,87
S = 1	0,62	0,56	0,59
Weighted average	0.79	0.80	0.80

The model run with random undersampling has an accuracy rate of 75%. This model's confusion matrix and the sets' performance criteria are as in Table 6 and 7.

Table 6. RF confusion matrix of the model studied with random undersampling.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial Set</i>	S = 0	673	269
	S = 1	67	262

Table 7. RO results of the model studied with random undersampling

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0.91	0,71	0,80
S = 1	0,49	0.80	0,61
Weighted average	0.80	0.74	0.75

The model run with random oversampling has an accuracy rate of 75%. The confusion matrix and other success criteria of this model are as in Table 8 and 9.

Table 8. RF confusion matrix of the model studied with random oversampling

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial Set</i>	S = 0	703	239
	S = 1	78	251

Table 9. RF results of the model studied with random oversampling

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0.90	0,75	0,82
S = 1	0,51	0,76	0,61
Weighted average	0.80	0.75	0.76

4.2.3 Application and Results of Support Vector Machines

The SVM algorithm is called under the sklearn library in Python. Radial Basis Function (RBF) is used in the model. This function finds SVM of infinite size and calculates how similar each point is to a certain point with a normal distribution, and classifies accordingly.

The model run with the original dataset has an accuracy rate of 79%. The confusion matrix of this model and the performance criteria of the classes are as in Table 16 and Table 17.

Table 16. SVM confusion matrix of the model studied with the original dataset.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial set</i>	S = 0	839	103
	S = 1	168	161

The confusion matrix shows TN=839, TP=161, FN=168 and FP=103. The number of correctly classified non-churners is 839, and the number of churners is 161. In total, 1000 customers are correctly classified. In addition, 103 customers are labeled as actually churners as churners as a result of SVM algorithm but they are actually non-churners and 168 customers are labeled as churners but they are actually non-churners.

Table 17. SVM results of the model studied with the original dataset.

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
S = 0	0.83	0,89	0,86
S = 1	0,61	0,49	0,54
Weighted average	0.78	0.79	0.78

The model run with random undersampling has an accuracy rate of 74%. The confusion matrix of this model and the performance criteria of the classes are as in Table 18 and 19.

Table 18. SVM confusion matrix of the model studied with random undersampling.

		<i>Predicted</i>	
		S = 0	S = 1
<i>Initial set</i>	S = 0	685	257
	S = 1	77	252

Table 19. SVM results of the model studied with random undersampling.

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
<i>S = 0</i>	0.90	0.73	0.80
<i>S = 1</i>	0,50	0.77	0,60
Weighted average	0.79	0.74	0.75

The model run with random oversampling has an accuracy rate of 73%. The confusion matrix of this model and the success criteria of the classes are as in Table 20 and Table 21.

Table 20. SVM confusion matrix of the model studied with random oversampling.

		<i>Predicted</i>	
		<i>S = 0</i>	<i>S = 1</i>
<i>Initial set</i>	<i>S = 0</i>	688	252
	<i>S = 1</i>	83	248

Table 21. SVM results of the model studied with random oversampling.

	<i>Precision</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>F-measure</i>
<i>S = 0</i>	0.89	0.73	0.80
<i>S = 1</i>	0.50	0.75	0,59
Weighted average	0.79	0.73	0.75

V. MODEL EVALUATIONS AND FINDINGS

For telecommunication dataset used in the study, firstly the data is preprocessed: incomplete and contradictory data are cleaned, data conversion processes are performed and the data set is scaled in the range of [0-1]. Two balanced training sets are created with the random undersampling and random oversampling methods available in the Python imblearn library because of the unbalanced dataset. The samples in the majority class are reduced to equal the number of samples in the minority class with random undersampling and the samples in the minority class are multiplied to equal the number of samples in the majority class with random oversampling. In this way, we run algorithms separately with the unbalanced training set, random undersampling and random oversampling sets. Binary classification problems are compared by applying Naive Bayes, Decision Trees (ID3), RF, ANN and SVM, which are classification algorithms in Python. Naive Bayes and ID3 algorithms are not included in the application part because they give results below expectations. The models are evaluated according to the criteria obtained from the confusion matrix. In the tables below, the results of the models are compared according to the performance metrics. When the results for each model are compared according to the accuracy rates, Table 22 shows that ANN gives better results. RF and SVM algorithms are respectively followed by ANN algorithm. The accuracy rate shows us how many of the customers that the model predicts are classified correctly.

Table 22. The success of the models according to the accuracy criterion.

				<i>Accuracy rate</i>		
				<i>Original data set</i>	<i>Random undersampling</i>	<i>Random oversampling</i>
<i>ANN</i>	0.82	0.80	0.80			
<i>RF</i>	0.80	0.75	0.75			
<i>SVM</i>	0.79	0.73	0.74			

The sensitivity criterion indicates how many of the model's predictions as non-churners are actually true for the class of non-churners and how many of the model's predictions as churners are actually correct for the churners. The results according to the sensitivity performance metric for classes 0 and 1 are compared in Table 23. In the unbalanced data set, we see that the non-churner customers are

predicted at a higher rate. This rate decreased for customers who do not churn after their datasets are balanced. It is decreased from 88% to 81% in ANN, from 88% to 71% in RF, and from 79% to 73% in SVM. The correct estimation of churning customers, while the dataset is unbalanced, is seen as improved when the dataset is balanced. This ratio is increased from 59% to 80% in ANN, from 56% to 80% in RO, and from 49% to 77% in SVM respectively.

Table 23. The success of the models according to the sensitivity criterion for sets 0 and 1.

		<i>Sensitivity</i>		
		<i>Original data set</i>	<i>Random undersampling</i>	<i>Random oversampling</i>
<i>S = 0</i>	<i>ANN</i>	0.88	0.84	0.81
	<i>RF</i>	0.88	0.71	0.75
	<i>SVM</i>	0.79	0.73	0.73
<i>S = 1</i>	<i>ANN</i>	0.59	0.80	0.76
	<i>RF</i>	0.56	0.80	0.76
	<i>SVM</i>	0.49	0.77	0.75

Table 24. The success of the models according to the precision criterion for classes 0 and 1.

		<i>Precision</i>		
		<i>Original data set</i>	<i>Random undersampling</i>	<i>Random oversampling</i>
<i>S = 0</i>	<i>ANN</i>	0.87	0.90	0.89
	<i>RF</i>	0.85	0.91	0.90
	<i>SVM</i>	0.83	0.90	0.89
<i>S = 1</i>	<i>ANN</i>	0.62	0.60	0.63
	<i>RF</i>	0.62	0.49	0.51
	<i>SVM</i>	0.61	0.50	0.50

Table 25. Success of models according to F-Measure.

	<i>F-measure</i>		
	<i>Original data set</i>	<i>Random undersampling</i>	<i>Random oversampling</i>
<i>ANN</i>	0.81	0.81	0.82
<i>RF</i>	0.80	0.75	0.76
<i>SVM</i>	0.78	0.75	0.75

With the above analysis, it is possible to make the following inferences. In models run with all data sets, the ANN algorithm is more successful according to the accuracy rates. However, for customer churn analysis, it may be misleading for a customer to decide to churn based only on the accuracy rate on an unbalanced data set. Therefore, other performance measures must be considered. Therefore the accuracy rate is proportional to the number of correctly placed customers in both classes. For this reason, two more data sets are created by balancing the unbalanced data set. When these datasets are tested by training with the same algorithms, we see that the accuracy rates are slightly lower than the original dataset. Still, when we look at the sensitivity and precision criteria in predicting the customer who will leave, we see that they are successful.

In our study, we also compare the result of our models with the studies derived from literature. As seen from Table 26, our RF model has the highest accuracy, precision, sensitivity and F-measure values. Our ANN model's accuracy is %82 and Mohammad et al. (2019)'s accuracy is %86, and the sensitivity value of our model is 0,81 and the Mohammad et al. (2019)'s sensitivity value is 0,85. We can tell that their model label more accurately and can predict true positives more accurately. When we evaluate SVM results, the accuracy value of our model is lower than only Chabumba et al. (2021)'s accuracy value. In our SVM model, the other performance metrics are better than the compared studies. When comparing machine learning studies, it should be considered that the preprocessing methods used may differ and will affect the results.

Table 26. Comparison of studies in literature

		Accuracy	Precision	Sensitivity	F-measure
RF	Our Model	80%	0,79	0,80	0,80
	Halibas et al. (2019) [66]	75%	0,71	0,71	0,71
	Tamuka and Sibanda (2020) [67]	79%	0,78	0,79	0,78
	Beeharry and Fokone (2021) [68]	80%	0,67	0,48	0,56
ANN	Our Model	82%	0,81	0,81	0,81
	Mohammad et al. (2019) [69]	86%	0,78	0,85	NA
	Raut (2020) [70]	74%	0,70	0,84	0,76
	Hota and Dash (2021) [71]	80%	0,89	0,84	0,85
	Makruf et al. (2021) [72]	79%	0,67	0,55	0,60
SVM	Our Model	79%	0,78	0,79	0,78
	Chabumba et al. (2021) [73]	80%	0,68	0,45	0,54
	Makruf et al. (2021) [72]	78%	0,66	0,50	0,57
	Lalwani et al. (2022) [74]	78%	0,79	0,78	0,78

VI. CONCLUSION

In the study, the performance metrics of the results of different models are compared and it was discussed which method is more successful and applicable. Due to the unbalanced dataset, it is shown which steps are followed in the data preprocessing stages. The differences of the applied models are evaluated for three different training sets developed with different sampling methods. Suggestions are made on which criteria should be considered in the selection of a successful model besides the accuracy rate.

Since the class distribution is not equal in the data set, models are run with three different training sets by oversampling and undersampling. The results of the analysis are shown in Figure 6. When we analyze the accuracy rate of the unsampled artificial neural networks model is higher than the models with over and under sampling. This ratio tells how many of the customers, both will and will not churn, are classified correctly in total, but this model, when considered together with sensitivity, precision and F-measure, has a lower success than other models in predicting only customers who will churn.

According to the accuracy rates, we see that the ANN are followed by the RF in the second place and the SVM in the third place. Models run with original datasets have higher accuracy than balanced datasets. We can say that with the balancing process, the accuracy rates are also reduced for these models, but it has an improving effect for the sensitivity and precision measures. With these results, we see that ANN are more successful than other machine learning algorithms. When we compare the training sets of different models, it is obvious that balanced data sets give better results in classifying the customers who will leave.

The data set used in the application consists of 7043 customers. The working set can be expanded by increasing the number of customers and adding different attributes. In this study, the concept of data mining, its application areas, and machine learning methods are explained and the importance of customer churn prediction is mentioned.

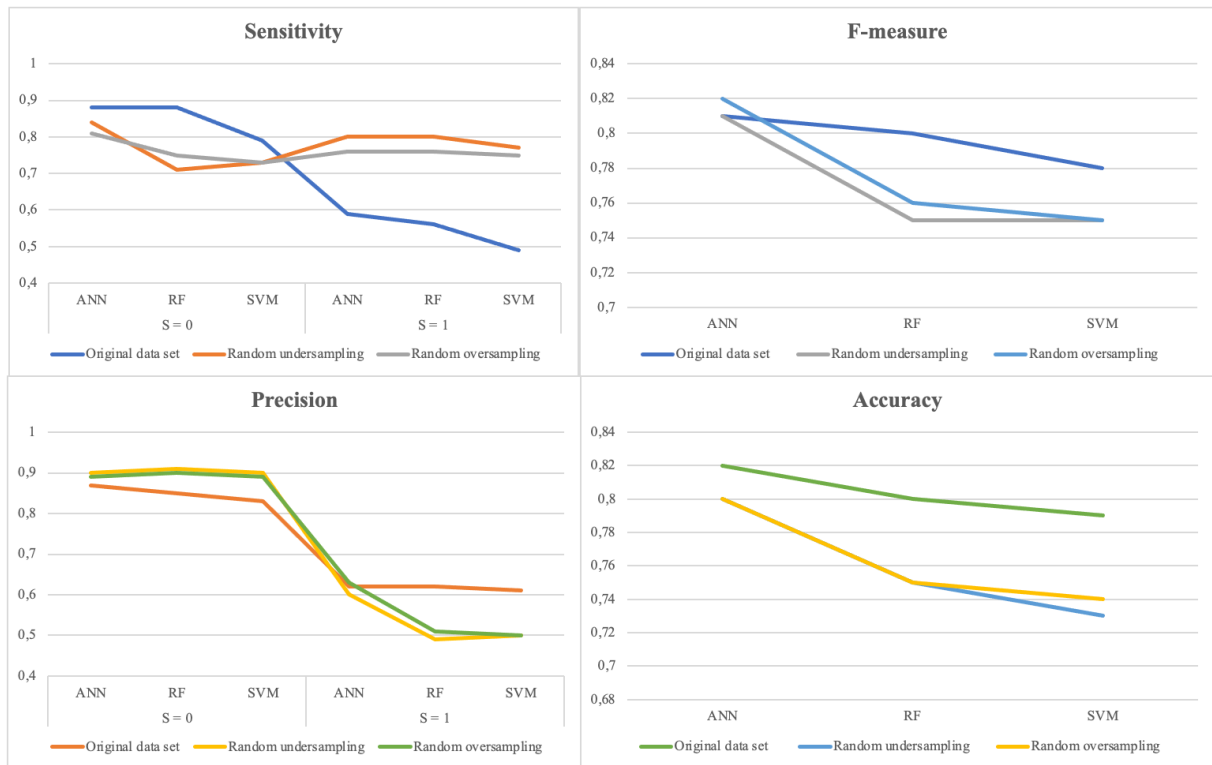


Figure 6. The comparison of results according to datasets

The limitations of our study can be explained as follows: in our dataset we don't have indicators which consider customers' technical, quality and price perceptions. Doing so, we can determine customers' requirements and develop some marketing strategies. In addition, the changes in market and economical conditions, customer preferences and telecommunication infrastructure will affect the results of the models. So, by using updated data and shortening the analysis period we can see the effects of these changes and provide quick responses.

In today's technology and telecommunication-based business world, customers are the most important capital of businesses. For this reason, achieving customer loyalty in the telecommunication sector, as in every sector, will enable these enterprises to have a longer life and earn high profits. The analysis made in this study will lead today's managers, who are aware of the cost of losing a customer, to determine their customers who are likely to leave the company and to determine a roadmap for these customers. In this roadmap, each customer profile can be carefully examined and customer-specific strategies can be determined.

VII. REFERENCES

- [1] K. K. Tsipitsis and A. Chorianopoulos, Data mining techniques in CRM: inside customer segmentation. *John Wiley & Sons*, 2011.
- [2] F. Bagheri and M. J. Tarokh, "Customer Behavior mining based on RFM model to improve the customer relationship management," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol.1, no. 1, 2014.
- [3] M. A. H. Farquad, V. Ravi, and S. B. Raju, "Churn prediction using comprehensible support vector machine: An analytical CRM application," *Appl. Soft Comput.*, vol. 19, pp. 31–40, 2014.

- [4] B. Heinrich and M. Helfert, "Analyzing Data Quality Investments in CRM-A model-based approach," *8th International Conference on Informations Quality (ICIQ), Massachusetts Institute of Technology*, pp. 80-95, 2003.
- [5] S. E. Seker, "Müşteri Kayıp Analizi (Customer Churn Analysis)," *YBS Ansiklopedi*, vol. 3, no. 1, pp. 26–29, 2016.
- [6] S.-Y. Hung, D. C. Yen, and H.-Y. Wang, "Applying data mining to telecom churn management," *Expert Syst. Appl.*, vol. 31, no. 3, pp. 515–524, 2006.
- [7] J. Hadden, A. Tiwari, R. Roy, and D. Ruta, "Computer assisted customer churn management: State-of-the-art and future trends," *Comput. Oper. Res.*, vol. 34, no. 10, pp. 2902–2917, 2007.
- [8] A. K. Ahmad, A. Jafar, and K. Aljoumaa, "Customer churn prediction in telecom using machine learning in big data platform," *J. Big Data*, vol. 6, no. 1, pp. 1–24, 2019.
- [9] P. Lalwani, M. K. Mishra, J. S. Chadha, and P. Sethi, "Customer churn prediction system: a machine learning approach," *Computing*, vol. 104, no. 2, pp. 271–294, 2022.
- [10] D. Das Adhikary and D. Gupta, "Applying over 100 classifiers for churn prediction in telecom companies," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 80, no. 28, pp. 35123–35144, 2021.
- [11] N. Alboukaey, A. Joukhadar, and N. Ghneim, "Dynamic behavior based churn prediction in mobile telecom," *Expert Syst. Appl.*, vol. 162, p. 113779, 2020.
- [12] P. Swetha and B. Dayananda, "Improved_XgBoost machine learning algorithm for customer churn prediction," *EAI Endorsed Trans. Energy Web*, vol. 7, no. 30, p. e14, 2020.
- [13] B. Mishachandar and K. A. Kumar, "Predicting customer churn using targeted proactive retention," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 2.27, p. 69, 2018.
- [14] I. Ullah, B. Raza, A. K. Malik, M. Imran, S. U. Islam, and S. W. Kim, "A churn prediction model using random forest: analysis of machine learning techniques for churn prediction and factor identification in telecommunication sector," *IEEE access*, vol. 7, pp. 60134–60149, 2019.
- [15] B. Rani and S. Kant, "Semi-supervised learning approach to improve machine learning algorithms for churn analysis in telecommunication," *Int. J. Comput. Inf. Syst. Ind. Manag. Appl.* ISSN 2150-7988, vol. 12, 2020, pp. 265-275
- [16] N. Almufadi, A. M. Qamar, R. U. Khan, and M. T. Ben Othman, "Deep learning-based churn prediction of telecom subscribers." *Int. J. Eng. Res.*, ISSN 0974-3154, vol. 12, no. 12, pp. 2743-2748, 2019.
- [17] C. R. Jyothi, N. B. Boyina, S.V. Lakshmi, B. Akhila, & A. R. Sai, "A churn detection model in telecommunication using machine learning techniques," *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol 12, no. 2, pp. 936-943, 2020.
- [18] J. Pamina, B. Raja, S. SathyaBama, M. S. Sruthi, and A. VJ, "An effective classifier for predicting churn in telecommunication," *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 11, 2019(a).
- [19] W. N. Wassouf, R. Alkhatib, K. Salloum, and S. Balloul, "Predictive analytics using big data for increased customer loyalty: Syriatel Telecom Company case study," *J. Big Data*, vol. 7, no. 1, pp. 1–24, 2020.

- [20] A. M. N. Alzubaidi and E. S. Al-Shamery, "Projection pursuit Random Forest using discriminant feature analysis model for churners prediction in telecom industry.," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 2, 2020.
- [21] K. N. Rao, G. V. Nath, K. Tanmaya, B. Roja, B. Pravallika, and S. N. Aslam, "Business KPIs analysis using visual basics," *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 8, no. 6S, 2020.
- [22] M. Malleswari, R. Maniraj, and P. Kumar, "Murugan: Comparative analysis of machine learning techniques to identify churn for telecom data," *Int. J. Eng. Technol*, vol. 7, no. 3.34, pp. 291–295, 2018.
- [23] R. Suguna, S. Devi, and R. Mathew, "Customer churn predictive analysis by component minimization using machine learning," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 8, pp. 3229–3233, 2019.
- [24] A. Isabella Amali, R. Arunkumar, and S. Mohan, "Comparing and evaluating machine learning algorithms for predicting customer churn in telecommunication industry," *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 11, no. 6 Special Issue, 2019, pp. 170-178.
- [25] J. B. Raja and S. C. Pandian, "An optimal ensemble classification for predicting churn in telecommunication.," *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 13, no. 2, 2020.
- [26] S. M. Jaisakthi, N. Gayathri, K. Uma, and V. Vijayarajan, "Customer Churn prediction using stochastic gradient boosting technique," *J. Comput. Theor. Nanosci.*, vol. 15, no. 6–7, pp. 2410–2414, 2018.
- [27] J. Pamina, T. Dhiliphan Rajkumar, S. Kiruthika, T. Suganya, and F. Femila, "Exploring hybrid and ensemble models for customer churn prediction in telecommunication sector," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, pp. 299–309, 2019(b).
- [28] H. Jain, A. Khunteta, and S. Srivastava, "Telecom churn prediction and used techniques, datasets and performance measures: a review," *Telecommun. Syst.*, vol. 76, no. 4, pp. 613–630, 2021.
- [29] Seema & G.Gupta, "A critical examination of different models for customer churn prediction using data mining," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 8, no. 6S3, pp. 850-854, 2019.
- [30] R. Sudharsan, & E. N. Ganesh, "Churn rate prediction in telecommunication systems," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 4720-4725, 2019.
- [31] Turkish Electronic Communications Industry, Quarterly Market Data Report, 2020, 3rd Quarter (Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü, Üç Aylık Pazar Verileri Raporu, 2020, 3. Çeyrek). Retrieved from <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/pazar-verileri/uc-aylik-pazar-verileri-2020-3-kurumdisi.pdf>
- [32] S. Moedjiono, Y. R. Isak, and A. Kusdaryono, "Customer loyalty prediction in multimedia service provider company with k-means segmentation and C4. 5 algorithm," in *2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 2016, pp. 210–215.
- [33] C.-H. Chen, R.-D. Chiang, T.-F. Wu, and H.-C. Chu, "A combined mining-based framework for predicting telecommunications customer payment behaviors," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 16, pp. 6561–6569, 2013.
- [34] M. C. Mozer, R. Wolniewicz, D. B. Grimes, E. Johnson, and H. Kaushansky, "Predicting subscriber dissatisfaction and improving retention in the wireless telecommunications industry," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 11, no. 3, pp. 690–696, 2000.

- [35] A. M. AL-Shatnwai and M. Faris, "Predicting customer retention using XGBoost and balancing methods," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 7, pp. 704–712, 2020.
- [36] K. K.-K. Wong, "Getting what you paid for: Fighting wireless customer churn with rate plan optimization," *J. Database Mark. Cust. Strateg. Manag.*, vol. 18, no. 2, pp. 73–82, 2011.
- [37] S. F. Sabbeh, "Machine-learning techniques for customer retention: A comparative study," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 2, 2018.
- [38] S. Mau, I. Pletikosa, and J. Wagner, "Forecasting the next likely purchase events of insurance customers: A case study on the value of data-rich multichannel environments," *Int. J. Bank Mark.*, 2018.
- [39] S. M. Kostić, M. I. Simić, and M. V Kostić, "Social network analysis and churn prediction in telecommunications using graph theory," *Entropy*, vol. 22, no. 7, p. 753, 2020.
- [40] A. Amin et al., "Cross-company customer churn prediction in telecommunication:s A comparison of data transformation methods," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 46, pp. 304–319, 2019.
- [41] Y. Khan, S. Shafiq, A. Naeem, S. Hussain, S. Ahmed, and N. Safwan, "Customers churn prediction using artificial neural networks (ANN) in telecom industry," *Editor. Pref. From Desk Manag. Ed.*, vol. 10, no. 9, 2019.
- [42] P. Spanoudes and T. Nguyen, "Deep learning in customer churn prediction: unsupervised feature learning on abstract company independent feature vectors," arXiv Prepr. arXiv1703.03869, 2017.
- [43] H. Faris, "A hybrid swarm intelligent neural network model for customer churn prediction and identifying the influencing factors," *Information*, vol. 9, no. 11, p. 288, 2018.
- [44] Y. Zhang, J. Qi, H. Shu, and Y. Li, "Predicting churn probability of fixed-line subscriber with limited information: a data mining paradigm for enterprise computing," in *Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems*, Springer, pp. 589–590, 2006.
- [45] A. Mohd Khalid, I. Mohammad Ridwan, M. Mokhairi, A. R. M Nordin, and M. Abd Rasid, "Performance comparison of neural network training algorithms for modeling customer churn prediction," *Int. J. Eng. Technol*, vol. 7, no. 2.15, pp. 35–37, 2017.
- [46] P. Wanchai, "Customer churn analysis: A case study on the telecommunication industry of Thailand," in *2017 12th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, 2017, pp. 325–331.
- [47] Y. Koçtürk, "Veri madenciliğinde bağlılık." İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [48] E. Kızılkaya Aydoğan, C. Gencer, and S. Akbulut, "Veri madenciliği teknikleri ile bir kozmetik markanın ayrılan müşteri analizi ve müşteri bölümlenmesi," vol. 26, no. 1, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2008.
- [49] I. Brândușoiu, G. Todorean, and H. Beleiu, "Methods for churn prediction in the pre-paid mobile telecommunications industry," in *2016 International conference on communications (COMM)*, 2016, pp. 97–100.

- [50] T. Kamalakannan and P. Mayilvaghanan, "Optimal customer relationship management in telecalling industry by using data mining and business intelligence," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 1.1, pp. 12–17, 2018.
- [51] U. Özveren, "Pem yakıt hücrelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi," Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [52] L. H. Tsoukalas and R. E. Uhrig, Fuzzy and neural approaches in engineering. *John Wiley & Sons, Inc.*, 1996.
- [53] M. F. Keskenler and E. F. Keskenler, "Geçmişten günümüze yapay sinir ağları ve tarihçesi," *Tak. Vekayi*, vol. 5, no. 2, pp. 8–18, 2017.
- [54] V. Gülpınar, "Yapay sinir ağları ve sosyal ağ analizi yardımı ile Türk Telekomünikasyon piyasasında müşteri kaybı analizi," *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, vol. 34, no. 1, pp. 331–350, 2013.
- [55] E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning. *MIT Press*, 2020.
- [56] V. Vapnik, The Nature of Statistical Learning Theory. *Springer Science & Business Media*, 1999.
- [57] E. U. Küçüksille and N. Ateş, "Destek vektör makineleri ile yaramaz elektronik postaların filtrelenmesi," *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgi. Bilim. ve Mühendisliği Derg.*, vol. 6, no. 1, 2013.
- [58] O. Kaynar, M. F. Tuna, Y. Görmez, and M. A. Devenci, "Makine öğrenmesi yöntemleriyle müşteri kaybı analizi," *Cumhur. Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–14, 2017.
- [59] L. Breiman & A. Cutler, Random Forest, Retrieved from http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm
- [60] L. Breiman, "Random forests," *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [61] M. Pal, "Random forest classifier for remote sensing classification," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 26, no. 1, pp. 217–222, 2005.
- [62] A. Liaw and M. Wiener, "Classification and regression by randomForest," *R news*, vol. 2, no. 3, pp. 18–22, 2002.
- [63] M. Skurichina and R. P. W. Duin, "Bagging, boosting and the random subspace method for linear classifiers," *Pattern Anal. Appl.*, vol. 5, no. 2, pp. 121–135, 2002.
- [64] Telco Customer Churn Focused customer retention programs data set, [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/blastchar/telco-customer-churn>
- [65] Y. Beeharry and R. Tsokizep Fokone, "Hybrid approach using machine learning algorithms for customers' churn prediction in the telecommunications industry," *Concurr. Comput. Pract. Exp.*, vol. 34, no. 4, 2022
- [66] S. Halibas, A. Cherian Matthew, I. G. Pillai, J. Harold Reazol, E. G. Delvo, and L. Bonachita Reazol, "Determining the intervening effects of exploratory data analysis and feature engineering in telecoms customer churn modelling," 2019 4th MEC Int. Conf. Big Data Smart City, ICBDS 2019, 2019

- [67] N. Tamuka and K. Sibanda, "Real Time Customer Churn Scoring Model for the Telecommunications Industry," 2020 2nd Int. Multidiscip. Inf. Technol. Eng. Conf. IMITEC 2020, 2020.
- [68] Y. Beeharry and R. Tsokizep Fokone, "Hybrid approach using machine learning algorithms for customers' churn prediction in the telecommunications industry," *Concurr. Comput. Pract. Exp.*, vol. 34, no. 4, 2022.
- [69] N. I. Mohammad, S. A. Ismail, M. N. Kama, O. M. Yusop, and A. Azmi, "Customer Churn Prediction in Telecommunication Industry Using Machine Learning Classifiers," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, 2019
- [70] N.V. Raut, "A Study of Ensemble Machine Learning to Improve Telecommunication Customer Churn Prediction," Dissertation submitted in part fulfilment of the requirements for the degree of MSc Data Analytics At Dublin Business School, pp. 1–52.
- [71] L. Hota and K. Dash, "55_Prediction of Customer Churn in Telecom Industry: A Machine Learning Perspective," *Comput. Intell. Mach. Learn.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2021.
- [72] M. Makruf, A. Bramantoro, H. J. Alyamani, S. Alesawi, and R. Alturki, "Classification methods comparison for customer churn prediction in the telecommunication industry," *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 12, 2021.
- [73] D. R . Chabumba, A. Jadhav, and Ajoodha, R. (2021), "Predicting telecommunication customer churn using machine learning techniques," In *Interdisciplinary Research in Technology and Management*, pp. 625-636). CRC Press.
- [74] P. Lalwani, M. K. Mishra, J. S. Chadha, and P. Sethi, "Customer churn prediction system: a machine learning approach," *Computing*, vol. 104, no. 2, pp. 271–294, 2022.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Virüslerin Kodladığı Uzun ve Kısa Kodlamayan RNA'lar

 Mehmet Kara^{a,*}

^a Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetkara@uludag.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1212643

ÖZ

Yeni geliştirilen RNA dizileme teknolojileri ile yaklaşık son on yıldır, memeli genomlarının önceden çöp, 'junk' DNA olarak görülen kısımlarının aslında aktif olarak RNA'ya dönüştükleri gözlemlenmektedir. Yapılan biyoinformatik analizler ve proteomik çalışmalar, bu RNA ürünlerinin çok büyük bir kısmının proteine dönüşmediğini göstermektedir. Uzun kodlamayan RNA olarak adlandırılan bu sınıftaki genlerin, günümüzde, bilinen genlerden sayıca daha fazla olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu RNA moleküllerinin nasıl üretildikleri ve ne yaptıklarını incelemek, hem genomun nasıl çalıştığını temel bilim düzeyinde anlamak hem de hastalıklara karşı tedavi geliştirmek ve erken teşhiste biyosensör olarak kullanmak için elzemdir. Virüsler, konak canlıının mekanizmalarını kullanan organizmalar olarak, bu tür RNA'ları kendi genomlarında barındırır ve proteinler gibi immün sistem gözetimi altında kalmadan görev yapan RNA moleküllerini, hücrenin yolaklarını kendi lehlerine manipüle etmede kullanırlar. Viral hastalıkları moleküler düzeyde anlamının yanı sıra, virüslerin aşı geliştirmede ve gen terapide vektör olarak kullanılmalarından dolayı viral kökenli RNA'ların fonksiyonlarını araştırmak giderek önem kazanmaktadır. Bu derlemede viral mikroRNA'lar ve halkasal circRNA'lar hariç tutularak, başlıca virüslerin ürettiği kodlamayan RNA'lardan ve hücredeki etki mekanizmalarından bahsedilmiştir. Ayrıca bu tür RNA'ların keşfi, yapısının belirlenmesi, karakterizasyonu ve fonksiyonunun anlaşılması için kullanılan yöntemlere değinilmiştir. Virüslerin konak hücreyi enfekte ederken kullandıkları bu küçük moleküllerin görevlerini ve etkilerini anlamak, bize RNA moleküllerinin düzenleyici ajanlar olarak ne kadar yaygın biçimde kullanıldığını göstermesi açısından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Virüs, Herpesvirüs, Uzun kodlamayan RNA, RNA protein etkileşimi, RNA omik teknikleri

Virally-Encoded Long and Short Non-Coding RNAs

ABSTRACT

Recent advances in RNA sequencing methods have elucidated that over the last decade, regions in the mammalian genome, which was previously described as 'junk DNA', is actively converted to RNA. Through bioinformatic and proteomic analyses, it was shown that the majority of these transcripts do not code for protein. Identified as long non-coding RNAs, these genes exceed the number of known protein-coding genes. It is required to investigate how these RNA molecules are generated and how they function, in order to understand how the genome works at a fundamental level and to design therapies against diseases and biosensors for early prognosis. Viruses, as organisms to utilize their hosts' mechanisms, encode for these RNA molecules which do not induce immune system-like proteins, and exploit ncRNAs to manipulate cellular pathways for their life cycles. In addition to understanding viral pathogenesis at a molecular level, it has become increasingly important to study virally encoded ncRNA function since viruses are used as vectors for gene therapy and vaccines. In this work, certain viral non-coding RNAs excluding the miRNAs and circular RNAs have been reviewed. Additionally, the methods and techniques for identification, characterization, and functional analyses for the lncRNA studies have been summarized. Understanding the key roles of these small molecules, which viruses utilize for infecting the host, is important for us to realize how commonly RNA is utilized for regulatory purposes.

Keywords: Virus, herpesvirus, long non-coding RNA, RNA-protein interactions, RNA omics technologies

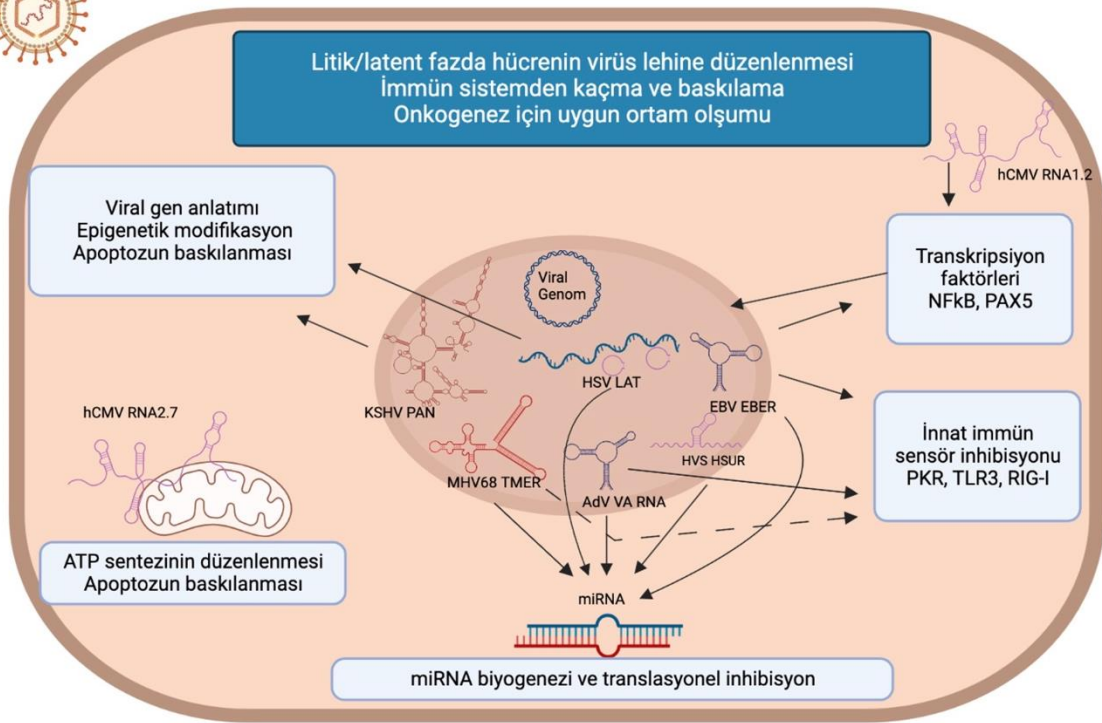
I. GİRİŞ

Uzun yıllar boyunca gen tanımı ve fonksiyon çalışmaları için memeli genomunun yaklaşık yalnızca %1-2'lik protein kodlayan kısmı odak noktasını oluşturmaktaydı. Fakat günümüzde daha ucuz ve uygulanabilir hale gelen mikroarray ve özellikle de RNA dizileme teknolojileri sayesinde bu anlayışın değişmeye başladığı belirgin hale gelmiştir[1]–[3]. Yeni geliştirilen teknikler ve uygulamalarla birlikte, bir çok farklı canlının genomunda önceden fonksiyonu belirlenmemiş ve neredeyse göz ardı edilmiş bölgelerinin yüksek miktarda ve çeşitlilikte transkripsiyona uğradığı artık bilinmektedir[4]. Virüsler konakları ile birlikte evrimleşen organizmalar olarak, bu transkripsiyonel mekanizmaları kullanırlar ve kendi hayat döngüleri için genomlarından uzun kodlamayan RNA'lar (**long non-coding RNA, lncRNA**) üretirler[5].

Virüsler memeli genomlarına nazaran oldukça küçük olan genomlarını en verimli potansiyelde kullanmak durumundadırlar. Yapılan araştırmalarda, virüslerin intergenik transkripsiyon, alternatif 'splicing', çift yönlü transkripsiyon, alternatif promotör kullanımı, 'read through' durmaksızın transkripsiyon, ve yaygın transkripsiyon adı verilen mekanizmaları kullanarak çeşitli miktarlarda lncRNA'lar ürettikleri gösterilmiştir[6], [7]. Virüsler açısından, proteinler gibi Büyük Doku Uyuşum Kompleksi (**Major Histocompatibility Complex, MHC**) üzerinde sergilenmeyen ve kazanılmış bağışıklık sistemi uyarmayan bu RNA'lar hücrenin fonksiyonlarını virüs lehine düzenlemek ve kullanmak adına oldukça avantajlı bir araç-gereç fonksiyonu göstermektedir.

Günümüzde en iyi tanımlanmış viral lncRNA'lar herpesvirüs ailesine ait virüsler tarafından üretilmektedir[8]. Herpesvirüsler çift zincirli DNA genomuna sahip, zarflı, türüne göre 80-200 protein kodlama kapasitesine sahip virüslerdir. Herpesvirüsler bir konağa ilk kez bulaştıklarında litik faz denilen, dokulardan ve bazı durumlarda kandan enfeksiyöz virüs partiküllerinin elde edildiği bir akut enfeksiyona neden olurlar. İmmün sistemin devreye girmesi ve virüs konak arasında denge kurulması ile latent faz adı verilen oldukça sınırlı sayıda genin anlatımının yapıldığı, konakta ömür boyu süren, kronik bir enfeksiyon durumuna geçerler[9]. İmmün yetmezlik, stres ve değişen çevresel koşullar vb. durumlarda buldukları latent fazdan tekrardan aktif hale geldikleri birçok viral genin anlatımının yapıldığı ve enfeksiyöz partiküllerin üretildiği reaktivasyon olarak adlandırılan duruma neden olarak, yeni hücreleri enfekte eder ve konak virüs dengesini yeniden kurarlar[10]. Bu virüslerin konağı ömür boyu enfekte ettikleri latent enfeksiyon boyunca saklandıkları hücre içerisinde immün sistem gözetiminden kaçtıkları düşünüldüğünde, viral uzun kodlamayan RNA'ların, virüslerin yaşam döngüleri açısından önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Viral lncRNA'ların fonksiyonlarının belirlenmesinin, hem hücrenin çoğalma, apoptoz, doğal immünite aktivasyonu/inhibisyonu ve onkogeneze gibi yollarının nasıl düzenlendiğini anlama, hem de virüse karşı daha yenilikçi ve başarılı terapilerin geliştirilmesi adına ne kadar elzem olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu derlemenin amacı virüsler tarafından kodlanan uzun ve kısa kodlamayan RNA'ların üretim mekanizmalarına göre sınıflandırılması ve fonksiyonel açıdan hücredeki etki mekanizmalarını güncel literatürde bulunan çalışmalar ışığında değerlendirmektir. Şekil 1'de virüslerin hücrenin çeşitli yollarını virüs lehine düzenlerken kullandıkları bazı kodlamayan RNA'lar ve etkileşimleri gösterilmektedir. Burada gösterilen çeşitli örnekler metnin devamında detaylandırılmıştır. Derleme kapsamında bu örneklerin yanında kodlamayan RNA'ların keşfinde ve nasıl çalıştıklarını belirlemede kullanılan farklı dizileme ve antisense temelli purifikasyon metotları incelenmiştir.



Şekil 1. Viral kodlamayan RNA'ların virüs yaşam döngüsüne etki mekanizmaları. Enfeksiyon sonrasında çeşitli mekanizmalarla üretilen viral ncRNA'lar hücrenin proliferasyon, transkripsiyonun düzenlenmesi, epigenetik modifikasyonlar, miRNA biyogenezi ve hedef gene yöneltilmesi, immün sistemin baskılanması ve apoptozun inhibisyonu gibi mekanizmalarını etkiler ve hücre içi ortamı virüs lehine optimize ederler. Bu süreçler sonucunda onkogenik potansiyele sahip virüslerin enfeksiyonlarında viral ncRNA'lar tümör oluşumunu ve gelişimini tetikleyici etki gösterirler. HSV: Herpes Simpleks Virüs, LAT: Latens İlişkili Transkript, AdV: Adenovirüs, VA RNA: Virüs İlişkili RNA, EBV: Epstein-Barr Virüsü, EBER: Epstein-Barr Virüsü İlişkili RNA, HVS: Herpesvirüs Samiri, HSUR: HVS U zengin RNA, MHV68: Murine Gammaherpesvirüs 68, TMER: tRNA-miRNA kodlayan RNA, KSHV: Kaposi Sarkomu İlişkili Herpesvirüs, PAN: Poliadenillenmiş Nüklear RNA, hCMV: İnsan Sitomegalovirüs, PKR: Protein Kinaz R, TLR: Toll benzeri reseptör, RIG-I: Retioik asit indüklenen gen 1, NFKB: Nüklear Faktör Kappa B, PAX5: Paired Box 5. Şekil Biorender'da (<https://biorender.com/>) oluşturulmuştur.

II. ÜRETİM MEKANİZMALARINA GÖRE VİRAL KODLAMAYAN RNA'LAR

Genellikle lncRNA'lar için boyut açısından görece bir eşik olarak 200 nükleotidlik bir alt limit belirlenmiş durumdadır. Ancak virüsler tarafından üretilen Adenovirüs (AdV) kökenli VA (Viral-Associated) RNA'ları[11], Epstein-Barr Virüsü (EBV) kökenli EBER (Epstein-Barr virus Encoded small RNA)'ler[12] ve Murid Gammaherpesvirüs 68 (MHV68) kökenli TMER (tRNA-linked miRNA encoding RNA) elementleri[13], yaklaşık 160-220 nükleotid boyutlarındadır ve bu derleme kapsamında viral kodlamayan RNA'lar içerisinde bahsedilecektir. Küçük kodlamayan RNA'lar denildiğinde ilk akla gelen tür olan mikroRNA'lar bu derlemeye lncRNA'lar ile olan etkileşimleri haricinde dahil edilmemiştir. Viral miRNA'ların fonksiyonları ve üretim mekanizmaları çeşitli derlemelerde incelenmiştir[14]–[18].

Bu bağlamda viral lncRNA'lar sentezlendikleri mekanizma açısından RNA polimeraz II (pol II) ve RNA polimeraz III (pol III) ürünleri olarak genel itibarıyla uzun ve kısa kodlamayan RNA'lar şeklinde iki sınıfa ayrılabilirler. Fakat bu tanımın istisnası olarak Herpesvirüs samiri'nin kodladığı, 80-140 nükleotid uzunluğunda HSUR (Herpesvirus Samiri U-rich RNA) elementleri[19]–[21] RNA pol II tarafından sentezlenir ancak kısa kodlamayan RNA'lar olarak tanımlanabilirler.

A. RNA POL III TARAFINDAN SENTEZLENEN VİRAL KODLAMAYAN RNA'LAR

Hücre tarafından tRNA'ların sentezi için kullanılan RNA pol III promotörleri çevresel sinyallere çok daha az duyarlıdır ve sürekli olarak yüksek miktarlarda RNA üretebilme kapasitesine sahiptir[22]. Bu özellikleri dolayısı ile çeşitli virüslerin bu transkripsiyonel mekanizmayı kullanarak hücreyi kendi lehine manipüle etmek için RNA üretmesi hem ilginç hem de virüs açısından oldukça verimli bir yöntem teşkil etmektedir. Konak tarafından üretilen Pol III ürünü ncRNA'ların 7SL ve U6 gibi en bilinen örnekleri (tRNA'lar ve 5srRNA haricinde) ribonükleoproteinlerin katlanmasında, farklı subunitlerin bir araya gelmesinde iskele görevi görmesinde ve 'splicingin' gerçekleşmesinde rol oynamaktadırlar. Viral kökenli pol III ncRNA'ları benzer fonksiyonları virüs lehine yönetmenin yanında 'decoy' olarak tanımlanan yanıltıcı ve inhibe edici moleküller olarak görev yaparlar[23]. Küçük gen yapıları dolayısıyla viral genomda sınırlı yer kapladıklarından virüsler için avantaj sağlarlar.

Adenovirüsler (AdV) doğada farklı serotiplerde oldukça yaygın olarak bulunan ve solunum yolu enfeksiyonlarına neden olan virüslerdir. Ayrıca günümüzde hem gen terapi hem de aşılmalarda (Covid19 aşılardan Sputnik V ve Oxford AstraZeneca gibi) vektör olarak kullanılan bu virüslerin viral uzun kodlamayan RNA'larının fonksiyonlarını anlamak önemlidir. AdV tarafından üretilen ve yaklaşık 160 nükleotid uzunluğunda olan VA I ve II RNA'ları enfekte hücrede 10^7 gibi oldukça yüksek bir kopya sayısına ulaşmaktadır. Bu RNA'ların delesyonları virüsün *in vitro* büyüme kinetiğine etki etmemektedir ve ayrıca VA mutant AdV'nin *in vivo*'daki fonksiyonu bilinmemektedir [24]. Hücre içi doğal immün sistemin önemli sensörlerinden biri olan çift zincirli RNA sensörü Protein Kinase R (PKR) inaktivasyonuna neden olmanın[25] yanında VA RNA parçalanarak miRNA dizileri ortaya çıkarmaktadır[26]. Hücre içinde yüksek miktarda Ago proteinine yerleşmiş halde VA I'den oluşan miRNA ve kök dizisinin hedeflediği mRNA'lar bulunmaktadır[27].

Epstein-Barr Virüsü (EBV) neredeyse bütün dünya popülasyonunu enfekte eden ve Burkitt lenfoma, Hodgkin lenfoma ve nazofarenks kanseri gibi çeşitli kanser türlerinin gelişimi ile ilişkili bir virüstür. Hiç bir viral protein anlatımının yapılmadığı durum da dahil olmak üzere, birden fazla latent formu (Latency 0, I, II, III) bulunmaktadır ve EBER I ve II adı verilen yaklaşık 170 nükleotid büyüklüğündeki ncRNA'lar EBV'nin bütün latent formlarında yüksek miktarda bulunurlar[28]. Nüklear RNA'lar olarak tanımlanmalarına rağmen sitoplazmada ve ekzozomlarda yaygın olarak buldukları gösterilmiştir[29]. PKR ve RIG-I gibi önemli doğal immün sistem sensörlerine bağlanarak hücrede onkogenезin gelişmesinde rol oynarlar[30], [31]. EBER 2 RNA'sı EBV genomundaki 'terminal repeat' adı verilen uç tekrar dizilerinden üretilen yeni transkriptlerle eşleşerek, B hücreleri gelişimi için önemli olan transkripsiyon faktörlerinden PAX5 proteinini EBV genomuna getirir ve viral gen anlatımının düzenlenmesini sağlar. EBER2'nin yok edildiği durumlarda ise viral gen ekspresyonu ve dolayısıyla hücreden virüs üretimi önemli düzeyde düşmektedir[32]. Genel paradigma, EBV'nin naif B hücrelerini enfekte ederek, bu enfekte hücreyi daha uzun süreli kalabilecek olduğu hafıza B hücrelerine dönüştürdüğü yönündedir. Bu süreçleri yönetirken kullanmış olduğu ncRNA fonksiyonlarının belirlenmesi hem EBV kaynaklı kanserlerin tedavilerine katkı sağlamada hem de B hücrelerinin immün yanıtındaki gelişim evrelerinin anlaşılmasında büyük önem taşımaktadır.

Murine gammaherpesvirüs 68 (MHV68) doğal olarak tarla ve orman faresi gibi kemirgenleri enfekte eden ve laboratuvar farelerinde de gammaherpesvirüs enfeksiyonlarını ve patogenezi incelemek için model olarak kullanılan bir virüstür. Farelerde tıpkı insan gammaherpesvirüslerindeki gibi benzer hastalığa ve lenfomalara neden olmaktadır[33]. MHV68 genomunun ilk 6 kb'lik kısmında 8 adet tRNA geni tanımlanmıştır ve bu tRNA'lar yapılan ilk analizlere göre buldukları antikodona ait amino asit ile yüklenmemektedirler[34]. miRNA'ların keşfi sonrasında yapılan analizlerde, bu tRNA'ların hemen sonrasında bir ya da iki adet 'stem-loop' adı verilen pre-miRNA yapısına sahip diziler barındırdıkları gözlemlenmiştir[35], [36]. Genel kabul gören miRNA biyogenezi sırasında,

RNA pol II ile üretilen öncül pri-miRNA dizileri önce nükleusta Drosha kompleksi ile sonrasında Dicer ile sitoplazmada kesilerek olgun miRNA'ları oluştururlar ve RISC (RNA-Induced Silencing Complex) içerisine yerleşirler. RISC makinası içerisinde yer alan miRNA'lar genellikle kök dizisi aracılığı ile hedef genleri tanıyarak, transkripsiyonel baskılamasını sağlarlar [37]. Normal yoldan farklı olarak, MHV68'de her bir tRNA promotör görevi görerek bu tRNA-miRNA hibrid dizilerini üretir ve RNaz Z ve Dicer aracılığıyla kesilmeleri sonucu (Drosha'dan bağımsız bir biçimde) toplamda 28 adet olgun miRNA ortaya çıkar [38]. Dolayısı ile hem tRNA hem de miRNA dizileri içeren yaklaşık 200 nükleotid uzunluğundaki bu RNA moleküllerine 'tRNA miRNA Encoding RNA' kısaltması olarak TMER adı verilmiştir. Bu dizilerden TMER4 barındırdığı miRNA dizilerinden bağımsız olarak virüsün latent enfeksiyon oluşturma kabiliyetini etkilemektedir. miRNA dizileri mutasyona uğratılmış fakat ikincil yapısı korunmuş olan TMER4 mutant virüs yabani tip virüsten bir farklılık göstermezken, TMER4 ikincil yapısını bozan mutasyonlar virüsün ilk girdiği lenfoid dokudan dalağa geçişini yüksek oranda durdurmuştur[39]. Viral ncRNA'lar miRNA biyogenezini ve değişik sinyal yollarının aktivasyonu/ inhibisyonu gibi hücrede birden fazla mekanizma içerisinde yer alabilirler. Şaşırtıcı bir biçimde TMER4 mutasyonunun viral yayılmayı inhibe edici bu fenotipi, EBV EBER-1'in TMER4 yerine konulması ile ortadan kalmaktadır[40]. Bu iki farklı virüsün dizi açısından birbirine benzerlik göstermeyen ancak ikincil yapılarında kısmi oranda benzerlik gösteren RNA'larının birbirlerinin fonksiyonel homologları gibi davranmaları, bize ncRNA'ların virüs biyolojisinde ne kadar temel bir görev üstlendiğini ve dizi benzerliğinin bu tür olguları anlamada ne kadar yetersiz kaldığını göstermesi açısından çok önemlidir.

B. RNA POL II ÜRÜNÜ KISA KODLAMAYAN RNA'LAR

Yine gammaherpesvirüs ailesine ait olan, yeni dünya maymunlarını enfekte eden ve T hücresi lenfomalarına neden olan Herpesvirus Samiri (HVS), latent enfeksiyon sırasında HSUR adı verilen küçük nükleer RNA'lar üretmektedir[19]. Yukarıda kısaca değinildiği gibi HSUR'lar RNA pol II tarafından üretilirler ve biyogenez ve yapıları itibarı ile 'spliceosome' da görev alan snRNA'lara (U1, U2 snRNA gibi) benzerler ve polyA kuyrukları yoktur. Nükleusta üretilip sitoplazmaya transfer olurlar, 5' trimetil guanin şapka yapısını kazanarak tekrardan nükleusa geri dönerler[41]. HSUR1, miRNA 27 ailesi üyelerinin kök dizileri ve 3' uçlarına güçlü biçimde bağlanır ve parçalanmasını sağlar. T hücrelerinde kullanılabilir halde olan miR 27'nin azalması T hücresi aktivasyonunun uzun süreli olmasına neden olur ve dolayısıyla virüs kaynaklı onkogenin oluşumuna katkı sağlar[42]. HSUR2 ise G1-S hücre döngüsü geçişi ve hematopoietik kök hücre gelişimi için önemli genleri hedefleyen miR142-3p ve miR16'ya bağlanarak bu miRNA'larla yüklü olan RISC kompleksini virüsün latent fazda kalmasına katkısı olan hedef mRNA'lara yönlendirmektedir[43].

C. RNA POL II TARAFINDAN SENTEZLENEN VİRAL UZUN KODLAMAYAN RNA'LAR

Üstte verilen örneklerdeki gibi RNA pol III tarafından sentezlenen ncRNA'ların dışında, virüsler RNA pol II tarafından üretilen 5' şapka ve polyA kuyruğuna sahip lncRNA'lar da üretmektedirler. İnsan sitomegalovirüs (cytomegalovirus, hCMV) ile enfekte hücrelerde viral kökenli RNA transkripsiyonun yaklaşık üçte ikisini 4 adet kodlamayan RNA (RNA2.7, RNA1.2, RNA4.9 ve RNA5.0) teşkil etmektedir[44]. Bu RNA'lardan RNA2.7 mitokondriyal solunum zinciri kompleksi 1 proteinine bağlanarak enfekte hücrede ATP sentezinin stabil kalmasını sağlar ve apoptozu baskılar. RNA1.2 NF- κ B aktivasyonunu bloke ederek, proinflamatuar sitokin salınımını önler[45], [46].

Herpes Simpleks Virüs 1 (HSV) tarafından üretilen Latens İlişkili Transkript (Latency-Associated Transcript, LAT) viral kodlamayan RNA'ların en bilinen örnekleri arasındadır. Yaklaşık 8.3 kb büyüklüğündeki primer LAT RNA'sı 'splicing' sonrası 2.0 ve 1.5 kb büyüklüğünde 3' kuyruğa sahip kısmi olarak halkasal, 'kement' (lariat) adı verilen stabil intronik RNA'lar oluştururlar ve enfekte hücrelerde yüksek miktarda birikmiş halde bulunurlar[47]. LAT transkripti virüsün reaktivasyonu için gereklidir. HSV-1 ve HSV-2 LAT RNA'larının birbiriyle değiştirilmesi sonucu enfekte tavşan gözlerinden genital HSV-2'ye benzer bir reaktivasyon sıklığı gözlemlenmiştir. LAT+ virüsle enfekte

nöronlarda apoptoz baskılanırken, LAT- virüs enfeksiyonunda yüksek miktarda apoptoz gerçekleştiği gösterilmiştir[48]. LAT transkripti ayrıca Drosha ile işlenmesi sonrası viral miRNA'ları oluşturmaktadır. Bu miRNALAR aktivatör fonksiyona sahip viral proteinlerin anlatımını baskılayarak virüsün latent fazda kalmasını sağlamaktadır[49]. LAT ve viral miRNA haricinde herhangi bir viral gen anlatımının gözlemlenmediği HSV-1 enfeksiyonlarında bu kodlamayan RNA'ların fonksiyonları virüsün reaktivasyonu ve latent fazda kalması açısından önemi oldukça büyüktür. Halen HSV-1 genomunun LAT bölgesinden çeşitli RNA'ların varlığı RNA dizileme yöntemleri ile gösterilmekte ve fonksiyonel çalışmalar yapılmaktadır[50].

Kaposi Sarkomu ilişkili Herpesvirus (KSHV) insanlarda en son keşfedilen herpesvirüstür. AIDS gibi immün yetmezlik durumlarında Kaposi Sarkomuna neden olur. Bunun yanında birden fazla lenfoma çeşidinin gelişimi ile ilişkilidir. KSHV litik enfeksiyonda PAN adı verilen 1.1 kb boyutunda polyA kuyruğuna sahip nükleer (PAN) bir RNA sentezler. PAN RNA litik enfeksiyon sırasında hücrede bulunan viral RNALARIN %80'nini oluşturmaktadır ve nükleusta oldukça yüksek seviyelerde birikir[51], [52]. Viral transkripsiyon aktivatör proteinini ve hücrel transkripsiyon makinasını genomda PAN lokusuna getirerek viral genlerin anlatımının yapılmasını sağlar. PAN RNA interferon düzenleyici faktör 4 (IRF4) ile etkileşerek immün modulatör genlerin anlatımını baskılar[53]. Latent fazdaki en önemli protein olan LANA ile etkileşerek reaktivasyon sırasında LANA'nın viral genomdan ayrışmasını tetikler[54]. KSHV PAN RNA'sının yanında henüz yeni tanımlanmış olan yaklaşık 10 kb büyüklüğünde viral genomda latent genlere ve miRNA'lara antisense olan ALT (Antisense Latency Transcript) adı verilen bir RNA kodlamaktadır[55]. HSV-1, EBV, MHV68 gibi diğer herpesvirüslerde de yaygın olarak bulunan bu RNA'ların anlatım düzeylerinin düşük olması, yalnızca latent dönemde gözlemlenmeleri, büyük boyutta olmaları ve buldukları lokusun kompleks olması gibi nedenler dolayısı ile henüz fonksiyonları tam olarak anlaşılamamıştır. Ancak birbirinden farklı virüslerde bu tür RNA'ların bulunması antisense transkripsiyonun virüslerdeki önemini göstermektedir ve daha detaylı çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Alfaherpesvirüs ailesinden kanatlılarda Marek's hastalığı olarak bilinen T hücresi lenfomalarına neden olan Marek's Disease Virus (MDV) kendi telomer RNA (TR) şablonunu kodlaması açısından ilginçtir. Viral TR (vTR) yaklaşık 400 nükleotid uzunluğundadır ve tavuk TR genine yüksek oranda homoloji gösterir. vTR'ın ikincil yapısında bulunan varyasyonların telomeraz aktivitesini konağın TR dizisine nazaran 3 kat arttırdığı gözlemlenmiştir. Konak TR dizisinin vTR ile değiştirildiği mutant virüsler *in vitro* ortamda büyüme açısından bir farklılık göstermezken, enfekte konakta onkogenез ve transformasyon açısından %50 oranında düşüş gösterdiği saptanmıştır[56]. Telomeraz aktivitesinin kanser oluşumundaki önemi göz önünde bulundurulduğunda, MDV vTR'ın viral patogenezdaki rolü oldukça önemlidir.

Nazofarenks kanser örneklerinde ve hücre hatlarında EBV genomunun restriksiyon enzimi kesimi haritasına göre isimlendirilmiş olan 'BamH1 Rightwards' bölgesinden BART adı verilen yüksek sayıda alternatif 'splicing' izoformu gösteren ve genellikle nükleer fraksiyonda bulunan RNA'lar keşfedilmiştir[57], [58]. BART transkriptlerinden bazıları muhtemel ORF dizilerine sahip olmasına rağmen, bu RNA'lar genel olarak pri-miRNA olarak 44 adet EBV miRNA oluşumunda görevlidir[59], [60]. Ayrıca nükleer olan transkriptlerin cDNA olarak EBV negatif hücre hatlarında anlatımının yapılması, c-myc yolağının aktivasyonu ve XBP1'in azalması gibi kanser gelişiminde önemli transkripsiyonel değişikliklere neden olmaktadır[61]. İlginç olan detaylardan bir tanesi ise günümüzde yaygın olarak laboratuvarında kullanılan suş olan B95-8 EBV'nin, BART lokusunun önemli bir kısmını içermemesidir[62]. Ancak bu suş EBV'nin B hücrelerini *in vitro* ortamda transforme etmesi açısından yeterlidir. Dolayısı ile latent dönemde yüksek miktarda anlatımı yapılan miRNA ve lncRNA'ları içermeyen bir virüsün *in vitro* ortamda etkin biçimde transformasyona neden olurken, doğadaki izolatlarının korunmuş bir şekilde bu RNA'ları buldurması oldukça ilginçtir. Bu yüzden EBV kökenli kanserleşmelerde ncRNA etkileri moleküler yolları açıklaması açısından detaylı araştırılması gereken konulardan biridir.

MHV68 bize transkripsiyonel çeşitliliği *in vivo*'da inceleme imkânı sunan bir model organizmadır. İlk genom analizinden bu yana, çeşitli araştırmalarda transkripsiyonel olarak bildiğimizden daha karmaşık

bir yapısı olduğu gösterilmiştir[7], [34], [36]. Yeni tanımlanmış transkriptlerden bir tanesinin hem miRNA kodlayan 3 adet TMER'e antisense olması hem de latent enfeksiyon açısından B hücresi sinyal yollarını düzenleyen M2 proteini ve kemokin bağlayan M3 proteini ile aynı lokusta bulunması açısından önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir[63]. M3 ve M2 genleri ile üst üste bulunan M3-04 adı verilen bu transkript polyA kuyruğuna sahip olması ve nükleer fraksiyonda yer alması dolayısı ile lncRNA gibi işlev gördüğü tahmin edilmektedir. Antisense miRNA'lardan iki tanesinin mutasyonu ile M3-04 seviyesinin arttığı ve *in vivo*'da bu mutant virüsün daha yüksek bir litik virüs titrasyonu gösterdiği gözlemlenmiştir[63]. Virüslerde yaygın olarak bulunan benzeri lncRNA'ların fonksiyonel olarak analizinin yapılması sonucu viral kökenli kodlamayan RNA'ların hücrede hangi yolları nasıl etkilediklerini ortaya çıkarmak mümkündür. Bu mekanizmaların açığa çıkarılması viral kaynaklı hastalıkların teşhis ve tedavilerinde kullanılacak ilaç, aşı, biyosensör gibi ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlayabilirler.

D. RNA GENETİK MATERYALİNE SAHİP VİRÜSLERİN ÜRETTİĞİ KODLAMAYAN RNA'LAR

Konu üzerindeki genel anlayışlardan bir tanesi, RNA'yı genetik materyal olarak kullanan virüslerin miRNA ya da lncRNA gibi RNA temelli düzenleyici mekanizmaları kullanmadığı yönündedir. Kodlamayan RNA'nın işlenmesi ve kullanılması sürecinde Drosha gibi çeşitli nükleaz aktivitesi gösteren enzimlerin bulunması viral genomun bütünlüğünü ve miktarını tehlikeye atacağından, RNA genoma sahip olan ya da retrovirüsler gibi bir RNA aracıya ihtiyaç duyan virüslerin, bu mekanizmaları kullanmaktan kaçındıkları hipotezi yaygın olarak kabul görmektedir. Ancak RNA genoma sahip virüsler ve retrovirüsler subgenomik RNA molekülleri üreterek bu olguya istisnai durumlar ortaya koymaktadır. En bilinen örneklerden birisi olan Bovine Leukemia Virus (BLV), tRNA benzeri promotörler aracılığı ile küçük RNA'lar kodlar ve bu RNA'lardan miRNA'lar üreterek tümör oluşumunda rol alan mRNA'ları hedefler[64]. İnsan bağışıklık yetmezliği virüsü (Human Immunodeficiency Virus, HIV) miRNA benzeri saç tokası yapısını andıran Transaktivasyon Yanıt (Trans-Activation Response, TAR) dizileri bulundurmaktadır. TAR dizisini içeren RNA molekülleri doğal bağışıklık sensörü Protein Kinaz R (PKR) yolağını inhibe ederek virüsün çoğalmasına katkı sağlar[65]. Pozitif anlamlı tek zincirli RNA virüslerinden flavivirüsler genomlarının 3' uçlarında yüksek derecede ikincil katlanmalar gösteren bir UTR kısmı içerirler. Bu 3' UTR'ler ekzonükleaz aktivitesine dirençli olduğundan XNR1 degradasyonundan etkilenmezler. Böylelikle hücrede yüksek miktarda, yaklaşık 300-500 nükleotid uzunluğunda subgenomik flavivirüs RNA'sı (sfRNA) birikir. Bu küçük parçalanmayan sfRNA'lar hücrede RNAi yollarını doyurur, doğal bağışıklık sensörlerinden interferon üretimini tetikleyen RIG-I (Retinoic acid Inducible Gene I) aktivasyonunu bloke eder[66] ve flavivirus enfeksiyonu ve patogenezi için önemlidir[67].

III. KODLAMAYAN RNA'LARIN KEŞFİNDE VE FONKSİYONUNUN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Viral genomlarda bulunan kodlamayan RNA'ları keşfetmek için Illumina temelli RNA dizileme yöntemleri sınırlı seviyede kalmaktadır. Illumina yaklaşık 150-300 baz aralığında bulunan kütüphaneleri yüksek doğrulukta dizileme yapabilir[68]. Anlatımı yapılan DNA'nın hangi zincirinden RNA üretildiğini bilmek ve 'splice' noktaları net biçimde bulmak için alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmakta ve geliştirilmektedir. Dolayısı ile, karmaşık transkriptomları çözümlenmek için son yıllarda Pac Bio SMRT (Single Molecule Real Time) ve Oxford Nanopore gibi uzun molekülleri dizileme (Long Read Sequencing; LRS) teknikleri kullanılmaktadır[69]. O'Grady ve ark. geliştirdiği TRIMD (Transcriptome Resolution through Integration of Multi-platform Data) adı verilen biyoinformatik panelde, (i)Illumina, (ii)PacBio SMRT dizileme ve (iii)5' deepCAGE dizilime yöntemleri kullanılarak sırasıyla (i)genel RNA miktarı ve ekzon-intron birleşim noktaları, (ii) karmaşık uzun izoformlar ve

(iii)transkripsiyon başlangıç noktaları belirlenmiştir. Daha sonra bu çoklu veri kümeleri TRIMD ile birleştirilerek transkriptler tanımlanmıştır. EBV, MHV68, KSHV ve HSV-1 genomlarında yeni keşfedilen alternatif mRNA formlarının ve uzun kodlamayan RNAların analizi yapılmıştır[70]–[72]. Uzun molekülleri dizileme (LRS) analizleriyle herpesvirüs, retrovirüs, baculovirüs ve poxvirüs gibi ailelere ait başka virüslerin de transkriptomik analizleri yapılmıştır[69], [73], [74]. Bu analizlerin sonucunda ortaya çıkan temel bulgular, antisense transkripsiyonun, çok genli transkriptlerin, ‘read through’ adı verilen bilinen polyA sinyal dizilerinin üstünden geçen transkriptlerin ve üst üste binen (overlap) transkripsiyonun oldukça yaygın olarak virüsler tarafından kullanıldığını göstermektedir.

Gen anlatımının kantitatif olarak ölçümünün yapıldığı qRT-PCR analizlerine dayalı viral ncRNA çalışmaları, transkripsiyonel açıdan oldukça karmaşık olan bu virüsleri anlamada yeterli olmayacaktır. Dolayısı ile Northern blot yöntemini kullanarak üzerinde çalışılan RNA izoformuna yönelik mutasyon, siRNA dizaynı ya da dizi spesifik qRT-PCR primer dizaynı yapmak daha anlamlı sonuçlar almak açısından önemlidir[75]. Özellikle kompakt genomlu virüslerdeki lncRNA spesifik fonksiyon çalışmaları için ise yalnızca siRNA ve shRNA temelli ‘knockdown’ yöntemlerine dayalı kalmak yerine poliadenilasyon sinyal dizilerini kullanarak kısaltılmış transkriptler ya da promotör mutasyonları oluşturarak elde edilen verileri desteklemek gerekmektedir. Burada göz önüne alınması gereken noktalardan bir tanesi ncRNA fonksiyonlarının büyük çoğunluğunun nükleus içerisinde gerçekleştiği düşünülürse, sitoplazmik RNAi temelli siRNA ya da shRNA yöntemleri transkript seviyesini düşürmede yetersiz ya da etkisiz kalabilir. CRISPR temelli ‘knockout’ modelleri ya da hücrede doğal olarak var olan RNaz H yardımıyla, nükleotidleri modifiye edilmiş antisense oligonükleotidler (ASO) kullanarak lncRNA seviyeleri deneysel olarak azaltmak daha verimli bir yöntem sunabilir.

Fonksiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de RNA dizisine komplementer biotinlenmiş oligonükleotid probolar kullanılarak gerçekleştirilen biyokimyasal analizlerdir[76], [77]. ‘RNA Antisense Purification’ (RAP), ‘Chromatin Isolation by RNA Purification’ (Chirp), ‘Capture hybridization analysis of RNA Targets’ (CHART) gibi teknikler temel olarak RNA’ya bağlanan faktörleri, RNA spesifik probolar aracılığıyla saflaştırmaya dayalıdır. Fikse edilmiş hücrelerden izole edilen RNA’nın etkileşimde olduğu proteinler ve DNA segmentleri ayrıştırılır, proteinler için kütle spektrometresi, DNA için dizileme yöntemleri ile RNA’nın bağlandığı faktörler belirlenebilir. Bu tür analizler yapılırken dikkat edilmesi gereken önemli bir husus RNA’nın açıkta olan kısımlarının bulunmasıdır. Eğer üzerinde çalışılan RNA molekülü yüksek miktarda protein ile kapatılmış durumda ise çeşitli RNaz enzimleri kullanılarak prob dizayn edilmesi gereken bölgeler bulunmak zorundadır[78]. ncRNA biyolojisinde cevaplanması gereken sorular bahsedilen tekniklerin kombinasyonları kullanılarak araştırılmaya çalışılmaktadır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kodlamayan RNA’lar memelilerde ve bu hücreleri enfekte edebilen virüslerde yaygın olarak gözlenmektedir. Bu derlemede bahsi geçen büyük çoğunluğunu herpesvirüslerin kodladığı viral kodlamayan RNA örnekleri büyüklükleri ve üretildikleri transkripsiyon mekanizmaları açısından değerlendirilmiştir. RNA moleküllerinin dizi spesifik etkileşimlerle DNA’ya bağlanabilme ve oluşturdukları ikincil ve üçüncül yapı aracılığıyla proteinlerle etkileşme özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle hem konak hem de virüs tarafından çeşitli yollarda RNA’ları düzenleyici faktörler olarak görmekteyiz. Genel olarak, viral kodlamayan RNA’lar viral latent enfeksiyonun devamlılığının sağlanması, apoptozun baskılanması, tümör gelişiminin tetiklenmesi, immün sistemden kaçış gibi virüse avantaj sağlayacak yollarda rol oynamaktadır. Çeşitli virüsler farklı dizilerde kodlamayan RNA’lar üreterek benzer hücresel mekanizmaları etkilemektedir.

Son yıllarda kullanılan ‘derin’ dizileme teknikleri RNA üretiminin ne kadar yaygın olduğunu göstermiştir. Ribozom profillemeye deneylerinde translasyona uğramadıkları gösterilmiş olan ya da biyoinformatik analizlerde anlamlı bir okuma çerçevesi (ORF) bulundurmayan RNA’ların hücredeki hangi mekanizmaları etkiledikleri henüz detaylı olarak bilinmemektedir. Virüslerin ürettiği

ncRNA'ların karakterizasyonunun yapılması ve fonksiyonlarının belirlenmesi bize yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesinde çeşitli fikirler ve öneriler sunabilir. Örneğin EBV kökenli EBER'ler ekzozomlarda bulduklarından viral kaynaklı tümörlerde serumdan taranabilirler ve bu kanserlerde biyosensör olarak kullanılabilirler. HSV-1 kökenli LAT transkripti latent nöron hücrelerinde virüsün ürettiği tek üründür. Antisense oligonükleotid ya da CRISPR gibi yöntemlerle LAT anlatımı engellendiğinde, virüsün reaktivasyonuna ve HSV-1 kaynaklı hastalıklara çözüm aranabilir. Bir diğer yandan viral ncRNA'lar gösterdikleri etkiler dolayısı ile başka hastalıkların tedavisinde kullanılabilir mi sorusu da önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Virüsler immün sistemi baskılama ya da immün sistemden kaçma özellikleri açısından oldukça başarılı stratejiler geliştirmişlerdir. Bu özellikleri barındıran viral ncRNA'ların potansiyelleri değerlendirilmelidir. Örneğin AdV kökenli VA RNA'larının ve EBV kökenli EBER RNA'larının PKR sensörü aracılığıyla immün sistemi inhibe edici etkisi bulunmaktadır. Bu tür viral ncRNA'lar otoimmün hastalıklar gibi durumların tedavisinde kullanılabilir. Bu yaklaşımların gerçeklik kazanabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Hem virüs hem konak açısından, lncRNA ya da üretilen RNA'lar kapsamında her zaman göz önünde tutulması gereken konulardan bir tanesi etki mekanizmasının ürün mü yoksa süreç mi kaynaklı olduğudur. Genomda çok yaygın olarak görülmesi ve bazı durumlarda düşük kopya sayılarına sahip olmaları gibi sebeplerden dolayı, oluşan RNA ürünlerinin fonksiyonel olmadığı durumlarda mevcuttur. Bu tür durumlarda lncRNA'lar antisense oligonükleotidler aracılığıyla yok edildiğinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmemekte ancak lncRNA'nın promotörü mutasyonlarına uğratıldığında etki gözlenmektedir. lncRNA'nın kendisi değil fakat aktif biçimde transkripsiyona uğraması, yakınında bulunan genlere RNA pol II'nin getirilmesi, kromozomda ilmek yapıları oluşturarak transkripsiyon artırıcı 'enhancer' bölgelerinin yakınlaştırılması ve epigenetik modülatör enzimlerin bölgeye getirilmesi gibi süreçler için önemli olabilir. Örneğin insülin benzeri büyüme faktörü 2 reseptörü (Igf2r) geninin 'imprint' edilmesi Airn lncRNA'sının transkripsiyonuna bağlıdır. Airn lncRNA'sının promotörü mutasyona uğratıldığında 'imprinting' inhibe edilmiş fakat Airn geninin aşağı bir bölgesinde poliadenilasyon sinyali konulduğunda ve kısaltılmış bir transkript ürettirildiğinde normal 'imprinting' gözlemlenmiştir[79]. Dolayısı ile lncRNA'nın kendisi değil aktif olarak transkribe edilmesi bir etki mekanizması oluşturmaktadır. Bu olgu viral kodlamayan RNAların fonksiyonları incelenirken dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biridir.

Virus patogenezi ve biyolojisi çalışmalarında mutasyonlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüze kadar çok çeşitli virüs ailelerinde viral genlerin fonksiyonlarını anlamak için insersiyon ve delesyon mutasyonları oluşturulmuş ve bu mutant virüslerin fenotipik değişikliklerini açıklarken genellikle proteinlerin görevli olduğu düşüncesi ile hareket edilmiştir. Viral transkriptomların karmaşıklığını göz önünde bulunduracak olursak, viral proteinlere atfedilen fenotipik özelliklerin belki de bir kısmının ncRNA fonksiyonu kaynaklı olduğu ihtimali değerlendirilmelidir. Viral genomların genler açısından yoğunluğu da düşünüldüğünde, mutant virüs oluşturmada lokusların ncRNA üretme potansiyeli incelenmelidir. Lokustan üretilen proteinin mi yoksa ncRNA'nın mı etki gösterdiğini açıkça ortaya koyabilecek olan mutasyonlar ve deneyler tasarlanmalıdır.

lncRNA'ların dizi noktasında düşük miktarda homoloji göstermeleri, çeşitli virüslerde çok çeşitli dizilere sahip ncRNA'ların (Tablo 1) fonksiyonları açısından ortak paydaların bulunması adına zor bir problem teşkil etmektedir. Bu hususta viral kodlamayan RNA fonksiyon çalışmalarında samanlıktan iğne aramaktan çok ileri olmasak da yapılan araştırmalarda ortaya koyulan bulgular ümit vericidir.

Tablo 1. Başlıca viral kodlamayan RNA'lar.

Virüs	RNA	Uzunluk (baz)	RNA polimeraz	Etkisi	Kaynak
Adenovirüs	VA RNA I ve II	~160	pol III	PKR ve RIG-I inhibisyonu	[11], [25]
HSV-1	LAT	~2000	pol II	HSV-1 gen anlatımının baskılanması, reaktivasyon, apoptozun baskılanması, miRNA biyogenezi	[48], [49]
MDV	vTR	~400	pol II	Lenfomanın tetiklenmesi, telomer uzaması	[56]
hCMV	RNA 2.7, 1.2, 4.9, 5.0	~1200- 5000	pol II	Apoptoz baskılanması, NF-kB yolağını bloke etme	[44], [46]
mCMV	7.2 kb sis RNA	~7200	pol II	Litik fazdan latent faza geçiş	[80]
EBV	EBER I ve II	167-172	pol III	Apoptozun baskılanması, doğal immün sensörlerin inhibisyonu, viral gen anlatımının düzenlenmesi	[30], [32]
HSV	HSUR1-7	75-144	pol II	miRNA'lara bağlanarak translasyonun regülasyonu	[19]
KSHV	PAN	1060	pol II	Geç litik viral gen anlatımı ve virionların salınımı	[52]
MHV68	TMER1-8	140-220	pol III	Viral yayılımın sağlanması, latent fazın devamlılığı	[39], [40]
MHV68	M3-04	~4000	pol II	Viral miRNAlara bağlanma, latent genlerin anlatımının düzenlenmesi	[63]
HIV	TAR	Değişken	pol II	PKR inaktivasyonu, miRNA oluşumu?	[65]
Flavivirüs (WNV, Dengue)	sfRNA	300-500	viral polimeraz	İnterferonun baskılanması, RNA bozulma yollarının baskılanması	[81]

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Derrien, R. Johnson, G. Bussotti, A. Tanzer, S. Djebali, H. Tilgner, G. Guernec, D. Martin, A. Merkel, D. G. Knowles, J. Lagarde, L. Veeravalli, X. Ruan, Y. Ruan, T. Lassmann, P. Carninci, J. B. Brown, L. Lipovich, J. M. Gonzalez, M. Thomas, C. A. Davis, R. Shiekhattar, T. R. Gingeras, T. J. Hubbard, C. Notredame, J. Harrow, and R. Guigó, "The GENCODE v7 catalog of human long noncoding RNAs: Analysis of their gene structure, evolution, and expression," *Genome Res*, vol. 22, no. 9, pp. 1775–1789, Sep. 2012.
- [2] S. Djebali, C. A. Davis, A. Merkel, A. Dobin, T. Lassmann, A. Mortazavi, A. Tanzer, J. Lagarde, W. Lin, F. Schlesinger, C. Xue, G. K. Marinov, J. Khatun, B. A. Williams, C. Zaleski, J. Rozowsky, M. Röder, F. Kokocinski, R. F. Abdelhamid, T. Alioto, I. Antoshechkin, M. T. Baer, N. S. Bar, P. Batut, K. Bell, I. Bell, S. Chakraborty, X. Chen, J. Chrast, J. Curado, T. Derrien, J. Drenkow, E. Dumais, J. Dumais, R. Duttgupta, E. Falconnet, M. Fastuca, K. Fejes-Toth, P. Ferreira, S. Foissac, M. J. Fullwood, H. Gao, D. Gonzalez, A. Gordon, H. Gunawardena, C. Howald, S. Jha, R. Johnson, P. Kapranov, B. King, C. Kingswood, O. J. Luo, E. Park, K. Persaud, J. B. Preall, P. Ribeca, B. Risk, D. Robyr, M. Sammeth, L. Schaffer, L.-H. See, A. Shahab, J. Skancke, A. M. Suzuki, H. Takahashi, H. Tilgner, D. Trout, N. Walters, H. Wang, J. Wrobel, Y. Yu, X. Ruan, Y. Hayashizaki, J. Harrow, M. Gerstein, T. Hubbard, A. Reymond, S. E. Antonarakis, G. Hannon, M. C. Giddings, Y. Ruan, B. Wold, P. Carninci, R. Guigó, and T. R. Gingeras, "Landscape of transcription in human cells," *Nature*, vol. 489, no. 7414, pp. 101–108, Sep. 2012.

- [3] A. M. Khalil, M. Guttman, M. Huarte, M. Garber, A. Raj, D. R. Morales, K. Thomas, A. Presser, B. E. Bernstein, A. van Oudenaarden, A. Regev, E. S. Lander, and J. L. Rinn, “Many human large intergenic noncoding RNAs associate with chromatin-modifying complexes and affect gene expression,” *PNAS*, vol. 106, no. 28, pp. 11667–11672, Jul. 2009.
- [4] J. M. Engreitz, J. E. Haines, E. M. Perez, G. Munson, J. Chen, M. Kane, P. E. McDonel, M. Guttman, and E. S. Lander, “Local regulation of gene expression by lncRNA promoters, transcription and splicing,” *Nature*, vol. 539, no. 7629, pp. 452–455, Nov. 2016.
- [5] K. T. Tycowski, Y. E. Guo, N. Lee, W. N. Moss, T. K. Vallery, M. Xie, and J. A. Steitz, “Viral noncoding RNAs: more surprises,” *Genes Dev.*, vol. 29, no. 6, pp. 567–584, Mar. 2015.
- [6] C. Arias, B. Weisburd, N. Stern-Ginossar, A. Mercier, A. S. Madrid, P. Bellare, M. Holdorf, J. S. Weissman, and D. Ganem, “KSHV 2.0: A Comprehensive Annotation of the Kaposi’s Sarcoma-Associated Herpesvirus Genome Using Next-Generation Sequencing Reveals Novel Genomic and Functional Features,” *PLOS Pathog*, vol. 10, no. 1, p. e1003847, Jan. 2014.
- [7] B. Y. H. Cheng, J. Zhi, A. Santana, S. Khan, E. Salinas, J. C. Forrest, Y. Zheng, S. Jaggi, J. Leatherwood, and L. T. Krug, “Tiled microarray identification of novel viral transcript structures and distinct transcriptional profiles during two modes of productive murine gammaherpesvirus 68 infection,” *J. Virol.*, vol. 86, no. 8, pp. 4340–4357, Apr. 2012.
- [8] T. Tagawa, A. Serquiña, I. Kook, and J. Ziegelbauer, “Viral Non-coding RNAs: Stealth Strategies in the Tug-of-war between Humans and Herpesviruses,” *Semin Cell Dev Biol*, vol. 111, pp. 135–147, Mar. 2021.
- [9] A. A. Nash, B. M. Dutia, J. P. Stewart, and A. J. Davison, “Natural history of murine gamma-herpesvirus infection.,” *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, vol. 356, no. 1408, pp. 569–579, Apr. 2001.
- [10] J. P. Simas and S. Efstathiou, “Murine gammaherpesvirus 68: a model for the study of gammaherpesvirus pathogenesis,” *Trends in Microbiology*, vol. 6, no. 7, pp. 276–282, Jul. 1998.
- [11] T. Minamitani, D. Iwakiri, and K. Takada, “Adenovirus virus-associated RNAs induce type I interferon expression through a RIG-I-mediated pathway,” *Journal of Virology*, vol. 85, no. 8, pp. 4035–4040, Apr. 2011.
- [12] J. G. Howe and M. D. Shu, “Epstein-Barr virus small RNA (EBER) genes: unique transcription units that combine RNA polymerase II and III promoter elements,” *Cell*, vol. 57, no. 5, pp. 825–834, Jun. 1989.
- [13] K. W. Diebel, A. L. Smith, and L. F. van Dyk, “Mature and functional viral miRNAs transcribed from novel RNA polymerase III promoters,” *RNA*, vol. 16, no. 1, pp. 170–185, Jan. 2010.
- [14] I. W. Boss and R. Renne, “Viral miRNAs: tools for immune evasion,” *Curr Opin Microbiol*, vol. 13, no. 4, pp. 540–545, Aug. 2010.
- [15] I. Jurak, A. Griffiths, and D. M. Coen, “Mammalian Alphaherpesvirus miRNAs,” *Biochim Biophys Acta*, vol. 1809, no. 11–12, pp. 641–653, 2011.
- [16] R. Mishra, A. Kumar, H. Ingle, and H. Kumar, “The Interplay Between Viral-Derived miRNAs and Host Immunity During Infection,” *Front Immunol*, vol. 10, p. 3079, Jan. 2020.

- [17] B. R. Cullen, "Viruses and microRNAs: RISCy interactions with serious consequences," *Genes Dev.*, vol. 25, no. 18, pp. 1881–1894, Sep. 2011.
- [18] R. P. Kincaid and C. S. Sullivan, "Virus-Encoded microRNAs: An Overview and a Look to the Future," *PLOS Pathog*, vol. 8, no. 12, p. e1003018, Dec. 2012.
- [19] H. L. Cook, H. E. Mischo, and J. A. Steitz, "The Herpesvirus saimiri Small Nuclear RNAs Recruit AU-Rich Element-Binding Proteins but Do Not Alter Host AU-Rich Element-Containing mRNA Levels in Virally Transformed T Cells," *Mol. Cell. Biol.*, vol. 24, no. 10, pp. 4522–4533, May 2004.
- [20] S. I. Lee and J. A. Steitz, "Herpesvirus saimiri U RNAs are expressed and assembled into ribonucleoprotein particles in the absence of other viral genes.," *J Virol*, vol. 64, no. 8, pp. 3905–3915, Aug. 1990.
- [21] G. Chavez-Calvillo, S. Martin, C. Hamm, and J. Sztuba-Solinska, "The Structure-To-Function Relationships of Gammaherpesvirus-Encoded Long Non-Coding RNAs and Their Contributions to Viral Pathogenesis," *Non-Coding RNA*, vol. 4, no. 4, p. 24, Dec. 2018.
- [22] H. Täuber, S. Hüttelmaier, and M. Köhn, "POLIII-derived non-coding RNAs acting as scaffolds and decoys," *Journal of Molecular Cell Biology*, vol. 11, no. 10, pp. 880–885, Oct. 2019.
- [23] R. J. White, "Transcription by RNA polymerase III: more complex than we thought," *Nat Rev Genet*, vol. 12, no. 7, pp. 459–463, Jul. 2011.
- [24] V. K. Vachon and G. L. Conn, "Adenovirus VA RNA: An essential pro-viral non-coding RNA," *Virus Res*, vol. 212, pp. 39–52, Jan. 2016.
- [25] G. D. Ghadge, S. Swaminathan, M. G. Katze, and B. Thimmapaya, "Binding of the adenovirus VAI RNA to the interferon-induced 68-kDa protein kinase correlates with function.," *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 88, no. 16, pp. 7140–7144, Aug. 1991.
- [26] N. Xu, B. Segerman, X. Zhou, and G. Akusjärvi, "Adenovirus virus-associated RNAII-derived small RNAs are efficiently incorporated into the rna-induced silencing complex and associate with polyribosomes," *J Virol*, vol. 81, no. 19, pp. 10540–10549, Oct. 2007.
- [27] E. Carnero, J. D. Sutherland, and P. Fortes, "Adenovirus and miRNAs," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Regulatory Mechanisms*, vol. 1809, no. 11–12, pp. 660–667, Nov. 2011.
- [28] J. R. Arrand and L. Rymo, "Characterization of the major Epstein-Barr virus-specific RNA in Burkitt lymphoma-derived cells.," *J Virol*, vol. 41, no. 2, pp. 376–389, Feb. 1982.
- [29] W. Ahmed, S. Tariq, and G. Khan, "Tracking EBV-encoded RNAs (EBERs) from the nucleus to the excreted exosomes of B-lymphocytes," *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, p. 15438, Oct. 2018.
- [30] T. V. Sharp, M. Schwemmle, I. Jeffrey, K. Laing, H. Mellor, C. G. Proud, K. Hilse, and M. J. Clemens, "Comparative analysis of the regulation of the interferon-inducible protein kinase PKR by Epstein-Barr virus RNAs EBER-1 and EBER-2 and adenovirus VAI RNA," *Nucleic Acids Res*, vol. 21, no. 19, pp. 4483–4490, Sep. 1993.
- [31] M. Samanta, D. Iwakiri, T. Kanda, T. Imaizumi, and K. Takada, "EB virus-encoded RNAs are recognized by RIG-I and activate signaling to induce type I IFN," *EMBO J*, vol. 25, no. 18, pp. 4207–4214, Sep. 2006.

- [32] N. Lee, W. N. Moss, T. A. Yario, and J. A. Steitz, “EBV Noncoding RNA Binds Nascent RNA to Drive Host PAX5 to Viral DNA,” *Cell*, vol. 160, no. 4, pp. 607–618, Feb. 2015.
- [33] E. J. Usherwood, J. P. Stewart, and A. A. Nash, “Characterization of tumor cell lines derived from murine gammaherpesvirus-68-infected mice.,” *J Virol*, vol. 70, no. 9, pp. 6516–6518, Sep. 1996.
- [34] H. W. Virgin, P. Latreille, P. Wamsley, K. Hallsworth, K. E. Weck, A. J. D. Canto, and S. H. Speck, “Complete sequence and genomic analysis of murine gammaherpesvirus 68.,” *J. Virol.*, vol. 71, no. 8, pp. 5894–5904, Aug. 1997.
- [35] J. Y. Zhu, M. Strehle, A. Frohn, E. Kremmer, K. P. Höfig, G. Meister, and H. Adler, “Identification and Analysis of Expression of Novel MicroRNAs of Murine Gammaherpesvirus 68,” *J. Virol.*, vol. 84, no. 19, pp. 10266–10275, Oct. 2010.
- [36] T. A. Reese, J. Xia, L. S. Johnson, X. Zhou, W. Zhang, and H. W. Virgin, “Identification of Novel MicroRNA-Like Molecules Generated from Herpesvirus and Host tRNA Transcripts,” *J. Virol.*, vol. 84, no. 19, pp. 10344–10353, Oct. 2010.
- [37] D. P. Bartel, “MicroRNAs: target recognition and regulatory functions,” *Cell*, vol. 136, no. 2, pp. 215–233, Jan. 2009.
- [38] H. P. Bogerd, H. W. Karnowski, X. Cai, J. Shin, M. Pohlers, and B. R. Cullen, “A mammalian herpesvirus uses non-canonical expression and processing mechanisms to generate viral microRNAs,” *Mol Cell*, vol. 37, no. 1, p. 135, Jan. 2010.
- [39] E. R. Feldman, M. Kara, L. M. Oko, K. R. Grau, B. J. Krueger, J. Zhang, P. Feng, L. F. van Dyk, R. Renne, and S. A. Tibbetts, “A Gammaherpesvirus Noncoding RNA Is Essential for Hematogenous Dissemination and Establishment of Peripheral Latency,” *mSphere*, vol. 1, no. 2, Apr. 2016.
- [40] B. A. Hoffman, Y. Wang, E. R. Feldman, and S. A. Tibbetts, “Epstein-Barr virus EBER1 and murine gammaherpesvirus TMER4 share conserved in vivo function to promote B cell egress and dissemination,” *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 116, no. 51, pp. 25392–25394, Dec. 2019.
- [41] M. Ve, L. Si, and S. Ja, “Viral small nuclear ribonucleoproteins bind a protein implicated in messenger RNA destabilization,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 89, no. 4, Feb. 1992.
- [42] D. Cazalla, M. Xie, and J. A. Steitz, “A Primate Herpesvirus Uses the Integrator Complex to Generate Viral MicroRNAs,” *Mol Cell*, vol. 43, no. 6, pp. 982–992, Sep. 2011.
- [43] D. Cazalla, “Learning noncoding RNA biology from viruses,” *Mamm Genome*, vol. 33, no. 2, pp. 412–420, Jun. 2022.
- [44] D. Gatherer, S. Seirafian, C. Cunningham, M. Holton, D. J. Dargan, K. Baluchova, R. D. Hector, J. Galbraith, P. Herzyk, G. W. G. Wilkinson, and A. J. Davison, “High-resolution human cytomegalovirus transcriptome,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 108, no. 49, pp. 19755–19760, Dec. 2011.
- [45] M. B. Reeves, A. A. Davies, B. P. McSharry, G. W. Wilkinson, and J. H. Sinclair, “Complex I Binding by a Virally Encoded RNA Regulates Mitochondria-Induced Cell Death,” *Science*, vol. 316, no. 5829, pp. 1345–1348, Jun. 2007.

- [46] B. Lau, K. Kerr, Q. Gu, K. Nightingale, R. Antrobus, N. M. Suárez, R. J. Stanton, E. C. Y. Wang, M. P. Weekes, and A. J. Davison, “Human Cytomegalovirus Long Non-coding RNA1.2 Suppresses Extracellular Release of the Pro-inflammatory Cytokine IL-6 by Blocking NF- κ B Activation,” *Front Cell Infect Microbiol*, vol. 10, p. 361, Jul. 2020.
- [47] T. T. Wu, Y. H. Su, T. M. Block, and J. M. Taylor, “Evidence that two latency-associated transcripts of herpes simplex virus type 1 are nonlinear,” *J Virol*, vol. 70, no. 9, pp. 5962–5967, Sep. 1996.
- [48] G.-C. Perng, C. Jones, J. Ciacci-Zanella, M. Stone, G. Henderson, A. Yukht, S. M. Slanina, F. M. Hofman, H. Ghiasi, A. B. Nesburn, and S. L. Wechsler, “Virus-Induced Neuronal Apoptosis Blocked by the Herpes Simplex Virus Latency-Associated Transcript,” *Science*, vol. 287, no. 5457, pp. 1500–1503, Feb. 2000.
- [49] J. L. Umbach, M. F. Kramer, I. Jurak, H. W. Karnowski, D. M. Coen, and B. R. Cullen, “MicroRNAs expressed by herpes simplex virus 1 during latent infection regulate viral mRNAs,” *Nature*, vol. 454, no. 7205, pp. 780–783, Aug. 2008.
- [50] K. Tormanen, S. Wang, H. H. Matundan, J. Yu, U. Jaggi, and H. Ghiasi, “Herpes Simplex Virus 1 Small Noncoding RNAs 1 and 2 Activate the Herpesvirus Entry Mediator Promoter,” *J Virol*, vol. 96, no. 3, pp. e01985-21.
- [51] W. Zhong and D. Ganem, “Characterization of ribonucleoprotein complexes containing an abundant polyadenylated nuclear RNA encoded by Kaposi’s sarcoma-associated herpesvirus (human herpesvirus 8),” *Journal of Virology*, vol. 71, no. 2, pp. 1207–1212, Feb. 1997.
- [52] M. Campbell and Y. Izumiya, “PAN RNA: transcriptional exhaust from a viral engine,” *Journal of Biomedical Science*, vol. 27, no. 1, p. 41, Mar. 2020.
- [53] C. C. Rossetto and G. S. Pari, “Kaposi’s Sarcoma-Associated Herpesvirus Noncoding Polyadenylated Nuclear RNA Interacts with Virus- and Host Cell-Encoded Proteins and Suppresses Expression of Genes Involved in Immune Modulation ∇ ,” *J Virol*, vol. 85, no. 24, pp. 13290–13297, Dec. 2011.
- [54] M. Campbell, K. Y. Kim, P.-C. Chang, S. Huerta, B. Shevchenko, D.-H. Wang, C. Izumiya, H.-J. Kung, and Y. Izumiya, “A lytic viral long noncoding RNA modulates the function of a latent protein,” *J Virol*, vol. 88, no. 3, pp. 1843–1848, Feb. 2014.
- [55] J. M. Schifano, K. Corcoran, H. Kelkar, and D. P. Dittmer, “Expression of the Antisense-to-Latency Transcript Long Noncoding RNA in Kaposi’s Sarcoma-Associated Herpesvirus,” *Journal of Virology*, vol. 91, no. 4, pp. e01698-16, Feb. 2017.
- [56] N. Chbab, A. Egerer, I. Veiga, K. W. Jarosinski, and N. Osterrieder, “Viral control of vTR expression is critical for efficient formation and dissemination of lymphoma induced by Marek’s disease virus (MDV),” *Vet Res*, vol. 41, no. 5, p. 56, Oct. 2010.
- [57] M. M. Hitt, M. J. Allday, T. Hara, L. Karran, M. D. Jones, P. Busson, T. Tursz, I. Ernberg, and B. E. Griffin, “EBV gene expression in an NPC-related tumour,” *EMBO J*, vol. 8, no. 9, pp. 2639–2651, Sep. 1989.
- [58] N. Raab-Traub, R. Hood, C. S. Yang, B. Henry, and J. S. Pagano, “Epstein-Barr virus transcription in nasopharyngeal carcinoma,” *J Virol*, vol. 48, no. 3, pp. 580–590, Dec. 1983.

- [59] R. H. Edwards, A. R. Marquitz, and N. Raab-Traub, “Epstein-Barr Virus BART MicroRNAs Are Produced from a Large Intron prior to Splicing,” *J Virol*, vol. 82, no. 18, pp. 9094–9106, Sep. 2008.
- [60] S. Pfeffer, M. Zavolan, F. A. Grässer, M. Chien, J. J. Russo, J. Ju, B. John, A. J. Enright, D. Marks, C. Sander, and T. Tuschl, “Identification of Virus-Encoded MicroRNAs,” *Science*, vol. 304, no. 5671, pp. 734–736, Apr. 2004.
- [61] A. R. Marquitz, A. Mathur, R. H. Edwards, and N. Raab-Traub, “Host Gene Expression Is Regulated by Two Types of Noncoding RNAs Transcribed from the Epstein-Barr Virus BamHI A Rightward Transcript Region,” *J Virol*, vol. 89, no. 22, pp. 11256–11268, Nov. 2015.
- [62] D. H. Dreyfus, “Genetics and Molecular Biology of Epstein-Barr Virus-Encoded BART MicroRNA: A Paradigm for Viral Modulation of Host Immune Response Genes and Genome Stability,” *J Immunol Res*, vol. 2017, p. 4758539, 2017.
- [63] M. Kara, T. O’Grady, E. R. Feldman, A. Feswick, Y. Wang, E. K. Flemington, and S. A. Tibbetts, “Gammaherpesvirus Readthrough Transcription Generates a Long Non-Coding RNA That Is Regulated by Antisense miRNAs and Correlates with Enhanced Lytic Replication In Vivo,” *Non-Coding RNA*, vol. 5, no. 1, p. 6, Mar. 2019.
- [64] R. P. Kincaid, J. M. Burke, and C. S. Sullivan, “RNA virus microRNA that mimics a B-cell oncomiR,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 109, no. 8, pp. 3077–3082, Feb. 2012.
- [65] V. R. Sanghvi and L. F. Steel, “The Cellular TAR RNA Binding Protein, TRBP, Promotes HIV-1 Replication Primarily by Inhibiting the Activation of Double-Stranded RNA-Dependent Kinase PKR ν ,” *J Virol*, vol. 85, no. 23, pp. 12614–12621, Dec. 2011.
- [66] G. Manokaran, E. Finol, C. Wang, J. Gunaratne, J. Bahl, E. Z. Ong, H. C. Tan, O. M. Sessions, A. M. Ward, D. J. Gubler, E. Harris, M. A. Garcia-Blanco, and E. E. Ooi, “Dengue subgenomic RNA binds TRIM25 to inhibit interferon expression for epidemiological fitness,” *Science*, vol. 350, no. 6257, pp. 217–221, Oct. 2015.
- [67] A. Slonchak and A. A. Khromykh, “Subgenomic flaviviral RNAs: What do we know after the first decade of research,” *Antiviral Res*, vol. 159, pp. 13–25, Nov. 2018.
- [68] B. E. Slatko, A. F. Gardner, and F. M. Ausubel, “Overview of Next Generation Sequencing Technologies,” *Curr Protoc Mol Biol*, vol. 122, no. 1, p. e59, Apr. 2018.
- [69] Z. Boldogkői, N. Moldován, Z. Balázs, M. Snyder, and D. Tombácz, “Long-Read Sequencing – A Powerful Tool in Viral Transcriptome Research,” *Trends in Microbiology*, vol. 27, no. 7, pp. 578–592, Jul. 2019.
- [70] T. O’Grady, S. Cao, M. J. Strong, M. Concha, X. Wang, S. S. BonDurant, M. Adams, M. Baddoo, S. K. Srivastav, Z. Lin, C. Fewell, Q. Yin, and E. K. Flemington, “Global Bidirectional Transcription of the Epstein-Barr Virus Genome during Reactivation,” *J. Virol.*, vol. 88, no. 3, pp. 1604–1616, Feb. 2014.
- [71] T. O’Grady, X. Wang, K. Höner Zu Bentrup, M. Baddoo, M. Concha, and E. K. Flemington, “Global transcript structure resolution of high gene density genomes through multi-platform data integration,” *Nucleic Acids Res.*, Jul. 2016.
- [72] T. O’Grady, A. Feswick, B. A. Hoffman, Y. Wang, E. M. Medina, M. Kara, L. F. van Dyk, E. K. Flemington, and S. A. Tibbetts, “Genome-wide Transcript Structure Resolution Reveals

Abundant Alternate Isoform Usage from Murine Gammaherpesvirus 68,” *Cell Rep*, vol. 27, no. 13, pp. 3988-4002.e5, Jun. 2019.




- [73] D. Tombácz, Z. Csabai, A. Szűcs, Z. Balázs, N. Moldován, D. Sharon, M. Snyder, and Z. Boldogkői, “Long-Read Isoform Sequencing Reveals a Hidden Complexity of the Transcriptional Landscape of Herpes Simplex Virus Type 1,” *Front Microbiol*, vol. 8, p. 1079, 2017.
- [74] D. Tombácz, Z. Balázs, Z. Csabai, M. Snyder, and Z. Boldogkői, “Long-Read Sequencing Revealed an Extensive Transcript Complexity in Herpesviruses,” *Frontiers in Genetics*, vol. 9, 2018.
- [75] M. Kara and S. A. Tibbetts, “Empirical Validation of Overlapping Virus lncRNAs and Coding Transcripts by Northern Blot,” in *Long Non-Coding RNAs in Cancer*, A. Navarro, Ed. New York, NY: Springer US, 2021, pp. 243–253.
- [76] C. Chu, J. Quinn, and H. Y. Chang, “Chromatin isolation by RNA purification (ChIRP),” *J Vis Exp*, no. 61, 2012.
- [77] J. Engreitz, E. S. Lander, and M. Guttman, “RNA antisense purification (RAP) for mapping RNA interactions with chromatin,” *Methods Mol Biol*, vol. 1262, pp. 183–197, 2015.
- [78] C. G. Simpson and J. W. Brown, “RNase A/T1 protection assay,” *Methods Mol Biol*, vol. 49, pp. 239–247, 1995.
- [79] P. A. Latos, F. M. Pauler, M. V. Koerner, H. B. Şenergin, Q. J. Hudson, R. R. Stocsits, W. Allhoff, S. H. Stricker, R. M. Klement, K. E. Warczok, K. Aumayr, P. Pasierbek, and D. P. Barlow, “Airm Transcriptional Overlap, But Not Its lncRNA Products, Induces Imprinted Igf2r Silencing,” *Science*, vol. 338, no. 6113, pp. 1469–1472, Dec. 2012.
- [80] S. Tm, V. La, A. Cg, and K. Ca, “Molecular investigation of the 7.2 kb RNA of murine cytomegalovirus,” *Virology journal*, vol. 10, Dec. 2013.
- [81] S. L. Moon, B. J. T. Dodd, D. E. Brackney, C. J. Wilusz, G. D. Ebel, and J. Wilusz, “Flavivirus sfRNA suppresses antiviral RNA interference in cultured cells and mosquitoes and directly interacts with the RNAi machinery,” *Virology*, vol. 485, pp. 322–329, Nov. 2015.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Drilling Vanadis 4E with Coated Drills; Examination of Wear, Surface Roughness, and Chip Formation

 Salih KORUCU ^a,  Gürkan SOY ^b,  Gürcan SAMTAŞ ^{c,*}

^a Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, TÜRKİYE

^b Department of Mechanical, Turgutlu Vocational School, Celal Bayar University, Manisa, TÜRKİYE

^c Department of Mechatronic Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1173170

ABSTRACT

Vanadis 4E is a versatile powder metallurgical tool steel widely used in today's market with high wear resistance and excellent yield properties. Drilling operations applied to materials are one of the operations commonly used in the machining industry. In drilling operations, coated or uncoated drills are used, which may vary according to the material used. This study applied drilling operation to Vanadis 4E powder metallurgical steel with TiN-coated HSS drills. In the study, Drills with diameters of 5, 8.5, and 10.5 mm, cutting speeds of 22, 23, and 24 m/min, and feed rates of 0.10, 0.12, and 0.14 mm/tooth was used. Nine experiments were carried out using the Taguchi L9 orthogonal array. After the experiments, the material was cut from the holes, and the roughness values were measured from the inner surfaces of the holes. In addition, hardness measurements were made from the material surfaces around the holes. The wear conditions of the drills used in the experiments were examined with an optical microscope after the experiment. The formations after each experiment were also examined. The best roughness value was obtained with the 5 mm diameter drill in the 1st experiment, the best roughness value was obtained in the experiments carried out with the 8.5 mm diameter drill in the 6th experiment, and the best roughness value was obtained in the 7th experiment for the 10.5 mm diameter drill. When the wear in the drills was evaluated, it was observed that the side surface and radial wear occurred.

Keywords: Vanadis 4E, Drilling, Surface roughness, Chip formation, Wear

Vanadis 4E'nin Kaplamalı Matkaplarla Delinmesinde; Aşınma, Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumunun İncelenmesi

ÖZ

Vanadis 4E, yüksek aşınma direncine ve çok iyi sünme özelliğine sahip, günümüz piyasasında yaygın olarak kullanılan çok yönlü toz metalurjik takım çeliğidir. Malzemelere uygulanan delme operasyonları, talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan işlemlerden biridir. Delme operasyonlarında, kullanılan malzemeye göre değişiklik gösterebilen kaplamalı veya kaplamasız matkaplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada Vanadis 4E toz metalurjik çeliğe TiN kaplamalı HSS matkaplarla delme operasyonu uygulanmıştır. Çalışmada; 5, 8.5 ve 10.5 mm çapta matkaplar, 22, 23 ve 24 m/dak kesme hızları ve 0.10, 0.12 ve 0.14 mm/diş ilerleme oranları kullanılmıştır. Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanılarak 9 deney yapılmış, deneyler sonrası malzeme deliklerden kesilerek, delik iç yüzeylerinden pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, deliklerin çevresindeki malzeme yüzeylerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların deney sonrası optik mikroskop ile aşınma durumları incelenmiştir. Her bir deney sonrası oluşumları da incelenmiştir. 5 mm çaptaki matkapla en iyi pürüzlülük değeri 1. deneyde, 8.5 mm çaptaki matkapla yürütülen deneylerde en iyi pürüzlülük değeri 6 numaralı deneyde ve 10.5 mm çaptaki matkapta ise en iyi pürüzlülük değeri 7. deneyde elde edilmiştir. Matkaplarda ki aşınmalar değerlendirildiğinde, yan yüzey ve radyal aşınmaların oluştuğu görülmüştür.

I. INTRODUCTION

Powder metallurgy (PM) is a field in which materials or components are made from metal powders and covers many techniques. PM is a method that reduces material losses and lowers final product costs. PM is also widely used in the production of materials that are difficult to manufacture [1]. Steels produced by the PM method are widely used in the manufacturing industry. One of these steels is Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean (Vanadis 4E) PM steel. Vanadis 4E offers very good machinability and grind ability compared to other high alloy PM tool steels and excellent quality for tools made from this material. Vanadis 4E is particularly well suited for applications where adhesive wear mechanisms may occur and for cutting and forming advanced high-strength steels [2].

Drilling processes are used in almost many areas of the machining industry. Drilling operations can be done with universal machine tools and CNC machines. CNC machines are widely used in machining in drilling for best performance, low production time, mass production, good surface quality, and long tool life. In these processes, it is critical to determine the cutting parameters suitable for the material being drilled. Careful handling of this critical process will ensure a delicate surface, long wear of the drills, and long tool life. The purpose of metal removal methods in modern manufacturing is to achieve higher machining accuracy and lower surface roughness with increased chip content [3]. Current conventional manufacturing methods for machining materials with hard machinability properties result in uneconomic outputs such as tool wear and machining time [4]. Therefore, it is necessary to determine the cutting parameters well in drilling processes [5].

When the literature is examined, it is possible to come across many studies covering drilling processes. Korucu and Samtaş, in their study, Vanadis 4E drilled powder metallurgical steel using three different diameters of uncoated HSS drills and different cutting parameters. The study investigated surface roughness, drill wear, and chip formation [6]. The Taguchi method is also used in drillability studies. In his study, Ozsoy investigated the effect of drilling parameters on thrust force on AISI 2080 steel. In the study, the Taguchi method optimized the cutting parameters to minimize the thrust force [7]. Vignesh et al., in their study, investigated the performance of drills by applying drilling operations to Stainless Steel 410 material with AlTiN-coated and uncoated HSS drills. Their study evaluated the effects of cutting parameters on material removal rate, surface roughness, and ovality [8]. Kanagaraju et al. investigated the drilling performance of super duplex stainless steel used in the marine, petrochemical, and petroleum industries and numerous industrial applications under the conditions of a minimal amount of lubrication technique based on environmentally friendly liquid carbon dioxide and biodegradable coconut oil [9]. Amrit et al. investigated the drilling performance of AISI 321 stainless steel using various cooling strategies (dry, wet, and 6 MQL conditions). Their study examined thrust force, torque, surface roughness, friction coefficient, chip formation, and wear mechanisms [10]. Doğan et al. studied drilling Fiber Metal Laminate piles under different conditions with conventional and non-traditional processing methods. [11]. On the other hand, Patel and Chaudhary conducted a study summarizing various delamination inspection and measurement techniques to improve composite materials' drillability [12]. Rubi et al. investigated the effects of drilling parameters on the drilling of LM6/B4C composite material and optimized the parameters using Gray Relational Analysis. [13]. Kumar et al. conducted a study on the drilling of fiber-reinforced composite materials. [14]. There are studies in the literature, especially on the drillability of steel materials, examination of the performances of drills with different coatings, optimization of cutting parameters in drilling processes, and the drillability of composite materials [15]- [24].

When the literature was examined, a drilling study using HSS drills belonging to Vanadis 4E material was found. In this study, TiN coated, and different diameter drills were used, and this study is different and original in content from the study in the literature. Considering the literature review, it was seen that there was no other drillability study using Vanadis 4E.

In this study, drilling operations were carried out on Vanadis 4E steel using three different diameters of the TiN-coated drills, three cutting speeds, and three different feeds. The Taguchi L9 orthogonal array was used for the experimental design, and 9 experiments were carried out. After the experiments, roughness measurements were made on the drilled surfaces, and outer edge and radial wear were examined by taking images of the tips and side surfaces of the drills after each experiment. The chip formations that occurred at the end of each experiment were photographed and analyzed. Additionally, the effects of cutting parameters on wear and surface roughness were examined by analysis of variance and three-dimensional plots.

II. MATERIAL AND METHOD

A. DRILLING EXPERIMENTS

As the cutting tool, HSS drills in the DIN 338 norm with a tip angle of 118°, TiN coating and three different diameters (5, 8.5 and 10.5 mm) were used in the study. The technical catalog of the material and the literature were considered in the selection of drill diameters. The drilling operations were carried out with a First MCV-300 CNC vertical processing center (Figure 1).

As the material to be drilled, Vanadis 4 Extra powder metallurgical tool steel with dimensions of 80x40x30 mm from the firm Uddeholm was used. Tables 1 and 2 show the material's mechanical properties and chemical composition [2].



Figure 1. Experimental setup and cutting tools (a. Experimental setup, b. Drills)

Table 1. Mechanical properties of the Vanadis 4E material

Mechanical Properties			
Density	Modulus of elasticity (GPa)	Hardness Brinell	Thermal conductivity
7.70 gr/cc	205	230	30 W/m-K

Table 2. Chemical composition of Vanadis 4E

Component Elements Properties (per cent weight, %)						
C	Cr	Fe	Mn	Mo	Si	V
1.4	4.7	85.9	0.40	3.5	0.40	3.7

B. MEASUREMENT OF SURFACE ROUGHNESS

The surface roughness was measured using a Mitutoyo SJ-301 model surface roughness device (Figure 2). Using the Taguchi L9 orthogonal array, 9 experiments were conducted, and the roughness measurements were repeated twice from the holes' entry and exit. The average of these two measurements was used in the study.

C. EXAMINATION OF WEARS

After each drilling experiment, the drills' outer edge and radial wear were examined. In the examinations, a Nikon Eclipse LV150N model microscope was used.

D. EXPERIMENTS

This study conducted drilling operations on Vanadis 4E powder metallurgical steel using three different diameter drills. The Taguchi L9 orthogonal array was used in the experimental design, and 9 experiments were conducted. Three experiments were carried out for each drill bit. In determining the cutting parameters, the catalog information of Uddeholm Vanadis 4E was utilized [2]. In the experiments, wet drilling was performed by using boron oil. After the experiments, the material was cut from the center of the drilled zones, and the roughness values of the hole surfaces were measured (Figure 2). Table 3 shows the experimental design and experimental results.

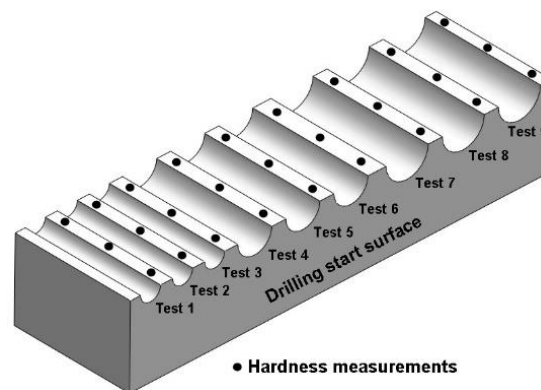


Figure 2. Hardness measurements

Table 3. Surface roughness values obtained from the experiments

Test no.	Cutting parameters			Experimental results		
	A Cutting tools (Diameter, D, mm)	B Cutting speed (V, m/min)	C Feed rate (f, mm/rev)	Ra (μm)	Wear (mm)	Hardness (Brinell)
1	5	22	0.1	1.100	0.228	158
2	5	23	0.12	1.620	0.291	166
3	5	24	0.14	1.925	0.362	174
4	8.5	22	0.12	2.515	0.288	183
5	8.5	23	0.14	2.380	0.273	178
6	8.5	24	0.1	0.945	0.233	182
7	10.5	22	0.14	1.920	0.217	174
8	10.5	23	0.1	2.540	0.148	178
9	10.5	24	0.12	1.955	0.180	179

While drilling the material, it was seen that the tool had difficulty and resonated. For this reason, Brinell hardness measurements were made with the Hartip 3000 portable hardness tester from three regions where each hole is located (Figure 2). These measurements are shown in Table 3. The hardness values given in Table 3 are the average values of these three measurements. The technical catalogs expressed that the hardness value of this steel sold by soft annealing could reach approximately 230 HB [2]. However, this reached up to 183 HB in the measurements, and different hardness values were measured from different points. This situation is directly effective on drillability performance. This effect is discussed in detail in the interpretation section. Additionally, Table 3 shows the wear values measured from the outer edges of the drills. Here, the lowest wear value for the drill bit with a diameter of 5 mm was 0.228 mm at the cutting speed of 22 m/min and feed rate of 0.1 mm/rev, that for the drill bit with a diameter of 8.5 mm was 0.233 mm at the cutting speed of 24 m/min and feed rate of 0.1 mm/rev, and that for the drill bit with a diameter of 10.5 mm 0.148 mm at the cutting speed of 23 m/min and feed rate of 0.1 mm/rev.

III. INTERPRETATION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS

A. INTERPRETATION OF THE ROUGHNESS MEASUREMENTS

After the drilling process, the part was cut in half from the center of the holes and made ready for measurements. The measurements were taken from the entry and the hole exit. Table 3 shows the averages of these measurements. Figure 3 shows the photographs of the surfaces measured for roughness and the plot of the average roughness values.

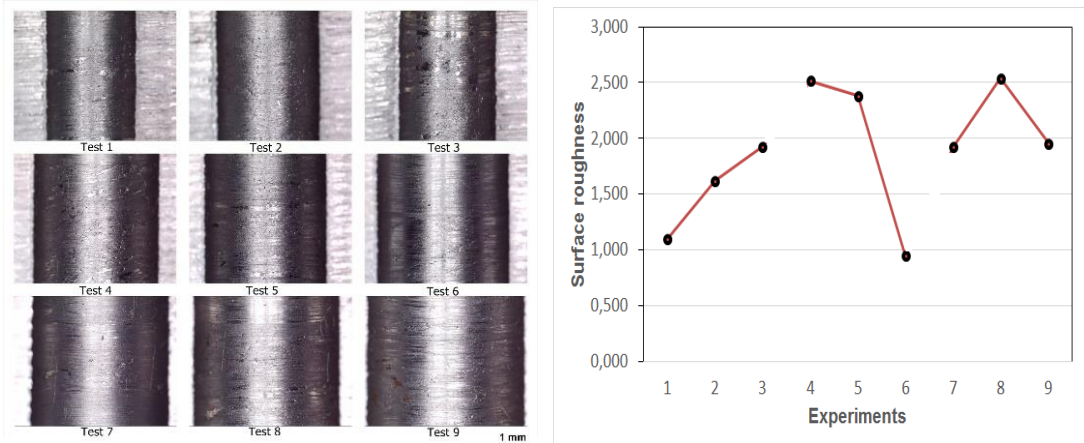


Figure 3. Roughness measurement surface images and plots

Figure 3 shows the images of the surfaces whose roughness measurements were taken by a microscope (20x) and the plot of the roughness values obtained from the experiments. Here, in the first three experimental drilling processes performed with the 5-mm drills, the minimum surface roughness value was obtained in the first experiment (22 m/min and 0.1 mm/rev). On the other hand, the highest roughness value was obtained in experiment 3. This situation is also seen in the surface photographs in Figure 3. In the experiments carried out with the 8.5-mm drills, the lowest roughness value was observed in the 6th experiment (24 m/min and 0.1 mm/rev). The lowest roughness value for the 10.5-mm drills was obtained in the 7th experiment (22 m/min and 0.14 mm/rev). The roughness values increased as the feed rate increased for the 5mm and 8.5mm drills. This is different with 10.5 mm drills. The lowest roughness of 10.5 mm drills was measured at the highest feed. This is attributed to the hardness values that change at different material points. On the other hand, it is seen that the roughness increases as the cutting speed increases in 5 mm drills. This is the opposite for 8.5 and 10.5 mm drills, and the roughness value decreases as the cutting speed increases in these diameters. It can

be said that the chip formation in unit time increases with the increase in drill diameter and cutting speed. Therefore, there is an increase in roughness values due to the difficulty of chip evacuation. [25].

B. INTERPRETATION OF WEARS

In an examination of wear, images were taken with an optical microscope (20x) from the drills' outer edges and tip parts. Figure 4 shows the microscopic images taken from the side surfaces and tips of the drills with diameters of 5, 8.5, and 10.5 mm. In the side surface images, outer edge wear was examined by looking at the edging of the drill bit. Radial wear was examined for the tip images. The wear values indicated in Table 3 are the edge wear measurements of the drills. In Figure 4, the radial (tip wear) images are also given beside the edge wear.

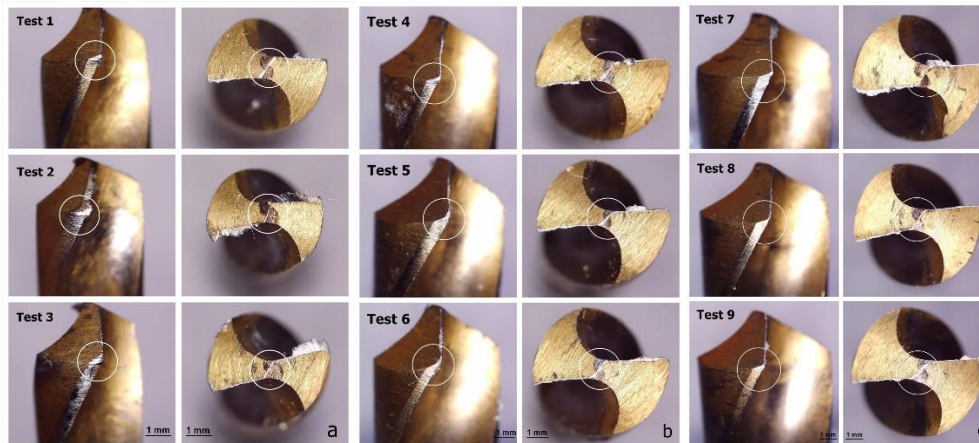


Figure 4. Examination of the outer edge and radial wears for the drills with diameters of 5 mm (3a), 8.5 mm (3b), and 10.5 mm (3c)

It was observed that the hardness values of the material that was used in the experiments varied at some points. Hardnesses were measured at each test's hole's beginning, middle, and end (Figure 2). In these measurements, the hardness measurements taken for each hole were different from each other. Therefore, different hardness values during drilling directly affect the test results. After the experiments, Brinell hardness measurements were made from the hole edge, and these values are shown in Table 3. As seen in Figure 4, there was outer edge wear on the drills in all experiments. The highest wear in the drill bit with a diameter of 5 mm was 0.228 mm in experiment 1, in the drill bit with a diameter of 8.5 mm was 0.233 mm in experiment 6, and the lowest wear in the drill bit with a diameter of 10.5 mm was 0.148 mm in experiment 8. In the literature, reducing the cutting speed and lowering the feed rate are recommended to reduce wear, including flank and notch wear [26]. In this study, the cutting speeds and feed rates were determined based on the technical catalog information of the firm from where the workpiece was obtained. When Figure 4 and Table 3 are evaluated in terms of radial wear, radial wear was not observed in experiment 1 and experiment 3, but radial wear was observed in other experiments. This is attributed to the variation in the hardness of the material.

C. INTERPRETATION OF CHIP FORMATION

Figure 5 shows the chip formations that occurred during the experiments. In test 1, torn chip formation was observed at the beginning of drilling, but needle-type chip formation was observed. Torn chips are evacuated without letting them roll, but they may be easily coiled around the drill bit [26], [27]. Needle-type chips are formed due to vibration or brittle material. These are acceptable forms of chips. However, they may lead to chip accumulation by stacking onto each other [27], [28]. In the experiments in test 1, it was observed that these chips were easily evacuated from the hole.

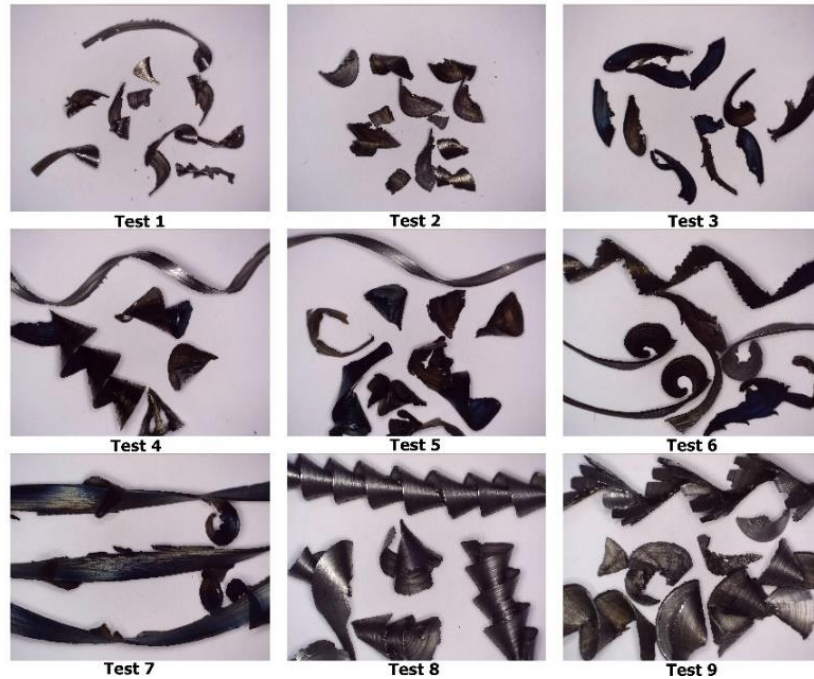


Figure 5. Chip formations obtained from each experiment

As seen in Figure, in test 2, semi-shell chips were formed. This type of chip form is a chip form that is formed by breaking with the effect of discharge channel and hole side walls and occurs at high feed rates. [27], [28]. It is believed that this chip formation occurred in test 2 due to the feed rate increase and hardness in this zone. In test 3, torn and semi-shell chips were formed, and the increased feed rate was thought to have caused this outcome. In test 4, in the first experiment with the drill bit with a diameter of 8.5 mm, spiral and torn chip formation was observed. In spiral-type chips, if the chip is broken after curling a few times, this is acceptable. In this experiment, the spiral chip formation also broke after curling a few times. In test 5, torn chips were formed at the beginning of drilling, then spiral-type chips and semi-shell chips at the end. This was attributed to the increased hardness in the area of the hole. In test 6, torn chip formation was observed, and the chip was broken without being elongated. This is the desired situation. In test 7, torn chip formation was observed, and the chip was broken without being elongated. In test 8, spiral-type chip formation was observed; again, it was broken without elongating. This is the desired chip form. In test 9, spiral chips at the beginning and semi-shell chips at the end of drilling were observed. The formation of different chip forms in each experiment was attributed to the changing levels of the hardness of the material on different surfaces.

D. EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS

The effects of the cutting speeds and feed rates selected for the experimental design on the surface roughness and wear values were examined with three-dimensional plots. Figure 5a shows cutting speed and feed rate effects on surface roughness.

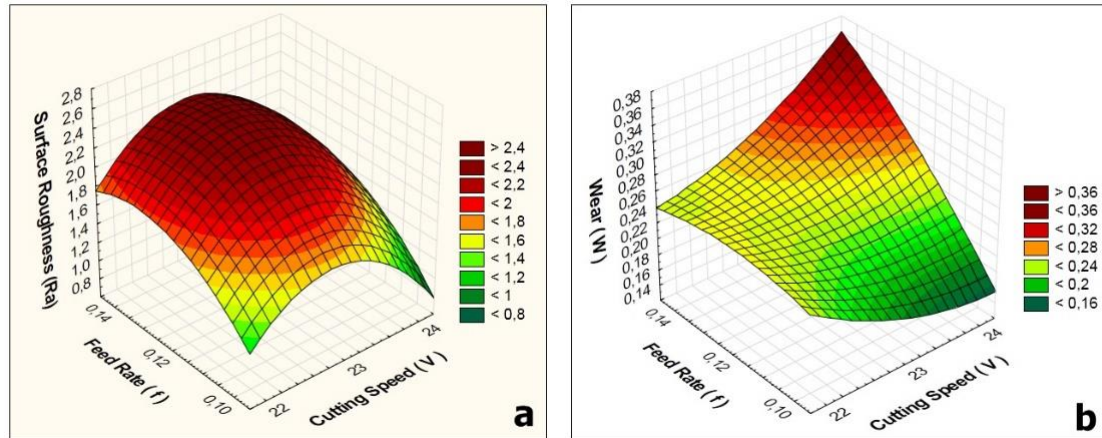


Figure 6. Effects of cutting speed and feed rate on wear and surface roughness

Figure 6a shows that the surface roughness values increased as the feed rate increased. However, roughness decreased at the feed rate of 0.10 mm/rev and cutting speeds of 22 m/min and 24 m/min. As the feed rate and cutting speed increased, the roughness values increased. The plot shows that the highest surface roughness value occurred at the cutting speed of 23 m/min and feed rate of 0.14 mm/rev, while the lowest value occurred at the cutting speed of 22 m/min and feed rate of 0.10 mm/rev. Low feed rates and low cutting speeds are recommended in practice for the best performance in drilling operations, which is similar to the literature [26]. Figure 6b shows cutting speed and feed rate effects on wear. Here, the highest amount of wear occurred at the cutting speed of 24 m/min and feed rate of 0.14 mm/rev. The lowest wear value was obtained at 24 m/min cutting speed and a feed rate of 0.10 mm/rev. As seen in the plot, the wear values increased as the cutting speed and feed rate increased. TiN-coated drills show high performance in achieving low surface roughness in drillability applications. This is attributed to the surface lubrication properties and low coefficient of friction of the TiN coating [29].

E. ASSESSMENT OF EFFECTS BY ANALYSIS OF VARIANCE

Table 3 shows the results of the analysis of variance on the cutting parameters. The analysis of variance was carried out by considering the 95% confidence interval.

Table 4. Assessment of cutting parameters by analysis of variance

Variance source	Degree of freedom (DoF)	Sum of squares (SS)	Mean square (MS)	F -Value	P-Value	Contribution (%)
Surface roughness (Ra- μm)						
D	1	0.5425	0.5425	1.72	0.246	20.48
V	1	0.084	0.084	0.27	0.627	3.17
f	1	0.4483	0.4483	1.42	0.286	16.93
Error (<i>e</i>)	5	1.5735	0.3147			59.42
Total	8	2.6482				100
Wear (W, mm)						
D	1	0.01679	0.01679	13.23	0.015	50.46
V	1	0.00029	0.00029	0.23	0.651	0.88
f	1	0.00984	0.00984	7.76	0.039	29.59
Error (<i>e</i>)	5	0.00634	0.00126			19.07
Total	8	0.03326				100

As seen in Table 4, the cutting tool was the most effective factor in surface roughness, with a value of 20.48%. The feed rate of 16.93% followed this. The cutting speed provided the lowest effect by 3.17%. As drills with three different diameters were used in the experiments, it is possible to say that the feed rate was the most influential factor among those that affected surface roughness. As seen in Table 4, the most influential factor on wear was the cutting tool, with a value of 50.46%. The second most effective factor was the feed rate of 29.59%, followed by the cutting speed of 0.88%. Here, excluding the cutting tool from the analysis would be right. Therefore, it is possible to say that the feed rate was the most influential factor in wear.

IV. CONCLUSIONS

In this study, drilling operations were performed on Vanadis 4E powder metallurgical steel using drills with three different diameters, cutting speeds, and feed rates. The Taguchi L9 orthogonal array was used for the experimental design, and 9 experiments were conducted. The experimental results were analyzed by interpreting the roughness and wear images and using three-dimensional plots and analysis of variance. The results obtained from this study may be listed as follows:

- During drilling, different parts of the workpiece resonated, and as a result, hardness measurements were made near the holes. The hardness measurements showed that the experiment material had different hardness values, which made one think that it would be suitable to apply stress relief annealing before machining the parts.
- Considering the surface roughness results, in the first 3 drilling experiments carried out with the 5-mm drill bit, the minimum surface roughness value was obtained in experiment 1 (22 m/min and 0.1 mm/rev), while the highest roughness value was obtained in experiment 3. This is also seen in the surface images shown in Figure 2. In the experiments carried out with the 8.5-mm drill bit, the lowest roughness value was obtained in experiment 6 (24 m/min, 0.1 mm/rev). In the experiments carried out with the 10.5-mm drill bit, the lowest roughness value was obtained in experiment 7 (22 m/min and 0.14 mm/rev).
- Examining the wear, it was observed that there was outer edge wear on the drills in all experiments. There was no radial wear in experiments 1 and 3, while radial wear occurred in the other experiments. This situation was attributed to the varying hardness values of the material.
- Considering chip formations, it was observed that chips in the form of tears, spirals, semi-shells, and needles were formed, which was attributed to the different hardness values of the material. The most suitable chip formation occurred in test 2 for the 5-mm drill bit, test 4 for the 8.5-mm drill bit, and test 8 for the 10.5-mm drill bit.
- In the three-dimensional plots, it was seen that increasing the cutting speed and feed rate led to an increase in the surface roughness values. In the same plots, the lowest roughness value was seen at the feed rate of 0.10 mm/rev and cutting speed of 22 m/min.
- Based on the wear plot, the highest wear value occurred at the cutting speed of 24 m/min and feed rate of 0.10 mm/rev. In the same plot, the lowest wear value was achieved at the feed rate of 0.10 mm/rev and cutting speed of 24 m/min.
- Looking at both plots, it is understood that the feed rate of 0.10 mm/rev should be selected for low wear and roughness values.
- In the analysis of variance carried out for wear and surface roughness, the most effective parameter was found as the feed rate. Here, as drills with three different dimensions were used, the cutting tool was not included in the analysis.

It is recommended to eliminate internal stresses by applying stress relief annealing before drilling the Vanadis 4E steel used in this study. Future studies may test the machining performance of this material by applying surface milling, pocket milling, and slot milling.

V.REFERENCES

- [1] Wikipedia (2022, December 12), Powder metallurgy [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Powder_metallurgy.
- [2] Uddeholm (2022, September 8), Vanadis 4 Extra cutting data recommendations [Online]. Available: https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/41/2017/09/C_D_Vanadis-4-Extra-EN.pdf.
- [3] T.V. SreeramaReddy, T. Sornakumar, M. VenkataramaReddy and R. Venkatram, "Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts", *Int. J. Refract Metal Hard Mater.*, vol. 27, pp. 181–185, 2009.
- [4] A.A. Khan and, M.I. Ahmed, "Improving tool life using cryogenic cooling," *J Mater Process Technol*, vol. 196 no. 1-3, pp. 149–154, 2008.
- [5] Ş. Bayraktar, Y. Siyambaş ve Y. Turgut, "Delik delme prosesi: bir araştırma", *Sakarya University Journal of Science*, c. 21, s. 2, ss. 120-130, 2017.
- [6] S. Korucu ve G. Samtaş, "Vanadis 4E çeliğinin kaplamasız matkap uçlarıyla delinmesinde kesme parametrelerinin aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumuna etkisi", *DEÜ FMD*, c. 23, s. 69, ss. 961-971, 2021.
- [7] N. Ozsoy, "Prediction and optimization of thrust force during the drilling of AISI 2080 steel", *Materials Testing*, vol. 64, no. 4, pp. 602-609, 2022.
- [8] V. Vignesh, S. Satish, V. Gopi, J. Jishnoop and G. A. Menon, "Comparison of coated and uncoated HSS drill bit on surface roughness, material removal rate and dimensional accuracy of SS410 stainless steel", *Materials Today: Proceedings*, vol. 58, no. 1, pp. 13-19, 2022.
- [9] T. Kanagaraju, L.G. Babu, V.M. Madhavan, V. Sivaraman, B. Gowthaman, K. Arul and A. Thanikasalam, "Experimental analysis on drilling of super duplex stainless steel 2507 (SDSS 2507) using cryogenic LCO₂ and MQL process", *Biomass Conv. Bioref.* 2022. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02536-8>.
- [10] A. Pal, S.S. Chatha and H.S. Sidhu, "Performance evaluation of various vegetable oils and distilled water as base fluids using eco-friendly MQL technique in drilling of AISI 321 stainless steel", *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech.* vol. 9, pp. 745–764, 2022.
- [11] M.A. Doğan, Ş. Yazman, L. Gemi, M. Yıldız and A. Yapıcı, "A review on drilling of FML stacks with conventional and unconventional processing methods under different conditions," *Composite Structures*, vol. 297, pp. 1-27, 2022.
- [12] P. Patel and V. Chaudhary, "Delamination evaluation in drilling of composite materials – A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 56, pp. 2690-2695, 2022.
- [13] C. S. Rubi, U. Praksh, R. Cep and M. Elangovan, "Optimization of process variables in the drilling of LM6/B4C composites through Grey Relational Analysis," *Materials*, vol. 15, pp. 1-15, 2022.
- [14] A. M. Kumar, R. Parameshwaran, R. Rajasekar, C. Moganapriy and R. Manivannan, "A review on drilling of fiber-reinforced polymer composites," *Mechanics of Composite Materials*, vol. 58, no. 1, pp. 97-112, 2022.

- [15] M. Varatharajulu, G. Jayaprakash, N. Baskar, B. Suresh Kumar, S. Kannan and A. Haja Maideen, "Evaluation of desirability function approach and genetic algorithm optimization of drilling characteristics on Duplex 2205," *Materials Today: Proceedings*, vol. 22, no. 3, pp. 589-600, 2020.
- [16] A. Rasti, M.H. Sadeghi and S.S. Farshi, "An investigation into the effect of surface integrity on the fatigue failure of AISI 4340 steel in different drilling strategies," *Engineering Failure Analysis*, vol. 95, pp. 66-81, 2019.
- [17] R. Çakıroğlu ve A. Acır, "Al2014 malzemesinin delinmesinde takım talaş ara yüzey sıcaklıkları ve kesme kuvvetinin Taguchi metodu ile optimizasyonu," *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c.10, s. 2, ss. 73-86, 2013.
- [18] T. Meral and M. Günay, "Kaplmalı ve kaplamasız karbür matkap ile ferritik paslanmaz çeliğin delinebilirlik analizi," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* c. 5, s. 2, ss. 159-166, 2019.
- [19] M. Mudhukrishnan, P. Hariharan and K. Palanikumar, "Measurement and analysis of thrust force and delamination in drilling glass fiber reinforced polypropylene composites using different drills," *Measurement*, vol. 149, pp. 1-10, 2020.
- [20] H.B. Upputuri and V.S. Nimmagadda, "Optimization of drilling process parameters used in machining of glass fiber reinforced epoxy composite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 23, no. 3, pp. 594-599, 2020.
- [21] S. Ankalagi, V.N. Gaitonde and P. Petkar, "Experimental studies on hole quality in drilling of SA182 steel," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 10, pp. 11201-11209, 2017
- [22] R. Arif, G. Fromentin, F. Rossi, B. Marcon and P. Blandener, "Mechanical study in drilling of heat resistant austenitic stainless steel," *Procedia CIRP*, vol. 77, pp. 425-428, 2018.
- [23] M. Yavuz, H. Gökçe, Ç. Yavaş, İ. Korkut and U. Şeker, "Effect of drill geometry on hole quality and cutting performance," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 21, no. 5, pp. 1051-1066, 2017.
- [24] M. Miklos, J. Holubjak, M. Drbul, İ. Danis, T. Czanova and J. Pilc, "Identification of tool wear drilling process of bearings steels C56E2 with microstructure of lamellar pearlite," *Transportation Research Procedia*, vol. 40, pp. 381-388, 2019.
- [25] A.Z. Sultan, S. Sharif, F.M. Nor and D. Kurniawan, "Minimum quantity of lubricant drilling of stainless steel using refined palm olein: Effect of coating tool on surface roughness and tool wear," *Procedia Manufacturing*, vol. 30, pp. 427-434, 2019.
- [26] S. Yıldız (2022, 8 Eylül). Takım aşınma mekanizmaları ve aşınma tipleri [Çevrimiçi]. Erişim: https://tf.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/033003/4_takim_asinma_mekanizmalari_asinma_tipleri.pdf
- [27] M. Yavuz, H. Gökçe nad U. Şeker, "Investigation of the effect of drill geometry on tool wear and chip formation", *Gazi Journal of Engineering Science*, vol. 3, no. 1, pp. 11-19, 2017.
- [28] M.C. Çakır, A. Oran ve Y.E. Türker, "Sert malzemelerin delinmesi işleminde kaplama tiplerinin ve işleme parametrelerinin delme işlemine etkilerinin incelenmesi." *4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Kuşadası, Aydın, Türkiye, 2013.
- [29] T. Kıvak, K. Habalı ve U. Şeker, "Inconel 718'in delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, c. 25, s. 2, ss. 293-298, 2010.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Detection of Pipes Causing Pressure Loss in Water Distribution Networks via Artificial Immune Systems

 Miraç ERYİĞİT^{a,*}

^a Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: miraceryigit@hotmail.com

DOI:10.29130/dubited.1158728

ABSTRACT

This paper proposes the optimization model using Artificial Immune Systems, depending on a model calibration, in order to determine worn out pipes with low Hazen-Williams roughness coefficient causing pressure loss in the water distribution networks. The modified Clonal Selection Algorithm, a type of Artificial Immune Systems, was used as a heuristic optimization method. In order to evaluate its performance, the model was implemented to the four-loop hypothetical water distribution network under steady-state conditions. According to the results, the model appeared to be promising in the detection of old pipes causing high pressure losses in the water distribution networks.

Keywords: Pressure loss, Water Distribution Networks, Optimization, Model Calibration, Artificial Immune Systems

Su Dağıtım Şebekelerinde Basınç Kaybına Neden Olan Boruların Yapay Bağışıklık Sistemleri ile Tespit Edilmesi

Öz

Bu çalışmada, su dağıtım şebekelerinde basınç kaybına neden olan düşük Hazen-Williams pürüzlülük katsayısına sahip eskimiş boruların belirlenmesi için model kalibrasyonuna bağlı Yapay Bağışıklık Sistemlerini kullanan bir optimizasyon modeli önerilmektedir. Sezgisel optimizasyon yöntemi olarak Yapay Bağışıklık Sistemlerinden biri olan modifiye Klonal Seçim Algoritması kullanılmıştır. Modelin performansını test etmek için, sürekli-kararlı koşullar altında dört gözlü farazi (sanal) bir su dağıtım şebekesinde model uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su dağıtım şebekelerindeki yüksek basınç kayıplarına neden olan eskimiş boruların tespit edilmesinde modelin gelecek vaat ettiği görülmüştür.

Keywords: Basınç kaybı, Su Dağıtım Şebekeleri, Optimizasyon, Model Kalibrasyonu, Yapay Bağışıklık Sistemleri

I. INTRODUCTION

The pipes in water distribution networks (WDNs) become worn out over time. Consequently, in addition to a public health risk due to corrosion, sufficient pressure heads can not be provided at nodes (junctions) of the WDN due to low roughness coefficients increase friction (head) losses. This may cause water failing to reach up to upper floors of buildings, and forcing the use of the water boosters. In this context, a detection of pipes causing pressure loss in the WDNs comes into prominence to restore. In order to achieve this task, model calibration is utilized. The model calibration is the minimization process of the difference between the model estimations and field observations of flows and pressures to specify the physical and operational hydraulic characteristics of the existing system. The hydraulic characteristics comprise model parameters such as nodal water demand, roughness of pipes, operation status of valves, pipes, tanks, pumps and emitters in the WDNs [1]-[4].

In the literature, several studies based on model calibration were carried out to determine pipe roughness (friction) in the WDNs (compiled by [4], [5]). De Schaetzen et al. [1] applied methods of the optimal sampling design for the model calibration of pipe roughness coefficients using genetic and entropy algorithms, shortest path algorithm. Kapelan et al. [6] improved the inverse transient model based on the hybrid search method for a roughness calibration. Wu et al. [3], Lingireddy and Ormsbee [7], Jamasb et al. [8], Boczar et al. [9], Prasad [10], Dini and Tabesh [11] proposed optimization models depending on the model calibration using Genetic Algorithm (GA), Clonal Selection Algorithm (Clonalg) and Ant Colony Optimization to obtain pipe roughness coefficients, respectively. Kang and Lansey [12] performed the demand and roughness calibration based on a two-step method. Similarly, Koppel and Vassiljev [13], Alvisi and Franchini [14], Vassiljev et al. [15], Piller et al. [16], Xie et al. [17], Du et al. [18], Jadhao and Gupta [19], Zhang et al. [20] studied pipe roughness calibration in the WDNs by using different methods.

As an alternative to the related literature, the optimization model depending on the model calibration, using the modified Clonal Selection Algorithm (modified Clonalg) was improved to detect worn out pipes with low roughness coefficient of Hazen-Williams (C) causing pressure loss in the four-loop hypothetical WDN under steady-state conditions in this study. The results indicated that the model seems to be practicable for the detection of old pipes causing pressure losses in the WDNs.

II. MATERIAL AND METHOD

A. MODEL FORMULATION

The objective function applied in the model calibration was optimized by minimizing the difference between the model estimated and the field observed (measured) pipe flow and junction (node) pressure values under the boundary conditions for obtaining the model parameter values (pipe roughness etc.) in the WDN. The objective function (f) defined by Wu et al. [3] as shown below was used in this study.

$$\underset{\text{minimize}}{\frac{\sum_{nh=1}^{NH} \left(\frac{Hsim_{nh} - Hobs_{nh}}{Hpnt} \right)^2 + \sum_{nf=1}^{NF} \left(\frac{Fsim_{nf} - Fobs_{nf}}{Fpnt} \right)^2}{NH + NF}} \quad (1)$$

where $Hsim_{nh}$ is the nh -th model simulated pressure head (hydraulic head), $Hobs_{nh}$ is the nh -th observed pressure head, $Fsim_{nf}$ is the nf -th simulated flow rate, $Fobs_{nf}$ is the nf -th observed flow rate, $Fpnt$ is the flow per the fitness point and $Hpnt$ is the hydraulic head per the fitness point, NF is the number of the observed pipe flow rates, NH is the number of the observed pressure heads. $Hpnt$ and

F_{pnt} were assigned as 0.3 m and 0.63 l/s, respectively [21]. In order to detect pipes having low roughness coefficient, the following constraints were considered for minimizing the objective function:

The continuity equation should be fulfilled for each node;

$$\sum Q_{in} - \sum Q_{out} = Q_e \quad (2)$$

where Q_e is the external inflow rate or water demand at the junction (node), Q_{in} and Q_{out} are the inflow and outflow rate of the junction, respectively. The minimum required pressure head for each junction is defined as the following:

$$H_j \geq H_j^{\min} \quad j = 1, \dots, M \quad (3)$$

where H_j is the pressure head at junction j , H_j^{\min} is the minimum required pressure head at junction j , M is the number of junctions (nodes) in WDN. In addition to the objective function (f), the penalty function was described for avoiding violation of the constraints. The penalty function is as below:

$$\text{If } H_j < H_j^{\min} \rightarrow |H_j| + f \quad j = 1, \dots, M \quad (4)$$

In this study, H_j^{\min} was assigned as zero for preventing the occurrence of negative pressures in the junctions. The modified Clonalg improved by Eryigit [22], a type of Artificial Immune Systems (AIS), was used to minimize the objective function above (Equation 1) since the algorithm is highly capable to solve optimization problems. The modified Clonalg was shown for optimization problems in Figure 1, where Ab is the randomly created antibody set (population), f is the antigenic affinity of the antibody representing the objective function for each antibody, C is the population of cloned antibodies, C^* is the population of matured (mutated) antibodies following the cloning process.

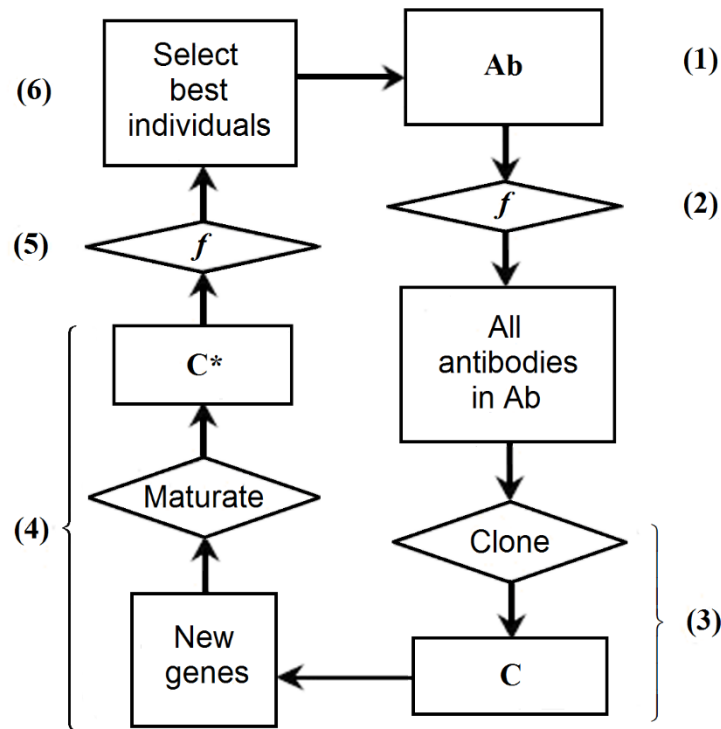


Figure 1. The flow diagram of the modified Clonalg for the optimization problems [22].

The steps of the algorithm are as follows:

- (1) An antibody set (Ab) is randomly generated.
- (2) For each antibody in Ab, an objective function (f) is calculated to be optimized (maximized or minimized).
- (3) All antibodies are cloned.
- (4) All clones (C) are exposed to the maturation process (mutation) inversely proportional to their antigenic affinities (objective function values). Also, new genes are generated for the clones in this step.
- (5) For each matured clone in C*, an objective function (f) is computed again.
- (6) The matured clones, which have the highest affinity (best individuals) are selected to replace the antibodies which have the lowest affinity in Ab. This loop continues until the iteration reaches a maximum number. Hence, the best result can be obtained.

According to the certain probability called as “probability rate” based on a given problem, new genes are created for each antibody clone in the modified Clonalg (Step 4). The number of the created clones for all the antibodies can be computed as shown below [23]:

$$N_C = \sum_{i=1}^{N_{Ab}} \text{round}(\beta \cdot N_{Ab}) \quad i = 1, \dots, N_{Ab} \quad (5)$$

where N_C is the total number of the antibody clones in population C , β is the multiplying coefficient, “round” is the rounding operator for the integer.

The mutation rate can be calculated as given below [23]:

$$\alpha_i = \exp(-\rho \cdot f_i) \quad (6)$$

where α_i is the mutation rate for the antibody clones exposed to the mutation (maturation) process, ρ is the decay coefficient, and f_i is the antigenic affinity value (objective function value) normalized over the interval [0-1]. Definition of Ab is as follows:

$$\begin{array}{c} \overbrace{\left[\begin{array}{cccc} Ab_1 = x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1nd} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ Ab_i = x_{i1} & & \ddots & & x_{ind} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ Ab_{N_{Ab}} = x_{N_{Ab}1} & \cdots & x_{N_{Ab}j} & \cdots & x_{N_{Ab}nd} \end{array} \right]}^{Ab} \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \overbrace{\left[\begin{array}{c} f_1 \\ \vdots \\ f_i \\ \vdots \\ f_{N_{Ab}} \end{array} \right]}^f \end{array} \quad i = 1, \dots, N_{Ab} \quad j = 1, \dots, nd \quad (7)$$

where N_{Ab} is the total number of the antibodies in population Ab, x_{ij} is the gene of Ab_i , representing the decision variable of the objective function, nd is the number of the genes (decision variables) of Ab_i . In this study, x_{ij} represents Hazen-Williams pipe roughness coefficient (C). f was minimized by basing on the roughness coefficients (genes) generated and maturated (mutated) during the modified Clonal processes. Lower and upper limits for determining the pipe roughness coefficients were assigned as 70 and 100, respectively.

B. APPLICATION OF THE FOUR-LOOP WDN

This hypothetical WDN composes of 10 nodes involving junctions 1-9 and the reservoir, 13 pipes within four loops, and it is fed by the gravity from the reservoir with a 60 m fixed hydraulic head. Project roughness coefficient (C) was assigned as 100 in all the pipes. The properties of the network scenario were selected randomly. Project data, operational data (actual data), and the layout of the Four-loop WDN were given in Table 1, Table 2 and Figure 2, respectively. Flow rates in all the pipes except pipe 1, and pressure heads in node 1, 4, 5, 7 and 9 were assumed to observe.

Table 1. The project data of the Four-loop WDN.

Node	Elevation (m)	Base demand (l/s)	Initial Pressure (m)	Pipe	Length (m)	Diameter (mm)	C (Unitless)
Reservoir	60	-	-	1	1500	600	100
1	0	50	51.50	2	1000	500	100
2	0	45	48.44	3	1000	250	100
3	0	45	48.44	4	1000	500	100
4	0	55	34.25	5	1000	250	100
5	0	45	31.86	6	1000	250	100
6	0	50	28.33	7	1000	250	100
7	0	45	31.86	8	1000	250	100
8	0	50	28.33	9	1000	250	100
9	0	60	25.60	10	1000	250	100
				11	1000	250	100
				12	1000	250	100
				13	1000	250	100

Table 2. The operational data of the Four-loop WDN.

Node	Operating Pressure Head (m)	Pipe	Operating Flow Rate (l/s)	C (Unitless)
Reservoir	-	1	445.00	100
1	51.50*	2	201.64*	78
2	46.46	3	86.21*	100
3	46.36	4	193.36*	74
4	24.41*	5	73.48*	71
5	19.30*	6	28.48*	100
6	16.82	7	30.57*	92
7	27.17*	8	41.21*	73
8	18.37	9	29.43*	72
9	13.52*	10	74.88*	81
		11	38.23*	83
		12	70.43*	76
		13	52.08*	100

*Observed pressure heads and flow rates.

EPANET 2, a commonly known WDN simulation software, was used/preferred for the hydraulic calculations because it is simple and efficient (also, it can be linked with Matlab). It was developed as a tool for understanding the movement and fate of drinking water constituents within water distribution systems, and can be used for many different types of applications in distribution systems analysis [24]. The optimization model was run 30 times for the Four-loop WDN within the maximum iteration number in each run. Random seed process (random number generation) was carried out while generating the initial set of pipe roughness coefficients in each run. The PC with Intel I5 Core 2.5 Ghz (3.1 Ghz with Turbo Boost) and Matlab R2014a software were used for the analyses in the study (the optimization model was coded in Matlab and linked with EPANET 2).

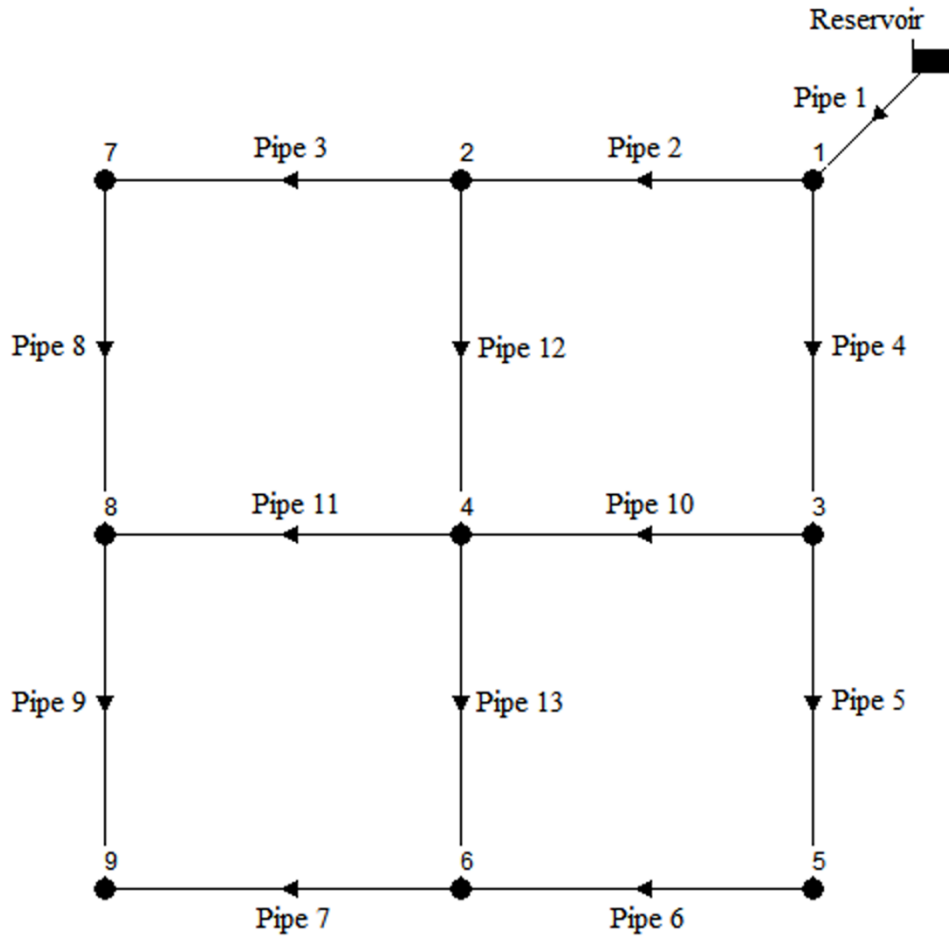


Figure 2. The Four-loop WDN layout.

III. RESULTS AND CONCLUSION

Table 2 presents the worn out pipes with low pipe roughness coefficient (C) causing pressure loss in the WDN. The model using modified Clonalg was run 30 times, and forced to minimize the objective function (f) for detecting these pipes. The average of best (fittest) f values after 30 runs converged to zero (see Table 3). Different C coefficient sets minimizing f to zero were obtained for the pipes of the WDN in each run because f is based on model calibration using pressure heads observed in only 5 nodes (not all nodes). However, as it is seen in Table 4, mean predicted and actual roughness coefficients are approximate with each other (Also, they are illustrated in Figure 3). A mean run time is short which is approximately 8 minutes (see Table 3). Furthermore, the pressures in all the nodes were obtained properly within the hydraulic computations, and any negative pressure did not exist in the junctions. Consequently, the results demonstrated that the model can easily determine the old pipes reducing pressure heads in the nodes of the Four-loop WDN.

Table 3. Parameters and performances of the modified Clonalg used for the optimization problem.

N_{Ab}	β	ρ	Probability Rate	Iteration Number	Minimum f	Maximum f	*Mean f	*Mean Run Time (min)
30	1	13	0.1	1000	6.21×10^{-10}	4.09×10^{-6}	2.8×10^{-7} $\pm 8.4 \times 10^{-7}$	8.2 ± 0.02

N_{Ab} : Number of population Ab. β : Multiplying coefficient for the cloning. ρ : Decay coefficient.

Table 4. Comparison of mean predicted and actual pipe roughness coefficients.

Node	*Mean Pressure Head (m)	Pipe	*Mean Flow rate (l/s)	*Mean Predicted C (Unitless)	Actual C (Unitless)
1	$51.50 \pm 3.42 \times 10^{-4}$	1	445 ± 0	100.0 ± 0.002	100
2	$47.14 \pm 5.22 \times 10^{-1}$	2	$201.64 \pm 1.07 \times 10^{-4}$	84.9 ± 5.6	78
3	$46.54 \pm 5.25 \times 10^{-1}$	3	$86.21 \pm 5.1 \times 10^{-5}$	98.2 ± 1.4	100
4	$24.41 \pm 9.43 \times 10^{-5}$	4	$193.36 \pm 1.07 \times 10^{-4}$	75.8 ± 4.3	74
5	$19.30 \pm 3.74 \times 10^{-4}$	5	$73.48 \pm 2.78 \times 10^{-4}$	70.7 ± 0.7	71
6	$16.55 \pm 1.83 \times 10^{-1}$	6	$28.48 \pm 2.77 \times 10^{-4}$	94.6 ± 3.4	100
7	$27.17 \pm 4.62 \times 10^{-5}$	7	$30.57 \pm 1.17 \times 10^{-4}$	96.6 ± 3.2	92
8	$18.02 \pm 3.31 \times 10^{-1}$	8	$41.21 \pm 5.11 \times 10^{-5}$	71.5 ± 1.4	73
9	$13.52 \pm 2.18 \times 10^{-4}$	9	$29.43 \pm 1.17 \times 10^{-4}$	75.1 ± 2.9	72
		10	$74.88 \pm 1.79 \times 10^{-4}$	80.7 ± 1.0	81
		11	$38.23 \pm 9.19 \times 10^{-5}$	80.6 ± 2.3	83
		12	$70.43 \pm 7.55 \times 10^{-5}$	74.8 ± 0.9	76
		13	$52.08 \pm 1.77 \times 10^{-4}$	98.1 ± 1.2	100

*Average of 30 runs

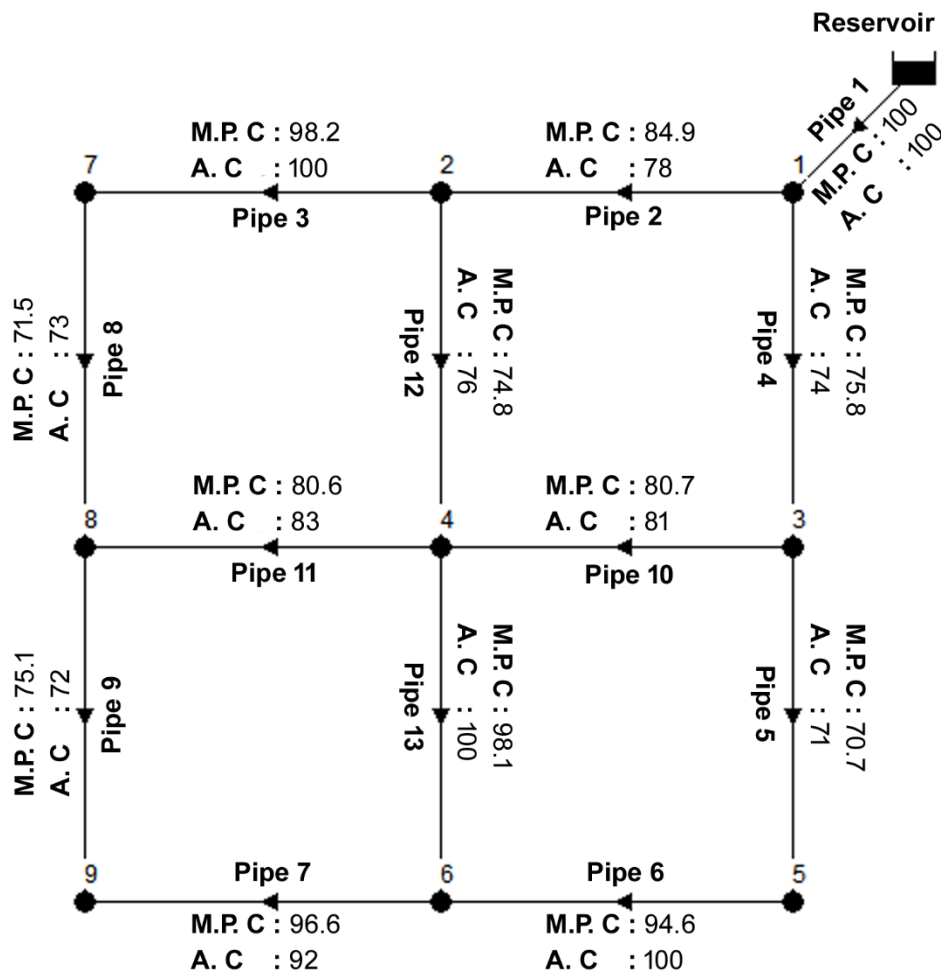


Figure 3. Mean predicted and actual pipe roughness coefficients of each pipe (M.P. C: Mean Predicted C, A. C: Actual C)

Model calibration depends on field observations. Therefore, actual C coefficients of the pipes can be predicted more accurately by the optimization model using more observed data (flow rate and pressure head) in each run. But more observation data mean more expensive task. On the contrary, the model was able to detect worn out pipes with less observed field data in the short run times. Thus, the model could be used as an alternative to the other models in the related literature. In the future studies, the model may be tested for the WDNs consisting of more loops or different complex systems (combined dendritic-looped networks, irrigation systems etc.). Also, the model can be applied by using the roughness coefficients of the other head loss formulas (Darcy-Weisbach, Chezy-Manning) to detect the old pipes in the WDN.

IV. REFERENCES

- [1] W.B.F. De Schaetzen, G.A. Walters, and D.A. Savic, "Optimal sampling design for model calibration using shortest path, genetic and entropy algorithms," *Urban Water Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 141-152, 2000.
- [2] T.M. Walski, "Understanding the adjustments for water distribution system model calibration," *Journal of Indian Water Works Association*, vol. 33, no. 2, pp. 151-157, 2001.
- [3] Z.Y. Wu, T. Walski, R. Mankowski, J. Cook, M. Tryby, and G. Herrin, "Calibrating water distribution model via genetic algorithms," *Proceedings of the AWWA IMTech Conference*, Kansas City, Missouri, US, 2002, pp. 1-10.
- [4] D. Savic, Z. Kapelan, and P.M.R. Jonkergouw, "Quo vadis water distribution model calibration?," *Urban Water Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 3-22, 2009.
- [5] A. Ostfeld, E. Salomons, L. Ormsbee, J.G. Uber, C.M. Bros, P. Kalungi, R. Burd, B. Zazula-Coetzee, T. Belrain, D. Kang, K. Lansley, H. Shen, E. McBean, Z.Y. Wu, T. Walski, S. Alvisi, M. Franchini, J.P. Johnson, S.R. Ghimire, B.D. Barkdoll, T. Koppel, A. Vassiljev, J.H. Kim, G. Chung, D.G. Yoo, K. Diao, Y. Zhou, J. Li, Z. Liu, K. Chang, J. Gao, S. Qu, Y. Yuan, T.D. Prasad, D. Laucelli, L.S. Vamvakeridou Lyroudia, Z. Kapelan, D. Savic, L. Berardi, G. Barbaro, O. Giustolisi, M. Asadzadeh, B.A. Tolson, and R. McKillop, "Battle of the water calibration networks," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 138, no. 5, pp. 523-532, 2012.
- [6] Z.S. Kapelan, D.A. Savic, and G.A Walters, "A hybrid inverse transient model for leakage detection and roughness calibration in pipe networks," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 41, no. 5, pp. 481-492, 2003.
- [7] S. Lingireddy and L.E. Ormsbee, "Hydraulic network calibration using genetic optimization," *Civil Engineering and Environmental Systems*, vol. 19, no. 1, pp.13-39, 2002.
- [8] M. Jamasb, M. Tabesh, and M. Rahimi, "Calibration of EPANET using genetic algorithm," *Water Distribution Systems Analysis*, Kruger National Park, South Africa, 2008, pp. 881-889.
- [9] T. Boczar, N. Adamikiewicz, and W. Stanisławski, "Calibration of parameters of water supply network model using genetic algorithm," *International Conference Energy, Environment and Material Systems (EEMS 2017)*, Polanica-Zdrój, Poland, 2017, pp. 1-4.
- [10] T.D. Prasad, "A clonal selection algorithm for the C-Town network calibration," *ASCE Water Distribution Systems Analysis (WDSA)*, Tucson, AZ, USA, 2010, pp. 1652-1663.

- [11] M. Dini and M. Tabesh, "A new method for simultaneous calibration of demand pattern and Hazen-Williams coefficients in water distribution systems," *Water Resources Management*, vol. 28, pp. 2021-2034, 2014.
- [12] D. Kang and K. Lansey, "Demand and roughness estimation in water distribution systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 137, no. 1, pp. 20-30, 2011.
- [13] T. Koppel and A. Vassiljev, "Calibration of a model of an operational water distribution system containing pipes of different age," *Advances in engineering software*, vol. 40, no. 8, pp. 659-664, 2009.
- [14] S. Alvisi and M. Franchini, "Pipe roughness calibration in water distribution systems using grey numbers," *Journal of Hydroinformatics*, vol. 12, no. 4, pp. 424-445, 2010.
- [15] A. Vassiljev, M. Koor, and T. Koppel, "Real-time demands and calibration of water distribution systems," *Advances in Engineering Software*, vol. 89, no. C, pp. 108-113, 2015.
- [16] O. Piller, S. Elhay, J. Deuerlein, and A.R. Simpson, "Local sensitivity of pressure-driven modeling and demand-driven modeling steady-state solutions to variations in parameters," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 143, no. 2, pp. 1-27, 2017.
- [17] X. Xie, H. Zhang, and D. Hou, "Bayesian approach for joint estimation of demand and roughness in water distribution systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 143, no. 8, pp. 1-10, 2017.
- [18] K. Du, R. Ding, Z. Wang, and Z. Song, "Direct inversion algorithm for pipe resistance coefficient calibration of water distribution systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 144, no. 7, pp. 1-9, 2018.
- [19] R.D. Jadhao and R. Gupta, "Calibration of water distribution network of the Ramnagar zone in Nagpur City using online pressure and flow data," *Applied Water Science*, vol. 8, no. 29, pp. 1-10, 2018.
- [20] Q. Zhang, F. Zheng, H.F. Duan, and Y. Jia, "Efficient numerical approach for simultaneous calibration of pipe roughness coefficients and nodal demands for water distribution systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 144, no. 10, pp. 1-12, 2018.
- [21] Bentley Systems. (2022, August 31). *Product Documentation* [Online]. Available: <https://docs.bentley.com/LiveContent/web/Bentley%20WaterGEMS%20SS6-v1/en/9043.html>.
- [22] M. Eryiğit, "Cost optimization of water distribution networks by using artificial immune systems," *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, vol. 64, no. 1, pp. 47-63, 2015.
- [23] L.N. De Castro and F.J. Von Zuben, "Learning and optimization using the clonal selection principle," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 3, pp. 239-251, 2002.
- [24] L. Rossman, "EPANET 2 Users Manual," U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., U.S., EPA/600/R-00/057, 2000.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

CO₂ Gaz Sensörü Uygulamaları için CuO İnce Film Üretimi ve Karakterizasyonu

 Mehmet Fatih GÖZÜKIZIL^{a,*},  Enes NAYMAN^a

^a Tasarım Bölümü, Söğüt Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fatih.gozukizil@bilecik.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1184293

ÖZ

Katma değeri yüksek, ileri teknoloji ve yüksek maliyet gerektiren malzemelere alternatif olarak ince film kaplama yöntemleri ile eşdeğer yüzey özelliklerine sahip ekonomik malzemeler üretilebilmektedir. İnce film biriktirme yapılarak farklı sensörler, fotovoltaik hücreler, elektronik uygulamalar ve filtreler gibi çeşitli teknolojik malzemelerin temelini oluşturan yarı iletken yüzeyler üretmek mümkündür. Çeşitli fosil yakıtlar ve atıkların yanması ile farklı gazlar açığa çıkmaktadır. Çevreye zarar vermekte ve sağlığa olumsuz etkileri olan bu gazların tespit edilmesi gerekmektedir. CuO yarıiletken ince filmler karbondioksit, etanol, amonyak gibi farklı gazların belirlenmesi ve gerekli uyarıların verilmesinde gaz sensörü olarak kullanımı amacı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında cam yüzeyler üzerine CuO yarıiletken ince filmler biriktirilerek gaz sensörü olarak kullanımı test edilmiştir. CuO yarı iletken ince filmlerin CO₂ gazının tespitinde alternatif bir gaz sensörü olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuO, İnce Film, Gaz Sensörü, Daldırarak Kaplama, Yarıiletken

Production and Characterization of CuO Thin Films for CO₂ Gas Sensor Applications

ABSTRACT

As an alternative to materials with high added value, requiring advanced technology and high cost, economical materials with equivalent surface properties can be produced by thin film coating methods. It is possible to produce semiconductor surfaces that form the basis of various technological materials such as different sensors, photovoltaic cells, electronic applications and filters by thin film deposition. Different gases are released with the combustion of various fossil fuels and wastes. These gases, which harm the environment and have negative effects on health, need to be determined. Studies are carried out on the use of CuO semiconductor thin films as gas sensors for the determination of different gases such as carbon dioxide, ethanol, ammonia. In this study, CuO semiconductor thin films were deposited on glass surfaces and its use as a gas sensor was tested. It has been determined that CuO semiconductor thin films can be used as an alternative gas sensor in the detection of CO₂ gas

Keywords: CuO, Thin Film, Gas Sensor, Dip Coating, Semiconductor

I. GİRİŞ

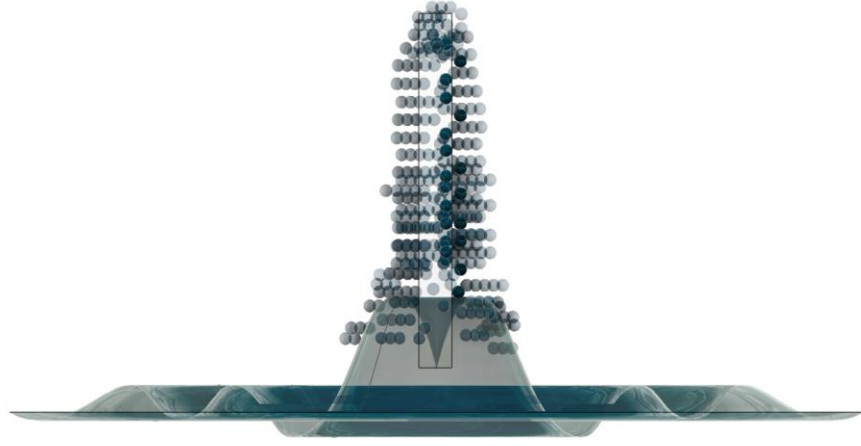
Yarıiletken malzemeler endüstriyel ve teknolojik birçok uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarıiletken malzemelerin kaynaklarının sınırlı, nitelikli cihazlara ihtiyaç duyulması, yatırım ve üretim maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle malzemelerin tamamını kullanmak yerine ekonomik malzemelerin yüzeyleri ince film yöntemleri ile kaplanarak yarı iletken özellik kazandırma süreci tercih edilmektedir. ZnO [1][2], SnO₂ [3][4], NiO [5][6], WO₃ [7][8], CdO[9][10] ve CuO[11][12] gibi metal oksitlerin uygun altlıklar üzerinde biriktirilmesi ile üretilen yarıiletken ince filmlerin gaz sensörü uygulamalarında kullanılması araştırılmaktadır. Yüzeyler üzerine biriktirilen CuO ince filmler etanol, aseton [13][14], azot oksitler [15], karbon dioksit [16], amonyak [17] karbon monoksit [18] gibi farklı gazların tespit ve algılanmasında gaz sensörü olarak umut vaat etmektedir. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların, endüstriyel ve evsel atıkların yanmasından açığa çıkan CO₂ gazı havadaki oksijeni hızlı tüketilmesi ile doğaya zarar vermekte ve yüksek konsantrasyonlarda ise insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle CO₂ gazının algılanması ve ortamdaki yoğunluğunu tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, kaplama malzemesi olarak metal oksitlerden, düşük maliyetli, zehirli olmayan kolay elde edilebilen CuO, atık olarak pürüzsüz ucuz ve yaygın olarak kullanılan cam malzeme tercih edildi. Cam altlıklar yüzeyine CuO ince film biriktirme işlemi her boyutta ve şekildeki altlıklara kaplama yapılabilen ayrıca hemen hemen her metal oksitle çalışılabilen daldırarak kaplama yöntemi ile yapıldı. Cam yüzeylere kaplanan CuO ince filmlerin yapısal özellikleri X-Işını Kırınımı (XRD) cihazıyla, yüzey özellikleri Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) ile karakterize edildi. Üretilen ince filmlerin yarı iletken özellikleri ve gaz sensörü olarak kullanılabilirliği test edildi. CuO yarı iletken ince filmlerin alternatif olarak CO₂ gaz sensörü olarak kullanılabilirliği gözlemlendi.

II. MATERYAL VE METOT

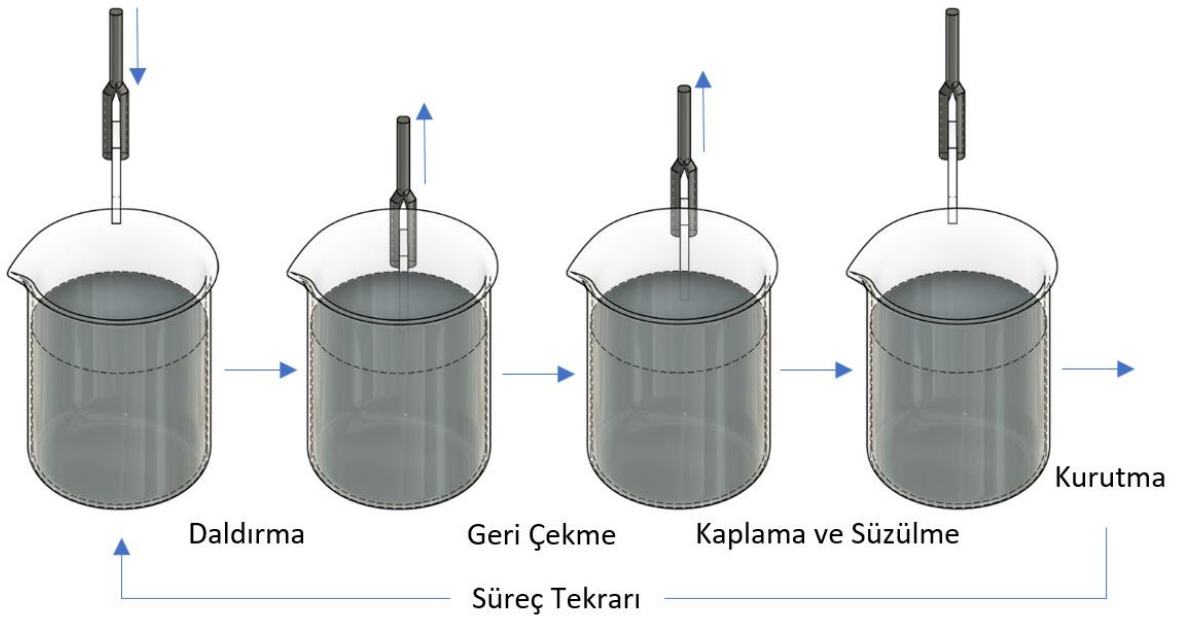
A. DENEYSEL DETAYLAR

Çalışmamız kapsamında, daldırarak kaplama yöntemiyle cam altlıklara CuO ince filmleri biriktirme işlemi için hazırlanan başlangıç çözeltisinde; reaktif olarak bakır (II) asetat monohidrat (Cu(CO₂CH₃)₂·H₂O) tozu, çözeltiyi oluşturan çözücü olarak 2- metoksietanol (CH₃OCH₂CH₂OH) ve stabilizatör olarak monoetanolamin (NH₂CH₂CH₂OH) kullanıldı. İlk olarak başlangıç çözeltisi belirlenen 0.3M konsantrasyona göre ayarlanan bakır (II) asetat monohidrat tozu, 250 ml 2- metoksietanol içerisinde 750 rpm hızla manyetik karıştırıcıyla 2 saat karıştırılarak çözüldü ve damla halinde monoetanolamin eklenerek hazırlandı. Hazırlanan çözelti 24 saat oda sıcaklığında dinlendirildi ve kaplama çözeltisi olarak kullanıldı. Kaplama çözeltisi ile ince film kaplamalar için 1 mm kalınlığında cam altlıklar 2 cm x 2 cm boyutlarda ayarlandı. Cam altlıklar deiyonize suyla temizlenip 150 °C’de kurutuldu.



Şekil 1. Cam altlığın kaplama çözeltisine daldırma işleminin şematik gösterimi

Kaplamaya hazır hale getirilen cam altıklara kaplama çözeltisine daldırma işleminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmektedir. Yüzei kaplanacak olan altlık numunesi belirli bir konsantrasyonda hazırlanan akışkan film çözeltisinin içerisine daldırılır. Altlık yüzeyine çözeltinin viskozitesine bağlı olarak değişen oranlarda tutunmalar başlamaktadır. Çözelti içerisinden belirli bir hızla geri çekilen altlık numunesi üzerindeki akışkan filmin bir kısmı adezyon kuvvetinin etkisi ile katı altlık numune yüzeyine tutunmakta, fazla kalan kısım ise yer çekimi ve kohezyon kuvvetlerinin etkileriyle çözelti içerisine geri dökülmektedir. Film kaplama işleminin istenilen özelliklerine göre bu kuvvetlere müdahale etmek mümkündür. Altlık madde ve kaplanacak maddenin birbirine bağlanması, daldırma sonrası altlığın çözelti içerisinden geri çekme hızı, süzülme süreci, kurutma/tavlama süre ve sıcaklıkları gibi değişkenler yüzeyde biriktirilen film kalitesini ve kalınlığını etkileyen en önemli faktörlerdendir. En verimli tutunma süreci altlık numunesinin çözelti içerisinden çıkarılıp, süzülme, kurutma ve tavlama işlemleri tamamlandığı zaman gerçekleşmektedir. Tavlama işleminin öncesinde gerçekleşen döngü çoklu olarak uygulanabilmektedir.



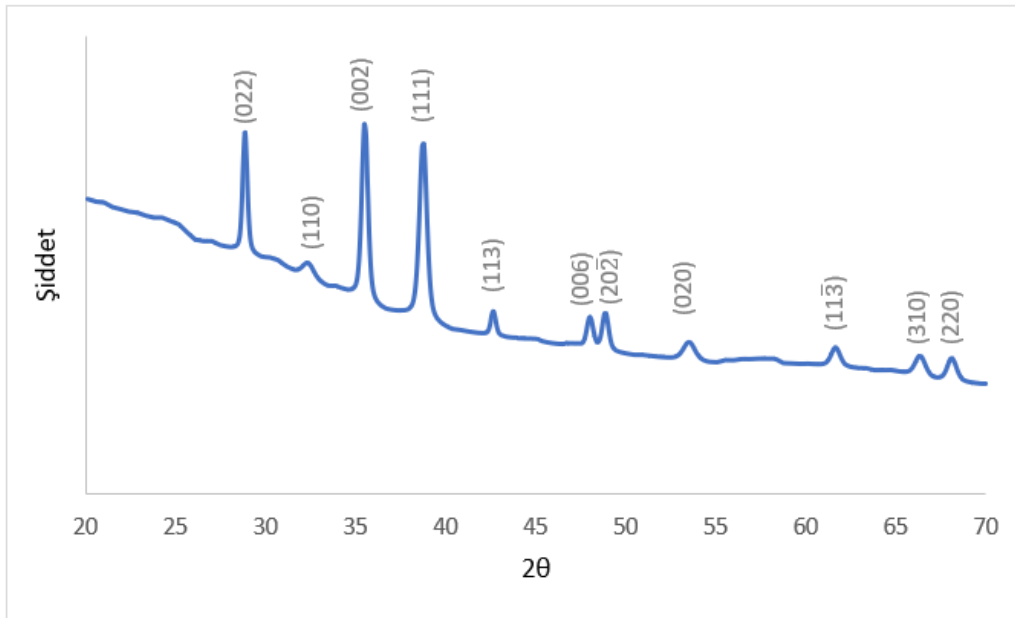
Şekil 2. Daldırarak kaplama yöntemi süreci

Daldırarak kaplama yöntemi süreci Şekil 2’de gösterilmektedir. Öncelikle temizlenen cam altlıklar hazırlanan CuO kaplama çözeltisine tutucu yardımıyla sabit hızla daldırıldı. Cam altlıklar, çözelti içerisinde 30sn, 60sn ve 90sn olarak 3 farklı sürede bekletilerek ön denemeler yapıldı. Yapılan ön denemeler sonucunda; 30 sn süreyle bekletmenin yüzeyin tamamen kaplanması için yeterli olmadığı ve 90 sn süreyle bekletmenin ise gereğinden fazla olduğu düşünülerek, çözelti içerisinde altlıkların bekletilme süresi 60 sn. olarak belirlendi. Çözelti içerisinden aynı sabit hızla geri çekildi. Fazla kaplama çözeltisinin yüzeyden süzülmesi için 30 sn. bekletildikten sonra kurutma işlemine alındı. Kurutma işlemi 150 °C sıcaklıkta 120 sn. süreyle yapıldı. Her kat kaplama için aynı süreç tekrar edildi. 3,6 ve 9 süreç tekrarı denemeleri yapıldı. 3 kat denemelerinde CuO yapısının cam altlık üzerinde film oluşturmaya başladığı fakat yüzeyin tamamen kaplanmadığı gözlemlendi. 9 kat denemelerinde ise altlıklar üzerinde CuO yapısının aşırı biriktiği ve yığılmaların olduğu gözlemlendi. Tartım metoduna göre 9 kat biriktirilen filmlerin kalınlığı yaklaşık 1 mikron olduğu hesaplandı. İstenilenden daha kalın filmler elde edildiği, ince film olmadıkları tespit edildi. CuO saydam iletken oksit olduğundan UV-Vis Spektroskopisi ölçümleri sonucunda film numunelerinin transparanlığında belirgin bir şekilde azalma gözlemlendi. Bu da 9 kat filmlerin istenilenden daha kalın olduğunu göstermektedir. Optimum süreç tekrar sayısı 6 olarak belirlendi. CuO yapısının yüzeyde kristalleşmesinin tamamlanması için 350°C, 400°C ve 450°C sıcaklıklarda tavlama ön denemeleri yapıldı. 450 °C sıcaklığın altında yapılan tavlama denemelerinde yüzeyde kristalleşmenin tamamen gerçekleşmediği tespit edildi. Ön denemeler ve daha önce yapılan çalışmalar incelenerek, CuO ince filmler için tavlama sıcaklığı 450 °C olarak belirlendi.

III. BULGULAR

A. İNCE FİLM KARAKTERİZASYONU

Cam altlıklar üzerine 6 kat biriktirilen ve 450 °C sıcaklıkta tavlanan CuO ince filmlerin yapısal özellikleri Panalytical Empryan X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı ile karakterize edildi.



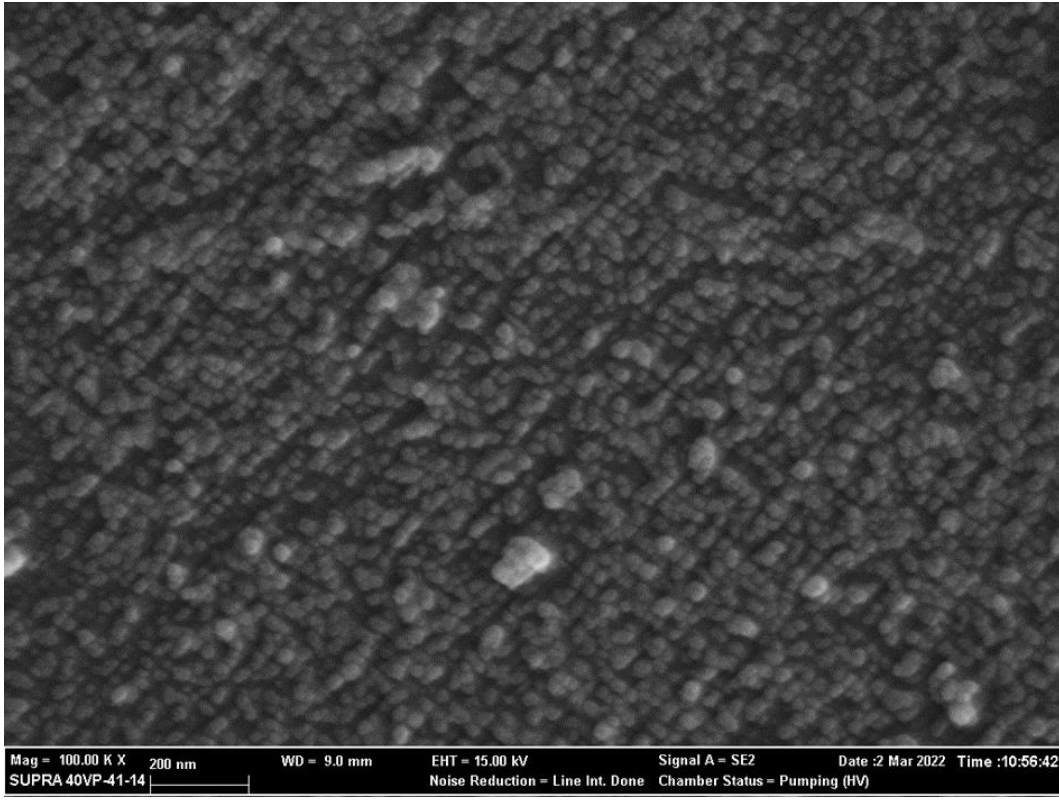
Şekil 3. CuO ince filmlerin XRD analiz spektrumu

Üretilen CuO filmlere ait XRD spektrumu (2θ açısı; 20°-70°aralığında, tarama hızı: 2 derece/dakika, CuKα ışını: 1.5406 Å dalga boyunda) Şekil 3’te verildi. XRD spektrumu incelendiğinde CuO filminin

en yüksek pik şiddeti 35.5 kırınım açısında tenorit fazda (0 0 2) piki olarak belirlendi. Tenorit fazda CuO yapısına ait 38.6, 48.9, 61.3 ve 66.1 kırınım açılarında sırasıyla (1 1 1), (2 0 $\bar{2}$), (1 1 $\bar{3}$) ve (3 1 0) pikleri tespit edildi. Ayrıca bakır dioksit yapısına ait 28.2, 42.7, 47.8 ve 68.7 2θ açılarında sırasıyla (0 2 2), (1 1 2), (0 0 6) ve (2 2 0) pikleri gözlemlendi. XRD spektrum verileri analiz edilerek, Scherrer formülüyle yarı pik genişlikleri (FWHM) değeri için CuO yapısının ortalama tane boyutu hesaplanarak Tablo 1 de verildi.

Tablo 1. CuO filmlerin yarı pik genişliği ve tanecik boyutu

	FWHM	D (nm)
CuO	0.36	26.37

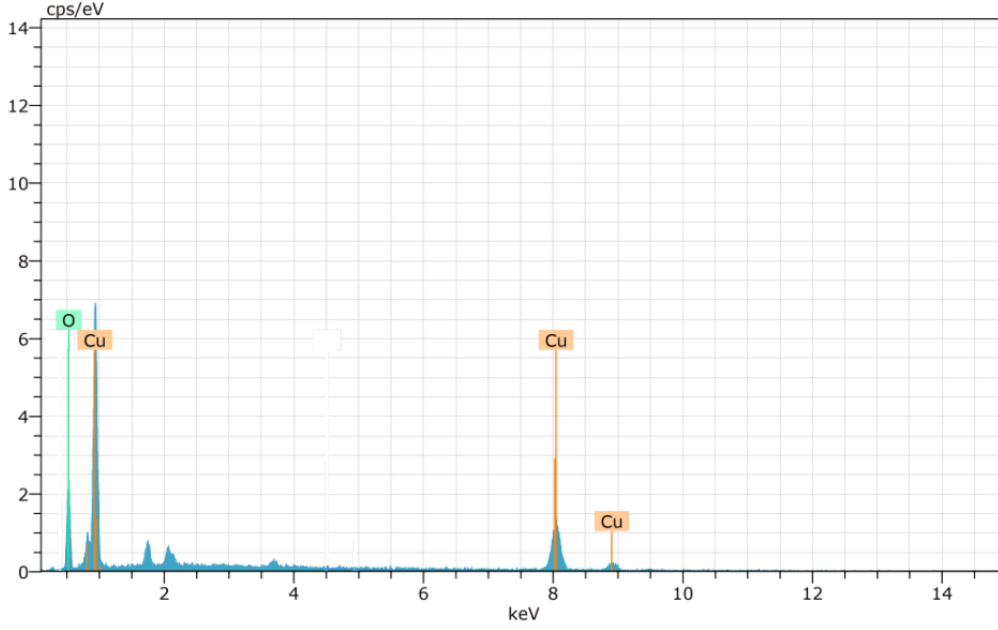


Şekil 4. CuO ince filmlerin 100 kx büyütme FESEM görüntüleri

Cam substratlar üzerinde biriktirilen CuO ince film numunelerinin morfolojik yapısı Zeiss Supra 40VP Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) ile incelenmiştir. Şekil 4'te verilen FESEM görüntüleri incelendiğinde, CuO yapısının cam altlık yüzeyinin tümüne hemen hemen eşit şekilde yayıldığı, nano boyutta taneciklerin oluştuğu belirlenmiştir. Yüzeyde aşırı birikme ve yığın oluşumu görülmemektedir. Ayrıca yüzeyde tanecikler arası boşlukların az olduğu taneciklerin birbirine iyi tutunduğu dolayısıyla film oluşumunun düzgün olduğu gözlemlenmektedir. 100 kx büyütme ve 200 nm ölçekli görüntüler incelendiğinde tanecik boyutunun ortalama 25nm olduğu ve bu da XRD spektrumundan hesaplanan tane boyutu ile yakın değerlerde olup birbirini destekler niteliktedir.

Tablo 2. CuO ince filmlere ait EDX sonuçları

	Bakır (Cu) Atomca Yüzde (%)	Oksijen (O) Atomca Yüzde (%)
CuO	63,21	36,79



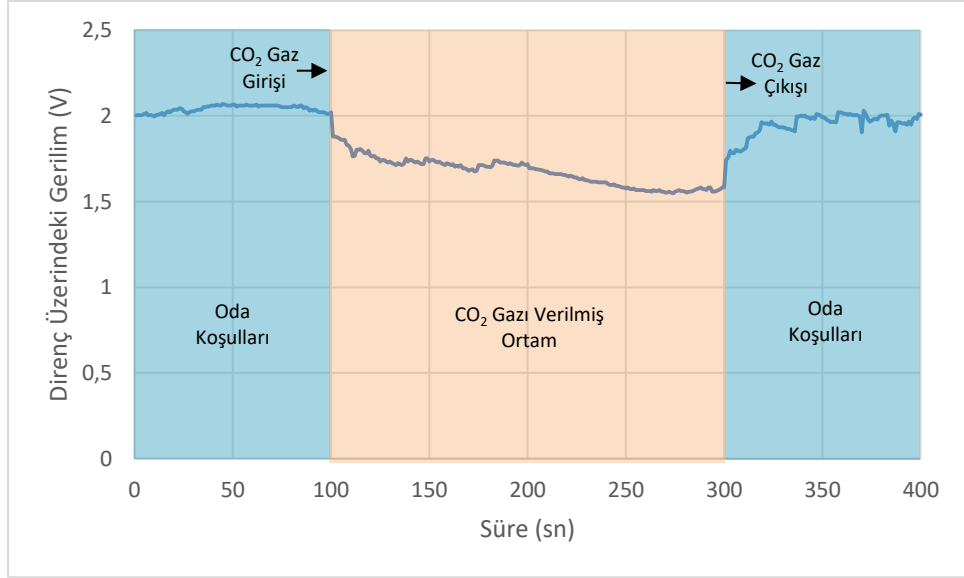
Şekil 5. CuO ince filmlerin EDX spektrumu

Morfolojik yapısı incelenen CuO ince filmlerin taramalı elektron mikroskopuna bağlı Bruker marka enerji dağılımlı X-Işını spektrometresi (EDX) dedektörü kullanılarak, Şekil 5'te gösterilen CuO ince filmlerin EDX spektrumundan kimyasal bileşimleri ele edildi. Tablo 2 'de verilen CuO ince filmlere ait EDX sonuçlarına göre yüzeyde CuO yapısının olduğu görülmektedir.

Üretilen CuO filmlerin optik özellikleri Perkin Elmer Lambda 25 cihazı ile incelenmiştir. 300-1100 nm dalga boylarında alınan UV-Vis Spektroskopisi ölçümleri verileri kullanılarak bant yapısı tespit edilen filmlerin Tauc metodu ile yasak enerji aralıkları 1,97 eV olarak hesaplanmıştır.

B. GAZ SENSÖR UYGULAMALARI

Çalışma kapsamında karakterize edilen CuO ince filmlerin gaz sensörü uygulamalarında kullanımı test edilmiştir. Bir kontrol kartı üzerine, güç kaynağı, dirençler ve sensör bağlantıları yapılarak gaz sensörü gaz algılama ve kontrol sistemi kurulmuştur. Güç kaynağı sisteme bağlanan yarıiletken gaz sensörüne 5 V sabit gerilim vermektedir. Sensör üzerinden geçerek direnç üzerine gelen gerilim değişimi analog bilgi olarak ölçülür ve kontrol kartı tarafından dijital bilgiye dönüştürülür. Elde edilen veriler incelenerek yarı iletkenlik ve ortamda bulunan gaza tepkileri belirlenmektedir. Modüler olarak planlanan sistem tekrardan farklı sensöre göre programlanabilir ve ayrıca ses ışık gibi sensör uyarı mekanizmaları eklenebilir.



Şekil 6. CuO ince filmlerin CO₂ gaz sensörü uygulamaları

Oluşturulan sisteme gaz sensörü olarak bağlanan cam yüzeyler üzerine 6 kat biriktirilen ve 450 °C sıcaklıkta tavlanan CuO yarı iletken ince filmlerin gaz tespiti ve hassasiyeti ölçme çalışmaları yapılarak, elde edilen veriler Şekil 6'da gösterilmiştir. Hazırlanan izole gaz odası içerisine CuO gaz sensörleri yerleştirildi. Sensör üzerine 5V sabit akım verilerek yarıiletken özellikleri belirlendi. Öncelikle, 100 sn boyunca normal oda koşullarında sensör üzerindeki dirençten ölçülen gerilim değerinin 2V civarında olduğu gözlemlendi. Bu üretilen CuO ince filmlerin yarı iletken olduğunu ifade etmektedir. Gaz sensörü uygulamaları için, 100 sn sonra ortama CO₂ gazı verildi. Sonrasında 200 saniye boyunca sabit konsantrasyonda ortama verilen CO₂ gazına sensörün tepkisi ölçüldü. Normal oda koşullarında ortama ilave gaz verilmediğinde 2V civarında olan sensör üzerindeki direnç gerilim, CO₂'nin etkisiyle yaklaşık 1,5V'a kadar düşmüştür. Bu ,sensörün bulunduğu ortama ilave CO₂ gazı verildiğinde sensör direnci üzerindeki gerilim değişimi, CO₂ gaz sensörü olarak kullanım için uygun olduğunu göstermektedir. Sonraki 100 sn boyunca ortamdan CO₂ gaz girişi kesildiğinde sensörden alınan gerilim değerinin gazsız ortamdaki ilk haline yakın değerlere döndüğü gözlemlendi. Bu sensörün tekrarlanabilir şekilde kullanım için uygun olduğu anlamına gelmektedir. Cam yüzeyler üzerine 3 kat biriktirilen ve 450 °C altında tavlanan CuO ince filmler yarı iletkenlik özelliği göstermedi ve gaz sensörü olarak kullanımı test edilemedi. 9 kat biriktirilen numunelerde ise yığılmalar ve oluşan döküntülerden kaynaklı yüzeyde kopukluklar oluştu. Homojen filmler elde edilemedi ve tüm yüzey yarı iletkenlik göstermedi. Bölgesel olarak yarı iletkenlik göstermesi sensör uygulamalarında kullanımı için uygun görülmedi.

Daldırarak kaplama metodu ile CuO filmlerin biriktirilmesi için cam ve seramik gibi sert yüzeylerin yanı sıra, iplik ve kumaş gibi esnek tekstil yüzeylerinin altlık olarak kullanımı mümkündür. Endüstriyel uygulamalarda; giyilebilir teknolojiler için esnek altlıklar, geleneksel sensör üretimleri için ise sert altlıkların kullanılabilmesi düşünülmektedir. Kullanılan cam altlıklara yapılan kaplamadan, seramik yüzeylerin sırlı veya sırsız olmasına göre, esnek yüzeylerde ise malzemenin emiciliğine göre kaplamalarda farklılıklar olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

IV. SONUC

Kaplanacak yüzey olarak belirlenen cam yüzeyler üzerine CuO ince film biriktirme için sol-gel daldırma yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda; daldırma süresi 60 sn., daldırma tekrarı 6 kat, süreç arası kurutma 150 °C’de 120 sn. süresince ve tavlama sıcaklığı 450 °C optimum ince film kaplama parametreleri olarak belirlendi. 450 °C tavlama sıcaklığının altındaki denemelerde ince film yapısının yüzeyde kristalleşmediği ve üretilen ince filmlerin yarı iletken özellik göstermediği tespit edildi. 3 katlı denemelerde kaplamanın yetersiz olduğu, kat sayısının artırılarak 9 kat olduğunda ise yüzeyde yığılmaların arttığı ve döküntülerin oluştuğu görüldü. Bu da ince film kalınlığını arttırdığı ve yüzeyde homojen film yapısının oluşmadığını göstermektedir. Gaz sensör uygulamalarında tüm yüzeyde iletkenlik görülmedi.

Optimum belirlenen parametrelerde kaplaması yapılan numunelerin yapısal özellikleri incelendiğinde en yüksek pik şiddeti 35.5 kırınım açısında tenorit fazda (0 0 2) piki olarak belirlendi, yüzeysel özellikleri incelendiğinde yüzeyde ortalama 25 nm tanecik boyutunda CuO yapıları gözlemlendi. XRD verileri ve FESEM görüntüleri incelendiğinde birbirlerini destekler nitelikte olduğu görüldü. CuO yarı iletken ince filmin yüzeyde homojen bir dağılım sergilemesi ve tanecikler arası boşlukların az olması, sensör testleri sırasında sensör direnci üzerindeki gerilimin kesintisiz iletilmesini sağladı. Gaz odasına ortama CO₂ gazı verildiğinde, yerleştirilen numunelerine bağlı direnç üzerindeki gerilimin değişmesiyle CuO ince filmlerin CO₂ gaz sensörü olarak kullanabildiğini gösterdi. Sensör direnci geriliminin, ortama verilen gaz girişi kaldırıldığında ilk haline dönmesiyle sensörün tekrarlanabilir olarak çalışılabilir olduğu belirlendi.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Zhao, Y. Shen, X. Yan, P. Zhou, Y. Yin, R. Lu, C. Han, B. Cui, and D. Wei, “Complex-surfactant-assisted hydrothermal synthesis of one-dimensional ZnO nanorods for high-performance ethanol gas sensor,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 286, pp. 501–511, May 2019.
- [2] J. Liu, L. Zhang, J. Fan, B. Zhu, and J. Yu, “Triethylamine gas sensor based on Pt-functionalized hierarchical ZnO microspheres,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 331, p. 129425, Mar. 2021.
- [3] P. G. Choi, N. Izu, N. Shirahata, and Y. Masuda, “Improvement of sensing properties for SnO₂ gas sensor by tuning of exposed crystal face,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 296, p. 126655, Oct. 2019.
- [4] Y. Kong, Y. Li, X. Cui, L. Su, D. Ma, T. Lai, L. Yao, X. Xiao, and Y. Wang, “SnO₂ nanostructured materials used as gas sensors for the detection of hazardous and flammable gases: A review,” *Nano Mater. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 339–350, Dec. 2022.
- [5] U. T. Nakate, R. Ahmad, P. Patil, Y. T. Yu, and Y. B. Hahn, “Ultra thin NiO nanosheets for high performance hydrogen gas sensor device,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 506, p. 144971, Mar. 2020.
- [6] P. Li, C. Cao, Q. Shen, B. Bai, H. Jin, J. Yu, W. Chen, and W. Song, “Cr-doped NiO nanoparticles as selective and stable gas sensor for ppb-level detection of benzyl mercaptan,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 339, p. 129886, Jul. 2021.
- [7] Y. Gui, K. Tian, J. Liu, L. Yang, H. Zhang, and Y. Wang, “Superior triethylamine detection at room temperature by (-112) faceted WO₃ gas sensor,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 380, p. 120876, Dec. 2019.

- [8] Q. Hu, J. He, J. Chang, J. Gao, J. Huang, and L. Feng, "Needle-Shaped WO_3 Nanorods for Triethylamine Gas Sensing," *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 3, no. 9, pp. 9046–9054, Sep. 2020.
- [9] U. T. Nakate, P. Patil, B. Ghule, Y. T. Nakate, S. Ekar, R. C. Ambare, and R. S. Mane, "Room temperature LPG sensing properties using spray pyrolysis deposited nano-crystalline CdO thin films," *Surfaces and Interfaces*, vol. 17, p. 100339, Dec. 2019.
- [10] F. M. Othman, A. A. A. Hamead, and M. H. A. Wahid, "Fabrication and Characterization of CdO Gas Sensor with Tube Shape," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1021, pp. 317–326, 2021.
- [11] H. Bai, H. Guo, J. Wang, Y. Dong, B. Liu, Z. Xie, F. Guo, D. Chen, R. Zhang, and Y. Zheng, "A room-temperature NO_2 gas sensor based on CuO nanoflakes modified with rGO nanosheets," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 337, p. 129783, Jun. 2021.
- [12] L. Hou, C. Zhang, L. Li, C. Du, X. Li, X. F. Kang, and W. Chen, "CO gas sensors based on p-type CuO nanotubes and CuO nanocubes: Morphology and surface structure effects on the sensing performance," *Talanta*, vol. 188, pp. 41–49, Oct. 2018.
- [13] V. Ambardekar, T. Bhowmick, P. P. Bandyopadhyay, and S. B. Majumder, "Ethanol and acetone sensing properties of plasma sprayed copper oxide coating," *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 160, p. 110333, Jan. 2022.
- [14] T. Hemalatha, S. Akilandeswari, T. Krishnakumar, S. G. Leonardi, G. Neri, and N. Donato, "Comparison of Electrical and Sensing Properties of Pure, Sn- and Zn-Doped CuO Gas Sensors," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 68, no. 3, pp. 903–912, Mar. 2019.
- [15] J. M. Rzaij and N. F. Habubi, "Room temperature gas sensor based on La_2O_3 doped CuO thin films," *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 126, no. 7, pp. 1–10, Jul. 2020.
- [16] T. Bhowmick, A. Ghosh, S. Nag, and S. B. Majumder, "Sensitive and selective CO_2 gas sensor based on CuO/ZnO bilayer thin-film architecture," *J. Alloys Compd.*, vol. 903, p. 163871, May 2022.
- [17] G. Chaloeipote, R. Prathumwan, K. Subannajui, A. Wisitsoraat, and C. Wongchoosuk, "3D printed CuO semiconducting gas sensor for ammonia detection at room temperature," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 123, p. 105546, Mar. 2021.
- [18] A. Rydosz, "Amorphous and nanocrystalline magnetron sputtered CuO thin films deposited on low temperature cofired ceramics substrates for gas sensor applications," *IEEE Sens. J.*, vol. 14, no. 5, pp. 1600–1607, 2014.